



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OVA-TEPE TOPOĞRAFYASINDAKİ SİSMİK BÜYÜTME
ETKİLERİNİN NÜMERİK METOTLARLA ANALİZİ**

KUBİLAY COŞKUN

DANIŞMAN

DOÇ. DR. FATİH GÖKTEPE

BARTIN-2023



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**OVA-TEPE TOPOĞRAFYASINDAKİ SİSMİK BÜYÜTME ETKİLERİNİN
NÜMERİK METOTLARLA ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kubilay COŞKUN

BARTIN-2023

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Fatih GÖKTEPE danışmanlığında hazırlamış olduğum “**OVA-TEPE TOPOĞRAFYASINDAKİ SİSMİK BÜYÜTME ETKİLERİNİN NÜMERİK METOTLARLA ANALİZİ**” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

29.11.2023

Kubilay COŞKUN

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince bana rehberlik eden, değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fatih GÖKTEPE' ye, tezime sunduğu özgün katkılardan dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca gösterilen destek ve anlayışları için çalıştığım kurum BARTIN BELEDİYESİNE teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında her zaman desteklerini hissettiğim eşim İlknur COŞKUN ve kızım Beril COŞKUN'a teşekkürlerimi sunarım. Son olarak hayatımın her türlü aşamasında desteklerini esirgemeyerek her zaman yanımda olan, başta annem ve babam olmak üzere tüm aileme teşekkür ederim.

Bartın 2023

Kubilay COŞKUN
(İnşaat Mühendisi)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OVA-TEPE TOPOĞRAFYASINDAKİ SİSMİK BÜYÜTME ETKİLERİNİN NÜMERİK METOTLARLA ANALİZİ

Kubilay COŞKUN

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fatih GÖKTEPE

Bartın-2023, sayfa: 120

Bu tez çalışmasının amacı, farklı amaçlar için kullanılan mühendislik yapılarının dinamik deprem davranışlarını önemli oranda değiştiren zemin büyütmesi kavramının irdelenmesidir. Depremlerin açığa çıkardığı kuvvetli yer hareketleri üzerindeki yerel zemin koşullarının etkisini araştırmak amacıyla literatürde yaygın kullanıma sahip olan tepe ve ovadan oluşan bir model seçilmiştir. Jeolojik özellikleri birbirinden farklı olan zemin katmanlarını içeren bu geometri kullanılarak 1 boyutlu (1-D) ve 2 boyutlu (2-D) dalga yayılım modelleri geliştirilmiştir. Lineer elastik zemin davranışını esas alan sayısal yaklaşımlardan 1-D nümerik model üzerinde yapılan dinamik analizlerle anakaya derinliğinden alüvyonel zemin yüzeyine doğru çevrim işlemi uygulanmıştır. Buna ilaveten derin jeolojik katmanlardan oluşan ova-tepe modelindeki dalga yayılım probleminin ve yüzey topoğrafyasının daha gerçekçi olarak tanımlanabilmesi amacıyla geliştirilen 2-D sonlu eleman modeli literatüre bağlı kalibre edilmiştir. Sismik salınımlara bağlı sayısal modelden elde edilen sonuçların tutarlılığı ve doğruluk düzeyi açısından kayıt istasyonlarının konumlandığı zemin ortamının dinamik özelliklerinin mühendislik anakayasası olarak kabul edilebileceği düşünülmüştür. Bu nedenle geliştirilen 1-D ve 2-D dalga yayılım modellerinde analiz edilen sismolojik verilerin alındığı kayıt istasyonlarının anakaya mostrası niteliğindeki bölgelerde olmasına özen gösterilmiştir. Tez çalışması kapsamında

gerçekleştirilen sayısal çözümlerle, farklı frekans içeriklerine sahip gerçek deprem kayıtlarına bağlı ova-tepe topoğrafyasındaki jeolojik zemin koşullarının hem serbest zemin yüzeyi hem de üstyapılarda oluşturduğu büyütme etkileri titreşim davranışına bağlı değerlendirilmiştir. Bu çerçevede, analiz sonuçlarından elde edilen verilere dayanarak, ivme-zaman, spektrum eğrileri ve yer değiştirme grafikleri ile büyütme etkileri detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ova -tepe modeli, 1-D ve 2-D nümerik analiz, serbest zemin davranışı, yapısal titreşimler, spektrum eğrileri



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ANALYSIS OF SEISMIC AMPLIFICATION EFFECTS IN VALLEY-RIDGE TOPOGRAPHY BY NUMERICAL METHODS

Kubilay COŞKUN

Bartın University

Graduate School

Department of Civil Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih GÖKTEPE

Bartın-2023, pp: 120

The aim of this thesis is to examine the concept of soil amplification, which significantly alters the dynamic seismic behavior of engineering structures used for different purposes. A model consisting of ridge and valley, commonly used in the literature, has been chosen to investigate the influence of local soil conditions on strong ground motions induced by earthquakes. Utilizing this geometry incorporating soil layers with distinct geological features, one-dimensional (1-D) and two-dimensional (2-D) wave propagation models have been developed to study the seismic wave patterns. The process of converting from bedrock depth to the alluvial soil surface has been implemented through dynamic analyses conducted on a 1-D numerical model, employing numerical approaches based on linear elastic soil behavior. Additionally, a 2-D finite element model, calibrated in accordance with the literature, has been developed to provide a more realistic representation of the wave propagation problem and surface topography in the valley-ridge model consisting of deep geological layers. The consistency and accuracy of the results obtained from the numerical model based on seismic oscillations have led to the consideration of the dynamic properties of the soil environment where recording stations are located as an engineering bedrock. For this reason, care was taken to ensure that the recording stations from which the seismological data analyzed in the 1-D and 2-D wave propagation models were located in the bedrock outcrop regions. Within the scope of the thesis study, the amplification effects of the

geological soil conditions in the valley-ridge topography based on real earthquake records with different frequency contents on both the free ground surface and superstructures were evaluated based on the vibration behavior. In this context, amplification effects have been presented in detail using acceleration-time, spectrum curves, and displacement graphs based on the data obtained from the analysis results.

Keywords: Valley-ridge model, 1-D and 2-D numerical analysis, free-field behavior, structural vibrations, spectrum curves



İÇİNDEKİLER

BEYANNAME	ii
ÖNSÖZ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor).....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor).....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor).....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor).....	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor).....	xv
TABLOLAR DİZİNİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Özeti	1
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	8
2. ZEMİN KOŞULLARININ SİSMİK TİTREŞİMLER ÜZERİNDEKİ BÜYÜTME ETKİSİ	9
2.1. Zemin Büyütmesine Etkiyen Faktörler	9
2.1.1. Empedans Değişimlerinden Kaynaklanan Rezonans.....	10
2.2. Sismik Dalgaların Zemin Ortamında Yayılması	11
2.2.1. Deprem Oluşumu	11
2.2.2. Deprem Türleri	11
2.2.3. Ülkemizin Depremselliği	12
2.2.4. Deprem Dalgaları.....	13
2.2.4.1. P Dalgası.....	14
2.2.4.2. S Dalgası	14
2.2.4.3. Yüzey Dalgaları	14
2.2.4.3.1. Rayleigh dalgası	14
2.2.4.3.2. Love Dalgası	15
2.2.5. Sismik Titreşimlerin Dinamik Özellikleri	16

2.2.5.1.Yayılma Hızı	16
2.2.5.2.Genlik	16
2.2.5.3.Frekans	17
2.2.5.4.Periyot.....	17
2.2.5.5.Deprem Süresi	17
2.2.5.6.Deprem Büyüklüğü	17
2.2.6. Kullanılan Programlar	17
2.2.6.1.Deepsoil 1-D Yazılımı.....	18
2.2.6.2.SeismoSignal Yazılımı.....	18
2.2.6.3.PLAXIS 2-D Yazılımı.....	18
2.3. Dalga Yayılım Mekanizması İçin Önerilen Nümerik Modeller	19
2.3.1. Model Doğrulanması için Kullanılan Topoğrafik Kesitin ve Deprem Hareketinin Özellikleri	19
2.3.2. Bir (1-D) Boyutlu Zemin Tepki Analizi	23
2.3.3. İki (2-D) Boyutlu Sonlu Elemanlar Modeli	27
2.3.4. Seçilen Sismolojik Veriler	29
3. ANALİZ BULGULARI.....	35
3.1. Bir (1-D) Boyutlu Dinamik Analizler.....	35
3.2. 2-D Dinamik Analizler	43
3.2.1. Nümerik Modelin Kalibrasyonu	43
3.2.2. Serbest Zemin Titreşim Hareketlerin Değerlendirilmesi	70
3.2.3. Zemin Davranış Modellerine Bağlı Üstyapı Titreşimleri	93
3.2.4. Farklı Sismik Titreşimlere Bağlı Yapısal Davranış.....	96
4. SONUÇLAR.....	114
KAYNAKLAR.....	116

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
2.1 :Zemin büyütmesini etkileyen faktörler 1) Empedans değişimlerinden kaynaklanan rezonans, 2) Yüzey altı topografyasından kaynaklanan odaklanma, 3) Yüzey dalgalarına dönüşen cisim dalgaları, 4) Su içeriği, 5) Zemin ortamın düzensizliği, 6) Yüzey topografyası (Şafak, 2001)	9
2.2 :Dalga yansımalarının gösterimi, b) Rezonans büyütme oranı (Yalçinkaya, 2001)	11
2.3 :Türkiye deprem tehlike haritası (URL-1, 2023).....	13
2.4 :a) Zemin yüzeyi (b) P-dalgaları (c) S-dalgaları (d) P ve S dalgalarının etkileri (URL-3, 2023).....	13
2.5 :Rayleigh dalgası salınımı (URL-2, 2018).....	15
2.6 :Love dalgaların salınımı (URL-2, 2018)	15
2.7 :Yunanistan'ın Korint körfezi'nin batı bölgesinin haritası, egion ve diğer sahil kasabaların konumları, (Athanasopoulos vd.,1999)	20
2.8 :Egion'un basit bir haritası, kasaba sınırlarını, yükseltilmiş bölgenin yayılma alanını ve ilgi noktalarının ile A-A' kesiti (Athanasopoulos vd.,1999)	21
2.9 :A-A' kesitinde iki boyutlu modelde analizlerde kullanılan Vso değerleri (Athanasopoulos vd., 1999).....	21
2.10 : Egion depreminin OTE bölgesindeki istasyonda kaydedilen ivme – zaman grafiği	22
2.11 : Egion depreminin ölçeklendirilmiş ivme – zaman grafiği	22
2.12 : Egion depreminin ölçeklendirilmiş fourier genliği spektrum grafiği.....	23
2.13 : Egion depreminin ölçeklendirilmiş ivme davranış spektrum grafiği	23
2.14 : Dalga yayılım mekanizması için a) Şematik gösterim b) Geliştirilen sayısal model	24
2.15 : OTE bölgesindeki analizlerde kullanılan kayma modülleri ve sönüm oranları.....	27
2.16 : PORT bölgesindeki analizlerde kullanılan kayma modülleri ve sönüm oranları	27
2.17 : İki boyutlu (2-D) analizlerde kullanılan sayısal model	28
2.18 : Northridge depremi ivme – zaman grafiği	31
2.19 : Northridge depremi ivme davranış spektrum grafiği.....	31
2.20 : Northridge depremi fourier genliği grafiği	32
2.21 : Kocaeli depremi ivme – zaman grafiği	32
2.22 : Kocaeli depremi fourier genliği grafiği.....	32
2.23 : Kocaeli depremi ivme davranış spektrum grafiği.....	33
2.24 : Kahramanmaraş depremi ivme – zaman grafiği	33

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil	Sayfa
No	No
2.25 : Kahramanmaraş depremi ivme davranış spektrum grafiği.....	33
2.26 : Kahramanmaraş depremi fourier genliği grafiği.....	34
3.1 :Egion depreminin OTE bölgesindeki 1-D boyutlu analiz sonuçları (a) İvme – zaman grafiği (b) İvme davranış spektrum grafiği	36
3.2 :Egion depreminin anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme – zaman grafiği.....	37
3.3 :Egion depreminin anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme davranış spektrum grafiği	37
3.4 :Northridge depreminin anakaya ve OTE yüzeyindeki ivme – zaman grafiği.....	38
3.5 :Northridge depreminin anakaya ve OTE yüzeyindeki ivme davranış spektrum grafiği	38
3.6 :Northridge depreminin anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme – zaman grafiği.....	39
3.7 :Northridge depreminin anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme davranış spektrum grafiği	39
3.8 :Kocaeli depremi anakaya ve OTE yüzeyindeki ivme – zaman grafiği	40
3.9 :Kocaeli depremi anakaya ve OTE yüzeyindeki ivme davranış spektrum grafiği	40
3.10 : Kocaeli depremi anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme – zaman grafiği	41
3.11 : Kocaeli depremi anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme davranış spektrum grafiği	41
3.12 : Kahramanmaraş depremi anakaya ve OTE yüzeyindeki ivme – zaman grafiği.....	42
3.13 : Kahramanmaraş depremi anakaya ve OTE yüzeyindeki ivme davranış spektrum grafiği	42
3.14 : Kahramanmaraş depremi anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme – zaman grafiği	42
3.15 : Kahramanmaraş depremi anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme davranış spektrum grafiği	43
3.16 : a) $k=0,25-2$ arası, b) $k=2,5-5$ arası, c) $k=6-8$ arası katsayısına göre sayısal modelin boyutları	46
3.17 : Egion depremi OTE bölgesi ivme (a_x) grafiği	47
3.18 : Egion depremi OTE bölgesi ivme (a_y) grafiği	47
3.19 : Egion depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği.....	48
3.20 : Egion depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği.....	48
3.21 : Egion depremi OTE bölgesi k katsayısına göre ivme davranış spektrum grafiği.....	49
3.22 : Egion depremi PORT bölgesi ivme (a_x) grafiği.....	49
3.23 : Egion depremi PORT bölgesi ivme (a_y) grafiği.....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil	Sayfa
No	No
3.24 : Egion depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği	50
3.25 : Egion depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği	51
3.26 : Egion depremi PORT bölgesi k katsayısına göre ivme davranış spektrum grafiği	51
3.27 : Egion depremi DESP bölgesi ivme (a_x) grafiği	52
3.28 : Egion depremi DESP bölgesi ivme (a_y) grafiği	52
3.29 : Egion depremi DESP bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği.....	53
3.30 : Egion depremi DESP bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği.....	53
3.31 : n katsayısına göre ölçeklendirme	54
3.32 : n katsayısına göre sayısal modelin boyutları	55
3.33 : Egion depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği n katsayısına göre	56
3.34 : Egion depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği n katsayısına göre	56
3.35 : Egion depremi OTE bölgesi ivme (a_x) grafiği n katsayısına göre.....	57
3.36 : Egion depremi OTE bölgesi ivme (a_y) grafiği n katsayısına göre.....	57
3.37 : Egion depremi OTE bölgesi n katsayısına göre ivme davranış spektrum grafiği.....	58
3.38 : Egion depremi PORT bölgesi n katsayısına göre yer değiştirme (u_x) grafiği.....	58
3.39 : Egion depremi PORT bölgesi n katsayısına göre yer değiştirme (u_y) grafiği.....	58
3.40 : Egion depremi PORT bölgesi n katsayısına göre ivme (a_x) grafiği	59
3.41 : Egion depremi PORT bölgesi n katsayısına göre ivme (a_y) grafiği	59
3.42 : Egion depremi PORT bölgesi n katsayısına göre ivme davranış spektrum grafiği	60
3.43 : Egion depremi DESP bölgesi n katsayısına göre yer değiştirme (u_x) grafiği	60
3.44 : Egion depremi DESP bölgesi n katsayısına göre yer değiştirme (u_y) grafiği	61
3.45 : Egion depremi DESP bölgesi n katsayısına göre ivme (a_x) grafiği.....	61
3.46 : Egion depremi DESP bölgesi n katsayısına göre ivme (a_y) grafiği.....	61
3.47 : Egion depremi DESP bölgesi n katsayısına göre ivme davranış spektrum grafiği	62
3.48 : Sönüm metotlarına göre kıyaslama ($h=75-145m$)	65
3.49 : Sönüm metotlarına göre spektral ivme kıyaslama	66
3.50 : Ova-tepe modeli için sonlu eleman ağı gösterimi.....	67
3.51 : Farklı mesh sıklıklarına göre kıyaslama	68
3.52 : OTE bölgesinde kaydedilen ve hesaplanan ivme-zaman analiz sonuçları kıyası.....	69
3.53 : OTE bölgesinde kaydedilen ve hesaplanan spektral ivme analiz sonuçları.....	70
3.54 : Egion depremi OTE bölgesi ivme (a_x) grafiği	71

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil	Sayfa
No	No
3.55 : Egion depremi OTE bölgesi ivme (a_y) grafiği	71
3.56 : Egion depremi DESP bölgesi ivme (a_x) grafiği	72
3.57 : Egion depremi DESP bölgesi ivme (a_y) grafiği	72
3.58 : Egion depremi PORT bölgesi ivme (a_x) grafiği.....	73
3.59 : Egion depremi PORT bölgesi ivme (a_y) grafiği.....	73
3.60 : Egion depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği	74
3.61 : Egion depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği	74
3.62 : Egion depremi DESP bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği.....	75
3.63 : Egion depremi DESP bölgesi Yer değiştirme (u_y) Grafiği.....	75
3.64 : Egion depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği.....	76
3.65 : Egion depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği.....	76
3.66 : Yüzey topografyasının, A-A kesiti boyunca zirve yatay ivmelerin değişimine etkisi a) temel harekete göre amplifikasyon, b) Topoğrafik zemindeki amplifikasyonlar, c) OTE bölgesi hareketine göre amplifikasyonları	78
3.67 : Northridge depremi OTE bölgesi ivme (a_x) grafiği	78
3.68 : OTE bölgesi ivme (a_y) grafiği	79
3.69 : Northridge depremi DESP bölgesi ivme (a_x) grafiği	79
3.70 : Northridge depremi DESP bölgesi ivme (a_y) grafiği	80
3.71 : Northridge depremi PORT bölgesi ivme (a_x) grafiği.....	80
3.72 : Northridge depremi PORT bölgesi ivme (a_y) grafiği.....	81
3.73 : a) Northridge depremi (a_x) İvme büyütme oranları, b) Topoğrafik zemindeki amplifikasyonlar.....	82
3.74 : a) Northridge depremi (a_y) ivme büyütme oranları, b) Topoğrafik zemindeki amplifikasyonlar.....	83
3.75 : Kocaeli depremi OTE bölgesi ivme (a_x) grafiği	84
3.76 : Kocaeli depremi OTE bölgesi ivme (a_y) grafiği	84
3.77 : Kocaeli depremi DESP bölgesi ivme (a_x) grafiği	85
3.78 : Kocaeli depremi DESP bölgesi ivme (a_y) grafiği	85
3.79 : Kocaeli depremi PORT bölgesi ivme (a_x) grafiği.....	86
3.80 : Kocaeli depremi PORT bölgesi ivme (a_y) grafiği.....	86

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
3.81 : a) Kocaeli depremi (a_x) İvme büyütme oranları, b) Topoğrafik zemindeki amplifikasyonlar	87
3.82 : a) Kocaeli depremi (a_y) İvme büyütme oranları, b) Topoğrafik zemindeki amplifikasyonlar	88
3.83 : Kahramanmaraş depremi OTE bölgesi ivme (a_x) grafiği	89
3.84 : Kahramanmaraş depremi OTE bölgesi ivme (a_y) grafiği	89
3.85 : Kahramanmaraş depremi DESP bölgesi ivme (a_x) grafiği	90
3.86 : Kahramanmaraş depremi DESP bölgesi ivme (a_y) grafiği	90
3.87 : Kahramanmaraş depremi PORT bölgesi ivme (a_x) grafiği	91
3.88 : Kahramanmaraş depremi PORT bölgesi ivme (a_y) grafiği	91
3.89 : a) Kahramanmaraş depremi (a_x) İvme büyütme oranları, b) Topoğrafik zemindeki amplifikasyonlar	92
3.90 : a) Kahramanmaraş depremi (a_y) İvme büyütme oranları, b) Topoğrafik zemindeki amplifikasyonlar	93
3.91 : Model binanın a) Kat planı, b) 3D görünüşü	94
3.92 : Sap 2000'deki bina modeli a) Kesiti b) 1. Mod şekli	95
3.93 : Üstyapı titreşimlerinin değerlendirilmesi için kullanılan dalga yayılım problemi a) Şematik görünüm b) Sonlu eleman modeli	97
3.94 : Northridge depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği	98
3.95 : Northridge depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği	98
3.96 : Northridge depremi DESP bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği	98
3.97 : Northridge depremi DESP bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği	99
3.98 : Northridge depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği	99
3.99 : Northridge depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği	99
3.100: Northridge depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_x) ivme büyütme oranları	100
3.101 : Northridge depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_x) pik ivmeleri	101
3.102 : Northridge depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_y) ivme büyütme oranları	102
3.103 : Northridge depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_y) pik ivmeleri	102
3.104 : Kocaeli depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği	104
3.105 : Kocaeli depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği	104
3.106 : Kocaeli depremi DESP bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği	104

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
3.107 :Kocaeli depremi DESP bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği	105
3.108 :Kocaeli depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği	105
3.109 :Kocaeli depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği	105
3.110 :Kocaeli depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_x) ivme büyütme oranları	106
3.111 :Kocaeli depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_x) pik ivmeleri	106
3.112 :Kocaeli depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_y) ivme büyütme oranları	107
3.113 :Kocaeli depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_y) pik ivmeleri	107
3.114 :Kahramanmaraş depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği.....	109
3.115 :Kahramanmaraş depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği.....	109
3.116 :Kahramanmaraş depremi DESP bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği	109
3.117 :Kahramanmaraş depremi DESP bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği	110
3.118 :Kahramanmaraş depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği	110
3.119 :Kahramanmaraş depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği	110
3.120 :Kahramanmaraş depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_x) ivme büyütme oranları	111
3.121 :Kocaeli depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_x) pik ivmeleri	111
3.122 :Kahramanmaraş depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_y) ivme büyütme oranları	112
3.123 :Kahramanmaraş depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_y) pik ivmeleri	113

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
2.1: Zemin özellikleri (Haşal, 2009)	25
2.2: Zemin parametre özellikleri (Kumbasar, 1999)	26
2.3: Zemin özellikleri (Haşal, 2009)	28
2.4: Kullanılan deprem verileri	30
3.1: Modelin k katsayısına göre nümerik ölçüleri	44
3.2: OTE, DESP ve PORT bölgesi maksimum ivme ve yer değiştirme tablosu (L=480m).....	54
3.3: Modelin n katsayısına göre ölçüleri	55
3.4: OTE, DESP ve PORT bölgesi maksimum ivme ve yer değiştirme tablosu (h=145- 75m)	62
3.5: OTE, DESP ve PORT bölgesi spektral ivme ve periyot tablosu (h=75-145m)	63
3.6: 1.Metoda göre kullanılan parametreler (h=75-145m)	64
3.7: 2.Methodda kullanılan parametreler (h=75-145m)	64
3.8: Sonlu eleman modelindeki farklı mesh sıklıklarına bağlı kullanılan bazı parametreler.....	67
3.9: Binaya ait mekanik özellikleri	95
3.10: Binaya ait periyot kıyaslama.....	96
3.11: Northridge depremine göre binadaki yer değiştirmeler ve ivmeler	103
3.12: Kocaeli depremine göre binadaki yer değiştirme ve ivme değerleri	108
3.13: Kahramanmaraş depremine göre binadaki yer değiştirme ve ivme değerleri	113

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a_x	: Yatay yöndeki ivme
a_y	: Düşey yöndeki ivme
a_{max}	: En büyük yatay yer ivmesi
A	: Alan
b	: Rijit eleman birim uzunluğu
α, β	: Malzeme sönümü
B, H	: Zemin boyutları
c	: Kohezyon
c_1, c_2	: Elastik yarı sonsuz düzlemin sönüm sabitleri
c_u	: Drenajsız kayma direnci
d	: düzlemsel eleman kalınlığı
D	: Elastik bünye matrisi
$D-B$	: Doğu-Batı
E	: Elastisite modülü
EA	: Normal rijitlik
EI	: Eğilme rijitliği
E_0	: Başlangıç elastisite modülü
E_{50}	: Sekant elastisite modülü
ε	: Birim şekil değiştirme
f	: Frekans
f	: Akma fonksiyonu
f_{max}	: Fourier frekansının max değeri
F	: Kuvvet
G	: Zeminin kayma modülü
G_{max}	: Maksimum kayma modülü
G/G_{max}	: Kayma modülü oranı
H_i	: Zemin katmanlarının kalınlıkları
h	: Rijit eleman kalınlığı
I	: Atalet momenti
k	: Boyutsuz rijitlik katsayısı
K_0	: Sükunetteki toprak basınç katsayısı
$K-G$	: Kuzey- Güney

n	: Birimsiz orantısal katsayı
P	: Gerilme kuvvet matrisi
σ	: Normal gerilme
ρ	: Zeminin yoğunluğu
R_{inter}	: Arayüz dayanım azaltma faktörü
S_a	: Spektral ivme
T	: Periyot
t	: Zaman
τ	: Kayma mukavemeti
u_x, u_y	: x ve y doğrultularındaki ötelenme yer değiştirmeleri
ν	: Poisson oranı
V_p	: Basınç dalgası yayılma hızı
$v(t)$	: Tanecik hızını
V_{se}	: Eşdeğer bir kayma dalgası hızı
ω	: Yapının açısal frekansı
w	: Kat ağırlığı
ω_i	: Açısal Frekans
Z	: Düşey dalga empedansı
ξ	: Sönüm oranı
ψ	: Kabarma açısı
λ	: Dalga boyu
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
φ	: Kayma mukavemeti açısı
γ	: Birim hacim ağırlık
Δh	: Sonlu eleman boyutunun
Δt	: Zaman adım aralığı
γ_0	: Referans birim hacim ağırlığı
V_s	: Kayma dalgası hızı

KISALTMALAR

MASW	: Çok kanallı yüzey dalgası analizi
HVSR	: Yatay/Düşey spektral oran
HVNR	: Mikrosismik veya ortam titreşimleri
SSR	: Standart spektral oran
PGA	: Pik ivme genlik (Maksimum yer ivmesi)
TBDY	: Türkiye Deprem Yönetmeliği
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EUROCODE	: Design of structures for earthquake resistance (Depreme dayanıklı yapıların tasarımı)
UBC	: Uniform Building Code (Tep Tip Bina Yönetmeliği)
OCR	: Konsolidasyon Oranı
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
TADAS	: Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi
PEER	: Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi
SPT-N	: Standart Penetrasyon Deneyi
NEHRP	: Ulusal Deprem Tehlike Azaltma Programı (Zemin Sınıflandırması)
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
GDF	: Güney Doğu Anadolu Fayı
PHA	: Pik Yatay İvme
DLH	: Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Yönetmeliği
DSİ	: Devlet Su İşleri
DBF	: Dinamik Büyütme Faktörü
PORT-Ç	: PORT Bölgesindeki Bina Çatı Noktası
PORT-B	: PORT Bölgesindeki Bina Temel Noktası
DESP-Ç	: DESP Bölgesindeki Bina Çatı Noktası
DESP-B	: DESP Bölgesindeki Bina Temel Noktası
OTE-Ç	: OTE Bölgesindeki Bina Çatı Noktası
OTE-B	: OTE Bölgesindeki Bina Temel Noktası
gal	: Santimetre/sn ²
Hz	: Hertz
Kg	: Kilogram
kN	: Kilonewton
m	: Metre

cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
sn	: Saniye
M _w	: Deprem Moment Büyüklüğü
1-D	:1 Boyutlu Analiz
2-D	:2 Boyutlu Analiz
DK1	:1 nolu Deprem kaydı
DK2	:2 nolu Deprem kaydı
DK3	:3 nolu Deprem kaydı
DK4	:4 nolu Deprem kaydı



1. GİRİŞ

1.1.Giriş

Deprem, yeryüzündeki en yıkıcı afetlerden biri olarak bilinir, zira fay hatlarındaki kırılmalar sonucu açığa çıkan sismik dalgalar, yerin farklı jeolojik koşullarından geçerken süre, frekans ve genlik değerlerinde değişikliklere neden olabilir. Bu değişimler, özellikle yerleşim bölgelerinde, daha yıkıcı ve güçlü titreşimlere dönüşebilir. Sismik dalgalar genellikle yüksek kayma dalgası hızına sahip sert jeolojik yapılar boyunca ilerler, ancak bazı durumlarda, daha yumuşak zeminlerden geçerken genlik değerlerinde büyük artışlar meydana gelebilir. Bu jeolojik etkiye bağlı genlik artışları, genellikle literatürde "zemin büyütmesi" olarak adlandırılır. Yapılan bu tez çalışması, farklı mühendislik yapılarının dinamik deprem davranışlarını etkileyen zemin büyütme etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Depremlerin oluşturduğu güçlü yer hareketlerinin, bölgesel zemin koşulları üzerindeki etkilerini anlamak için literatürde yaygın biçimde kabul görmüş tepe ve ova modeli kullanılmıştır. Farklı özelliklere sahip jeolojik katmanları içeren bu topoğrafya kullanılarak 1-D ve 2-D sayısal modeller geliştirilerek ölçeklendirilmiş ivme kaydı ve farklı istasyonlardan elde edilen deprem titreşimleriyle analizler gerçekleştirilmiştir. Gerçek deprem kayıtlarının farklı frekans içeriklerine dayalı yapılan sayısal analizlerle, tepe ve ova bölgelerinin serbest zemin yüzeyinde belirlenen gözlem noktalarındaki ivme-zaman kayıtları ve ivme spektrum eğrileri kullanılarak, yerel jeolojik etkilere bağlı farklılıklar belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca tez çalışmasının ilerleyen aşamalarında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak geliştirilen ve kalibre edilen iki boyutlu (2-D) sayısal model aracılığıyla ova-tepe modelindeki hem yapısal hem de serbest zemin titreşimleri yer değiştirme ve ivme açısından değerlendirilmiştir.

1.2.Literatür Özeti

Dünyamızın oluşumundan bu yana yerkabuğunda hareketler devam etmekte olup, yerkabuğundaki bu hareketlere bağlı oluşan deprem adını verdiğimiz bu doğa olaylarını önceden kestirmek şimdiki teknolojiyle halen öngörülememektedir. Dünyada zemin yüzeyi bir havuzdaki gibi tek tip değildir. Her bölgenin kendine has bir zemin yapısı ve özellikleri farklı olduğundan her yere aynı yöntem ve şartlarda tasarım yapmak mümkün olmayacaktır.

Yerel zemin özelliklerinin de son derece önemli olduğu, yapılan birçok çalışmada hem yapı-zemin dinamik etkileşimi hemde sismik zemin büyütmesi açısından belirlenmeye çalışılmıştır.

Selçuk vd. (2007) yapılan çalışmada, Küçükçekmece-Sefaköy bölgesinde yapılan çalışmalardan elde edilen jeolojik veriler kullanılarak 1-D eşdeğer lineer, non-lineer analizleri yapan Deepsoil, EERA programları ve 2-D PLAXIS sonlu elemanlar yöntemine göre dinamik analizlerinde 3 farklı viskoz sönümlü parametreleri belirlenirken dikkat edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Yapılan analizlerde Deepsoil programının 1-D non-lineer analizi 1-D eşdeğer lineer analize göre maksimum yüzey ivmelerinin yüksek çıktığı, EERA programının da Deepsoil'e göre daha yüksek sonuçların çıktığı, iki boyutlu analiz sonucunda şevin başlangıcında ve şevin tepesinde ivmelerin arttığı yani topografyanın etkili olduğuna, 2-D analizlerin yapılmasının daha doğru olacağı kanısına varılmıştır.

Haşal ve İyisan (2009) çalışmalarında Düzce ovası kenar modelini kullanarak, anakaya mostra sınır eğimini $H/D = 10, 5, 2, 1$ oranları için değiştirmişler ve vadi yüzeyindeki farklı noktalar için yapılan X/D oranına göre de kıyaslamışlardır. Mikrotremor ağ ölçüm yöntemiyle iki boyutlu kayma dalga hızı profilleri kullanılarak 6 farklı deprem kaydının anakayaya geri dönüşünün yapıldığı çalışmadan elde edilen ivme kayıtları kullanarak yüzey hareketlerinin 1-D/2-D dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması hedeflenmiştir. 2-D ve 1-D yapılan analizde en yüksek şiddet $H/D=2$ olan modelde olmakta ve tüm modeller içinde $T=0,2\text{sn} - 0,5\text{sn}$ aralığında en yüksek şiddet faktörü elde edildiği ortaya konmuştur.

İyisan ve Haşal (2011) çalışmasında tepe-ova modeli kesiti üzerinde bulunan seçili noktalar ve anakaya ova kesişimin mesafe ve derinliğe oranına göre büyütme etkisini görmek için ova yüzeyinde yüksek plastisiteli kil ve siltli kum olarak ayrı ayrı ele alınan farklı periyotlarda 6 adet depremin ivme kayıtlarını kullanmıştır. 1-D ve 2-D analizler sonucunda üst tabakanın kum olmasında 2 kat daha fazla ivmesinin arttığı, üst tabakanın kil olmasında da 5 kat arttığı ortaya çıkmıştır. Üst tabakanın kil olmasının üst tabakanın kum olmasına karşı anakaya ile ovanın kesiştiği bölgede spektral ivmenin en yüksek olduğu, ova ortasına doğru 1-D/2-D analizdeki farkın azaldığı ortaya konmuştur.

Unutmaz vd. (2011) çalışmasında İzmir ili Karşıyaka ilçesinde sondaj ve zemin etüt çalışmaları yaparak idealize zemin profili çıkartmışlardır. Yaptıkları çalışmada veri

tabanından (Peer NGA Veri Bankası; 2006) seçilen 12 adet deprem kaydını kullanarak, bir boyutlu eşdeğer lineer analiz yöntemini kullanan SHAKE2000 programı ile üç boyutlu sonlu farklar yöntemiyle doğrusal olmayan analiz yapan FLAC-3D programından elde ettikleri zemin davranış çıktılarını karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan anakayadan verilen depremlere bağlı oluşan ivme spektrumlarının azaldığı ve periyodlarının 0,5-1,8 sn arasında çıktığı görülmektedir. Elde edilen ivme spektrumun grafiklerin benzer özellikte olduğu ve iki analizde de zemin doğrusal olmayan bir davranış göstererek asıl ivmenin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Çelebi vd. (2012) yaptıkları çalışmayla, yapı-zemin dinamik etkileşim problemini temsilen geliştirdikleri 2-D sayısal model üzerinde farklı sıklıklardaki zemin özelliklerine bağlı olarak yapısal titreşimleri sismik olarak araştırmışlardır. Titreşen zemin-yapı sisteminin yapısal tepkisini doğrudan değerlendirmek amacıyla farklı kontrol parametrelerine bağlı gerçekleştirilen nümerik analizler, üstyapı altındaki tek tabakalı zemin ortamının rijitliğinin arttıkça, analiz edilen farklı deprem hareketlerinin binaya olan etkilerini önemli ölçüde değiştirdiği sonucuna ulaşmışlardır. Buna ilaveten, farklı deprem girişleri altındaki yapı-zemin dinamik etkileşim etkileri, tüm düşünülen zemin koşulları ve yapı tipleri için farklılık göstermiştir.

Türkiye Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından yayımlanan ve 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla yürürlüğe giren deprem yönetmeliğine göre (TBDY 2018), zemin davranış spektrumları için zemin özelliklerinin biraz daha genişletilerek, tasarım ivme spektrum eğrisi binanın konum ve lokal jeolojik zemin formasyonlarına bağlı seçilebilmektedir. Yapılacak binalar içinde tasarım spektrum eğrilerinin analizler sonucu zemin yüzeyinde elde edilen spektral yer ivmesi ile karşılaştırılması, zemin hâkim periyodun bulunması ve yapılacak binaların bu parametreler dikkate alınarak tasarlanması deprem sırasında oluşacak hasarların azaltılması anlamında önemlidir. Zemin hâkim periyot aralığının bilinmesiyle üzerine yapılacak yapıların bu periyot aralığının dışında seçilerek tasarlanması, olası deprem durumunda yapı-zemin dinamik etkileşimine bağlı rezonans etkisiyle oluşabilecek daha büyük yıkıcı etkilerden yapıları uzak tutmuş olacaktır.

Kaptan ve Tezcan (2012) taban anakayadaki deprem dalgasının yüzeye ulaşana kadar genliğinin büyüdüğünü irdeledikleri çalışmalarında, analitik yöntemlerle ele alınan üç adet farklı yapı sonlu elemanlar yöntemine bağlı farklı deprem kayıtlarıyla Shake programında

analiz edilmiş ve zemin büyütme faktörleri Wave programıyla yapılan analizlerle kontrol edilmiştir. Analizler sonucu anakayadaki ivme kayıt değerinin büyümesiyle anakaya mostrasında büyütme oranlarının küçüldüğü, zemin hâkim periyotlarının ise arttığı anlaşılmıştır. Yapılan çalışmada özetle, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)'deki tasarım ivme spektrumları yerine, yerel zemin özelliklerinin dikkate alındığı spektrumların tasarım aşamasında kullanılması gerektiği yapılan analizlerle ortaya konmuştur.

Sönmezer vd. (2015), 1.Derece deprem bölgesinde bulunan Kırıkkale ili çevresi için yapılan çalışmalarda analizler sonucu elde edilen spektral ivmeler hem DBYBHY (2007) hem de Eurocode 8'e göre kıyaslanmış, tepki spektrumunun tasarım spektrumundaki değerlerin üzerinde çıktığı görülmüştür. Sonuç olarak binanın konumlandığı zemin özelliklerinin tasarım spektrumları üzerinde ne kadar önemli olduğu yapılan çalışmada vurgulanmıştır.

Şahin ve Özden (2015) İzmit Körfezi'nin doğusunda yer alan derin alüvyon zemin üzerindeki jeofizik arazi deneylerinden elde edilmiş verileri kullanarak Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Yönetmeliği (DLH, 2008) şartnamesine göre D1, D2 ve D3 deprem seviyeleri için seçilen deprem kayıtlarına göre yapılan 1-D boyutlu doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analiz verilerini karşılaştırmıştır. Anakayanın zemin yüzeyinden itibaren 140m derinliğinde olması durumunda (1.metod)'da 760 m/sn den büyük olan kayma dalgası hızına sahip zemin bölgesine denk gelen derinlikten uygulanmasına izin veren yöntemde, analizlerin her ikisinin de D1 deprem seviyesinde yakın çıktığı, D2 deprem seviyesinde eşdeğer analizin yüksek çıktığı, D3 deprem seviyesinde daha belirgin şekilde eşdeğer analizin yüksek olduğu görülmüştür. Anakayanın zeminden 1200m derinlikte olması durumunda (2.metod) ise yüzeydeki gerçek ivme kaydının Deepsoil programı ile geri çevrim yaparak zemin yüzeyindeki davranışlar karşılaştırılmıştır. Spektral ivmenin azaldığı, zemin periyotlarının büyüdüğü gözlenmiştir. Çalışma sonucunda 1. metodun spektrum ivmesinin 2. metoda göre daha yüksek olduğu için tasarım spektrumlarını da etkileyeceği ortaya çıkmıştır.

Fırat ve Demir (2016) tarafından alüvyon zemin formasyonuna sahip Adapazarı bölgesinde yapılan çalışmada, yerel zemin koşullarının deprem hareketlerinin büyütme etkilerini araştırmak için Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılan sondaj verileri ve 17 Ağustos Marmara depremi ivme kayıtları kullanılmıştır. Shake2000 programında yapılan 1 boyutlu

(1-D) zemin tepki analizinden çıkan spektral ivme değerlerinin, DBYBHY (2007) ve Eurocode 8’de kabul edilen tasarım spektrumların çok üzerinde olduğu belirtilen çalışmada, seçilen zemin profilinin transfer fonksiyonunda küçük frekanslardaki zemin büyütme değerlerinin 10-20 kat aralığında çıktığı ve bu durumun anakaya derinliğinin belli olmamasına bağlı oluşabileceği ifade edilmiştir.

Panzer et al., (2017) tarafından Güney İzlanda da kırılğan yapılı fay hatları olan bölgede 15 adet sismik deprem kayıtlarıyla Yatay/Düşey Spektral Oran (HVSr) ve gürültü kayıtları kullanılarak mikrosismik veya ortam titreşimleri (HVNR) yöntemleri kullanılarak yapılan araştırmada, zeminin baskın rezonans frekanslarının daha yüksek çıktığı ve daha önce yapılan Atakan ve diğ. (1997) ve Rahpeyma ve diğ. (2016) elde edilen sonuçlarda 1-3 Hz frekans aralığına göre uyumlu olduğu görülmüştür. Yine yapılan çalışmada 3-10Hz frekans aralığında dalgaların artan saçılma etkileriyle büyüdüğü belirlenmiştir.

Tunçel vd. (2017), Bu çalışmada İzmir körfezi kıyı bölgesine yakın çalışma alanından 112 adet veri noktasında kaydedilen verilerin tek istasyon mikrotremor verisi toplanarak yapılan mikrotremor analizi sonucu elde edilen yatay ve düşey spektral oran yöntemi (HVSr) bağılı oluşan zemin hâkim titreşim periyot değerleri ile hesaplanan dinamik büyütme faktörü (DBF) değerlerinin uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Keçeli ve Cevher (2018) araştırmalarında, binaların zeminle rezonans oluşturmada sinyal dalga boyu prensibi yöntemiyle zemin periyot değerlerinin tespitini yapmışlardır. Rezonans bölgesi $T=0,5-1,5$ sn aralığında ve TBDY-2018’deki zemin sınıflarına göre rezonans bölge aralığı azalmaktadır. Yine yapılan çalışmayla, bina kat adedi ve rijitlik değerlerine göre rezonans bölgesi dışındaki kat adedi seçildiğinde rezonansa bağılı hasarların olmayacağı tespit edilmiştir. Araştırmada zemin kayma dalga hızı $V_s > 500$ m/sn’den olması durumu için katman kalınlığının 30 m alınmasıyla zemin hâkim periyodunun daha doğru sonuç vereceği, $V_s < 500$ m/sn durumu içinse katman kalınlığının 50 m olarak kullanılmasında zemin hâkim periyodunun daha doğru sonuçlar vereceği belirlenmiştir.

Sönmezer vd. (2015) 1.Derece deprem bölgesi olan Kırıkkale ili çevresinde yapılan çalışmada analizler sonucu elde edilen spektral ivmeleri hem ulusal yönetmelik DBYBHY - 2007 hem de uluslararası şartname olan Design of structures for earthquake resistance

(Eurocode 8)'e göre kıyaslamışlardır. Tepki spektrumunun tasarım spektrumu üzerinde çıkan araştırmayla zeminin ne kadar önemli olduğu bir kez daha anlaşılmıştır.

Afacan ve Güler (2019) seçtikleri çalışma bölgesinde 5 adet sondaj logu kullanarak Deepsoil programı yardımıyla 3 farklı deprem kaydı için lineer olmayan analizler yapmışlardır. Yüzey spektrum etkisi ve derinliğe bağlı maksimum ivme değişimlerinin belirlendiği çalışmada, tepki spektrumlarının derinliğe bağlı değiştiği, birim deformasyon davranışının zemin yüzeyine doğru azaldığı ve zemin periyodunun ise arttığı anlaşılmıştır. Çalışmada ayrıca, TBDY 2018'göre elde edilen spektrum eğrileri ile karşılaştırma yapılarak tepki spektrumları açısından sahaya özel analizlerin yapılması gerekliliği vurgulanmıştır.

Ateş ve Uyanık (2019), Kocaeli ilinde seçmiş oldukları hizmet binasının çatısına ve inşa edildiği yere konumlandıkları ivmeölçerler aracılığıyla ölçtükleri 16 adet depreme ait 32 adet ivme kaydını standart spektral oran (SSR) ve HVSR yöntemleriyle değerlendirerek serbest zemin ortamıyla binada oluşan büyütme oranları, baskın frekansları gibi önemli dinamik parametrelerini belirlemişlerdir. Bina bahçesinde bulunan istasyonunda yapılan çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW) yöntemiyle ilk 30m'deki zemin kayma dalga hızı ve zemin sınıfı tespit edilmiştir. Bu yöntemlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında yakın depremlerin büyüklüğüne göre daha fazla bina büyütme değeri çıktığı, baskın salınım frekanslarının yakın olduğu, ancak bina büyütme değerinde kullanılan Standart Spektral Oran (SSR) yöntemiyle elde edilen sonuçların daha doğru olduğu anlaşılmıştır.

Azimi vd. (2019) çalışmalarında zemin koşullarına göre büyütme katsayıları ile yönetmeliklerde kullanılan spektrum katsayılarının betonarme taşıyıcı sistemlerin maliyetine ve sismik etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla farklı zemin sınıflarında inşa edilen 2, 5, 10 ve 15 katlı prototip binaları, TBDY-2007, Uniform Building Code (UBC97), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-10) yönetmeliklerindeki tasarım ivme spektrumlarını kullanarak farklı deprem kayıtlarına bağlı betonarme taşıyıcı sistem maliyetlerini karşılaştırmışlardır. Betonarme kolon, kiriş ve döşeme boyutlarının optimum değerlerindeki kat öteleme ve deplasmanların değerlendirildiği araştırmada, Z2 zemin sınıfına ait spektrumdaki bina maliyetlerinin Z4' deki C, D ve E zemin türlerinde yapılan binalara oranla daha az olduğu anlaşılmıştır.

Özyazıcıoğlu vd. (2019) çalışmalarında Erzincan ilindeki 1 km derinliğindeki ana kayaya kadar olan alüvyon zeminde bölgedeki zemin büyütme etkisini incelemek için Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nce (DSİ) bölgede yapılan 41 adet sondaj logunu kullanmışlardır. Yapılan araştırmayla Proshake programında eşdeğer doğrusal analizle ana kaya mostrasındaki 8 farklı deprem kaydını kullanarak elde edilen zemin büyütme oranlarına göre mikrobölgeleme haritası çıkartılmıştır. Çalışma sonucunda DBYBHY (2007) tasarım spektrumunun ana kaya mostrasından yüksek olduğu, periyodun 0,9 sn'ye kadar genliğin düşük olduğu sonrasında periyodunun da genliğinin de daha da arttığı görülmüştür. Buna göre yapılacak binaların tasarımında kullanılacak periyotların zemin hâkim periyotları aralığının dışında olması gerektiği vurgulanan çalışmada, Midorikawa (1987) tarafından önerilen yöntemle göre büyütme oranlarının birden büyük olduğu hesaplanmış ve bu yöntemin kullanılmasının uygun olmayacağı sonucuna varılmıştır.

Ildır vd. (2020) çalışmalarında, Adapazarı ilçesi Tıgçılar bölgesindeki zayıf zeminde kullanılan mevcut bir yapının sivilaşma potansiyelini 1999 Kocaeli deprem kayıtlarını kullanarak belirlemişlerdir. 2-D sonlu elemanlar modeliyle deprem büyütme etkisinin de analiz edildiği çalışmada, zemin yüzeyine çıkıldıkça ivme değerlerinin arttığını ve zemin büyütme etkisinin oluştuğunu belirtmişlerdir.

Beyaz ve Kayabalı (2020) araştırmalarında deprem kayıtlarının asıl kaynağından çıktıktan sonra, anakayadan yumuşak zemine geçmeden önceki halinin belirlenmesini amaçlamıştır. Çalışmada, ivmeölçerlerin bulunduğu yerlerde sondaj yapılarak zemin kayma hızları tespit edilip, Proshake programında ters evrişim (deconvolution) yani yüzeyden anakayaya dönüş yapılarak ivme kayıtları bulunmuştur. Elde edilen kayıtlardan depreme ait pik ivme ve baskın periyot değerleri mevcut değerlerle karşılaştırılarak zemin büyütme değerleri şekillerle gösterilmiştir.

Civelekler vd. (2021) Eskişehir şehir merkezinde alüvyon zeminde yapılan 40 adet sondaj çalışmalarını kullanarak gerçek kayma dalga hızlarını belirlemişlerdir. Kocaeli-Yarımca istasyonundan elde edilmiş 4 farklı zemin grubunda olan deprem kayıtları kullanılarak Deepsoil ve EERA programında 1-D eşdeğer lineer analiz yapmışlardır. Elde edilen verilerden zemin büyütme değerleri DBYBHY-2007 ve TBDY-2016'ya göre zemin sınıflarında kıyaslaması yapılmıştır. Yapılan çalışmayla bölgede hesaplanan büyütme

değerlerinin mahalle bazında ortalama bir değerin alınmasının uygun olmadığı sonucunu ortaya koymuşlardır.

Uyanık vd. (2021) çalışmalarında farklı zemin tiplerindeki 152 adet deprem kaydını kullanarak mesafelere göre oluşan ivme azalımını matematiksel bağıntı olarak elde etmiştir. Kullanılan yöntemde P ve S dalga hızlarının ağırlıklı ortalaması alınarak elde edilen deprem periyodu ile yatay yer ivmesi ilişkisinde deprem şiddetinin arttığı görülmüştür. Yapılan araştırma zemin büyütme etkisiyle depremin uzaklığının yakın olması durumu için yer ivmesinin de arttığı sonucunu vermektedir. Bununla birlikte çalışmada Türkiye Bina Deprem yönetmeliğindeki hesaplarda kullanılan spektral ivme değerlerinin zemine göre farklılık göstermesinden dolayı uygun olmayacağı görüşü sunulmuştur.

1.3.Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yerel jeolojik zemin yapısının güçlü sismik titreşimler üzerindeki büyütme etkilerini dikkate almaksızın yapılan üstyapı tasarımları, deprem sonrası oluşabilecek yıkıcı etkilerin doğru bir şekilde analiz edilmesini engelleyebilir. Mühendislik yapılarının dinamik davranış analizlerinde sıkça kullanılan kuvvetli yer hareketlerinin üzerinde büyütme etkisi oluşturabilecek topoğrafya, havza ve alüvyonel zemin çökelleri gibi faktörlerin dikkate alınması gerekliliği önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında, farklı kayma dalgası hızlarına sahip jeolojik zemin ortamlarının deprem yer hareketi üzerindeki etkisi geliştirilen sayısal modeller yardımıyla incelenmiştir. Burada amaçlanan temel olgu, farklı amaçlar için kullanılan mühendislik yapılarının dinamik deprem davranışlarını önemli oranda değiştiren zemin büyütmesi kavramının irdelenmesidir. Bu amaçla kayıt istasyonlarından elde edilen farklı frekans içeriklerine sahip mostra kaydı niteliğindeki gerçek kuvvetli yer hareketleri, seçilen ova-tepe modelinin anakaya seviyesinden uygulanarak OTE, DESP ve PORT bölgesindeki sismik davranışlara zemin etkileri incelenmiştir.

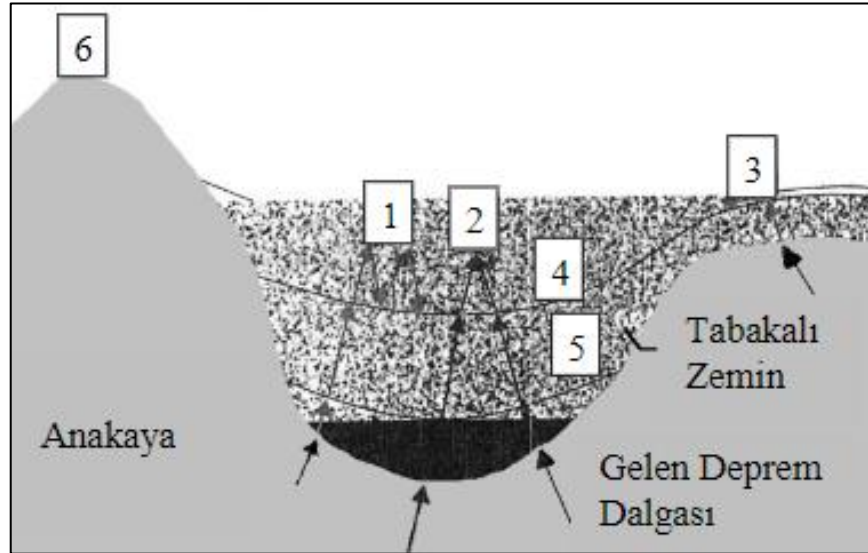
Yapılan tez çalışması kapsamında, dalga yayılım probleminin incelendiği modeller üzerinde gerçekleştirilen eşdeğer lineer analiz yöntem temelli 1-D ve sonlu elemanlar metodu temelli 2-D sayısal analizlerle, geoteknik zemin koşullarının deprem yer hareketine olan büyütme etkisinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Literatüre bağlı seçilen basamak biçimindeki topoğrafik kesitte gerçekleştirilen dinamik analizlerle elde edilen sismik titreşimler ivme, yerdeğiştirme ve davranış spektrumu olarak değerlendirilmiştir.

2. ZEMİN KOŞULLARININ SİSMİK TİTREŞİMLER ÜZERİNDEKİ BÜYÜTME ETKİSİ

2.1.Zemin Büyütmesine Etkiyen Faktörler

Depremi kaynağından çıktıktan sonra zemin tabakalarının kalınlıklarına göre içinden geçerken sismik dalgaların genlik değerlerinde değişikliklere neden olabilmektedir. Jeolojik zemin tabakaların rijitlikleri, kalınlıkları, sismik dalgaların geliş açıları, kayma dalga hızları, sönüm oranları ve diğer özellikler deprem dalgalarının büyüklüğü zeminin özelliklerine göre büyütme etkisi de değişecektir.

Şekil 2.1’de zemin büyütmesini etkileyen faktörler verilmiştir. Konuyla alakalı birçok çalışmada detaylı incelemeler yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda tek boyutlu modeller kullanılarak zemin tabaka kalınlığı, kayma dalga hızı, sönüm oranları ve dinamik özellikler kullanılarak yapılan analizlerde deprem kayıtlarının davranış özelliklerindeki zemin büyütme etkileri incelenmiştir. (Kutaniş ve Bal, 2006; Kılıç vd., 2006; Hasancebi ve Ulusay, 2006; Bakır vd., 2005; Bakır vd., 2005; Yalçınkaya, 2004; Haşal ve İyisan, 2004; Tohumcu vd., 2003; Tezcan vd., 2001; Biringen, 2000; Özgirgin, 1994)



Şekil 2.1 : Zemin büyütmesini etkileyen faktörler 1) Empedans değişimlerinden kaynaklanan rezonans, 2) Yüzey altı topografyasından kaynaklanan odaklanma, 3) Yüzey dalgalarına dönüşen cisim dalgaları, 4) Su içeriği, 5) Zemin ortamının düzensizliği, 6) Yüzey topografyası (Şafak, 2001).

2.1.1. Empedans Değişimlerinden Kaynaklanan Rezonans

Sismik titreşimler üzerinde oluşan büyütme etkisini etkileyen önemli parametrelerden empedans farklılığı konusu, yer katmanlarını oluşturan zemin ortamı ile daha alt seviyelerdeki rijit tabanlı anakaya ortamı arasındaki empedans farklılığına bağlı gelişmektedir. Alüvyon zeminlerde sismik titreşim hareketinin genliğinin artmasının başlıca sebebi yer kabuğundaki farklı tabakalardan geçerken farklı hızlardaki zeminlerin ana kaya arasındaki deprem dalgalarının empedans farkıdır (2.1). Deprem dalgaların empedansı, dalga hareketine karşı ortam mukavemetinin bir göstergesi olarak görülebilir (Aki ve Richards, 1980).

$$Z = \rho \cdot V_s \quad (2.1)$$

Bağıntı (2.1) de, Z; düşey dalga empedansı, ρ ; zemin yoğunluğu ve V_s ; kayma dalga hızını gösterir. Kayma dalga hızı V_s ne kadar yüksek olursa empedansı da yüksek olacaktır. Yüzeğe yakın zemin tabakaların birim hacim ağırlığı ve kayma dalga hızları küçüktür.

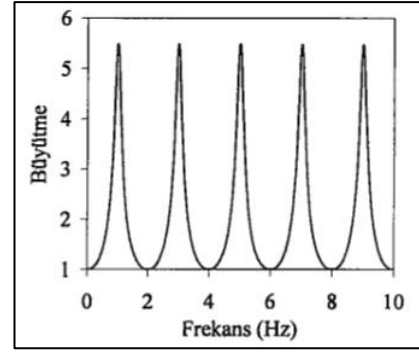
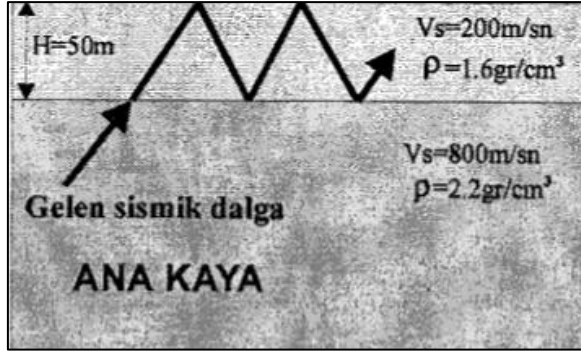
$$E(t) = \frac{1}{2} (\rho \cdot V_s) v^2(t) \quad (2.2)$$

Bağıntı (2.2) de, $E(t)$; sismik enerji formülünde, (ρ) ortam yoğunluğunu, (V_s) kayma dalga hızını, $v(t)$ enerjinin korunması için tanecik hızını temsil etmektedir. Enerjinin korunumu ilkesi gereği; dalgaların yeryüzüne yaklaşırken ortam yoğunluğu ve dalga hızının azalmasıyla tanecik hızının $v(t)$ nin de artması kaçınılmazdır (Kramer, 1996).

Anakaya ve zemin arasındaki deprem dalgaların empedans farkı, sismik titreşim dalgaların zemin tabakaların içinden geçerken dalga yansımalarına neden olur. Zemin tabakalarının fiziksel özelliklerin tek yönde değiştiği zemin modelindeki gösterimde (Şekil 2.2) dalga yayılması zemin katmanlarından yansıyan cisim dalgalarını etkiler. Zemin modelinin yapısının 2 veya 3 boyutlu olması jeolojik yapısının farklılaşması, farklı sıkıştırma ve biriktirme sonucunda sismik yüzey dalgalarını da etkiler. Yansıyan sismik dalgalar zeminin titreşiminden dolayı maksimum rezonansa ulaşmasına neden olur (Yalçınkaya, 2001). Seçilen tek boyutlu modellerde kullanılan bağıntılar aşağıda verilmiştir (Kramer, 1996).

$$f_0 = V_s / 4H \quad (\text{temel frekans}) \quad (2.3)$$

$$f_s = (2n+1) f_0 \quad (n=1,2,3,...) \quad (\text{harmonikler}) \quad (2.4)$$



a

b

Şekil 2.2 : Dalga yansımalarının gösterimi, b) Rezonans büyütme oranı (Yalçinkaya, 2001)

Temel frekans eşitliğinde (2.3) ve (2.4)'de V_s , tabakanın S dalga hızı, H , anakaya üzerindeki zemin tabaka kalınlığını ifade eder. Zemin hâkim periyodu $T_0=1/f_0$ olduğundan temel frekans değeri 0.2 Hz- 10 Hz veya daha fazla değerlerde değişebilir.

2.2.Sismik Dalgaların Zemin Ortamında Yayılması

2.2.1. Deprem Oluşumu

Yerkabuğunun litosfer (taşküre) tabakasının ortalama kalınlığı 100 km kalınlığındadır. Yerkabuğu, litosferin en üst tabakasında ve kıtalar ile deniz tabanı oluşturmaktadır. Bu tabakanın altında astenosfer adı verilen tabaka esnek bir yapıya sahip olmasından litosfer tabakaları üzerinde kaymaya izin verir. Burada oluşan kuvvetlerin ani hareketinden meydana gelen fay hatları boyunca tektonik tabakların birleştiği yer kabuklarında meydana gelir. Plakalar birbirine sürtündükçe sıkışır ve basınç oluşur. Bu basınç o kadar büyüktür ki, levhalar gevşer. Basıncın şiddetine bağlı olarak zeminde titreşimler hafif veya güçlü olarak sallanabilir ve depremler oluşur.

2.2.2. Deprem Türleri

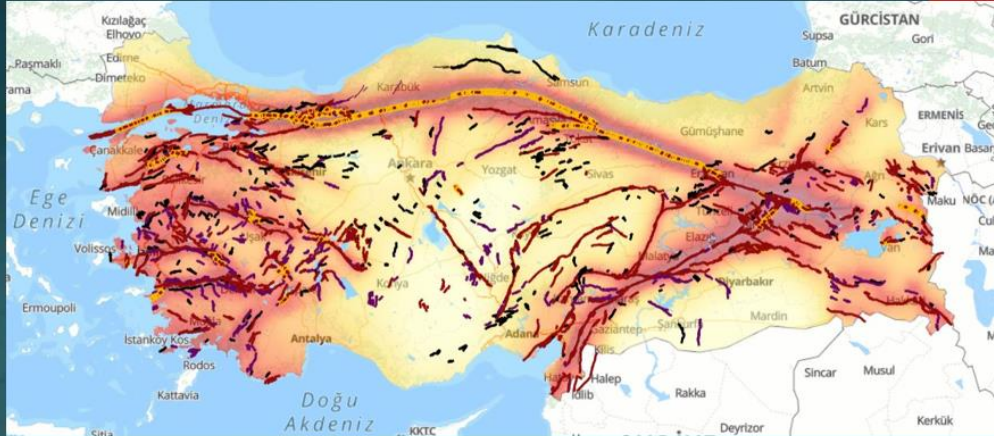
Depremler oluşumlarına ve nedenlerine göre 5'e ayrılır. Birincisi Tektonik depremler; Dünya'nın litosfer tabakasında yer alan tektonik levhaların hareketleri ve bu hareketlerin neden olduğu fay hatları boyunca meydana gelen depremlerdir. Tektonik depremler dünya genelinde en sık meydana gelen deprem türlerindendir. Bu deprem türü en yaygın ve en yıkıcı depremlerden bir tanesidir. Ülkemizde olan depremlerin çoğunluğu bu şekilde olmaktadır. İkincisi Volkanik depremler; volkan aktiviteleri ile meydana gelen tektonik

kuvvetlerden meydana gelen herhangi bir depremdir. Üçüncüsü Çökme depremler ise; yeraltında mağara ve maden ocaklarında meydana gelen patlamalardan ve çökmelerden meydana gelen depremlerdir. Dördüncüsü de Patlama depremi; insan kaynaklı deprem olarak da bilinmekte olan patlayıcıların kullanılmasından ve nükleer cihaz patlamasından da meydana gelen depremlerdir. Beşincisi de Rezervuar kaynaklı baraj yapılarında toplanan suların oluşturduğu basınçtan meydana gelmektedir.

2.2.3. Ülkemizin Depremselliği

Türkiye, Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Doğu Anadolu Fayı (DAF) ve Güney Doğu Anadolu Fayı (GDF) gibi önemli fay hatlarının üzerinde yer alır. Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattı, Türkiye'nin kuzeyini Marmara Bölgesi'nden Karadeniz'e kadar kesen ve Ege Denizi'nde sonlanan uzun bir çizgi şeklinde uzanır. Türkiye'nin en aktif fay hatlarından biri olarak kabul edilen hat boyunca asırlardır önemli depremler olmuştur. Örneğin, 1944 Bolu-Gerede depremi, 1957 Abant depremi, 1967 Mudurnu depremi, 1999 İzmit depremi Merkez üstü Gölcük olan 17 Ağustos tarihinde olan 7.4 Mw büyüklüğünde, 1999 Düzce depremi, KAF hattının üzerinde tektonik tabakalarının kırılmasıyla oluşmuştur. Doğu Anadolu Fay (DAF) hattı; Türkiye'nin doğusunda yer alan ve büyük ölçüde kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan önemli bir fay hattıdır. Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi, Anadolu Plakası ile Kuzey Anadolu Fayı'nın güneyinde yer alan Karlıova-Karadere Fayı arasında sıkıştırılarak kuzeye doğru itilirken, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ise İran Plakası ile doğu yönünde hareket eder. 1930 Hakkâri depremi, 1939 Erzincan depremi, 1941 Van-Erciş depremi, 1946 Varto depremi, 1949 Karlıova depremi, 1966 Varto depremi, 1971 Bingöl depremi, 1975 Lice depremi, 1976 Çaldıran depremi, 1983 Erzurum depremi, 1992 Erzincan depremi, 2003 Bingöl depremi, 2011 Van depremi, 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan depremleri on bir ilde maddi ve manevi zararlar veren yıkıcı depremlere örnek olarak verilebilir. Üçüncüsü de Batı Anadolu Fay Hattı, Anadolu'nun batısından doğusuna ve kuzeyden güneye sıralı dizilmiş birçok fay hattını barındırmaktadır. 1914 Afyon-Bolvadin depremi, 1914 Burdur depremi, 1928 İzmir depremi, 1939 Dikili-İzmir depremi, 1953 Söke-Aydın depremi, 1957 Fethiye-Muğla depremi, 1969 Alaşehir-Manisa depremi, 1970 Gediz depremi, 1995 Dinar-Afyon depremi, 2002 Sultandağı-Afyon depremi, 2014 Ege Denizi depremi, 2020 Ege Denizi Depremi ve 2022 Buca-İzmir Depremleri örnek olarak verilebilir (URL-1,2023).

■ Türkiye Deprem Haritası

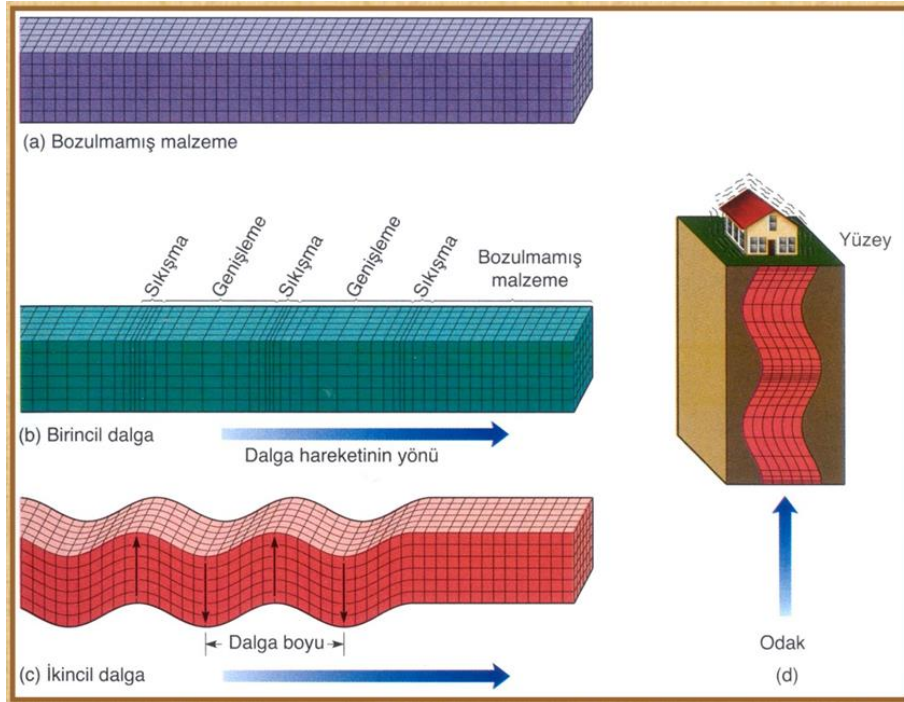


- 17 Ağustos Gölçük Depremi 7.4
- 12 Kasım Düzce Depremi 7.2
- 3 Şubat Afyon Depremi 7.2
- 30 Ekim İzmir Seferihisar Depremi 6.6
- 1998 Deprem Yönetmeliği
- 2007 Deprem Yönetmeliği
- 2018 Deprem Yönetmeliği
-
- 24 Ocak Elazığ Depremi 6.8
- 23 Ekim Van Depremi 7.2
- 6 Şubat K. Maraş Pazarcık 7.7
- 6 Şubat K. Maraş Elbistan 7.6

Şekil 2.3 : Türkiye deprem tehlike haritası (URL-1, 2023)

2.2.4. Deprem Dalgaları

Deprem meydana geldiğinde fay hattının kırılmasıyla üzerindeki hareket enerjisi serbest bırakılır ve yeraltındaki kaynağından çıktıktan sonra yeryüzüne yayılan dalgalara cisim dalgaları denir. İkincil dalgalara da yüzey dalgaları denmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : a) Zemin yüzeyi (b) P-dalgaları (c) S-dalgaları (d) P ve S dalgalarının etkileri (URL-3, 2023)

2.2.4.1. P Dalgası

Cisim dalgalarından ilki olan P dalgası; ilk olarak hissedilen dalgadır ve yayılma yönüne paralel olduğu için ortamı dönüşümlü olarak sıkıştırarak ve genişleterek enine ve boyuna hareket ederler, her türlü ortamda havadaki ses hızında hareket ederler. Deprem esnasında sismik kayıt istasyonları tarafından kaydedilen ilk dalgalardır (Şekil 2.4-b; URL-2, 2018).

2.2.4.2. S Dalgası

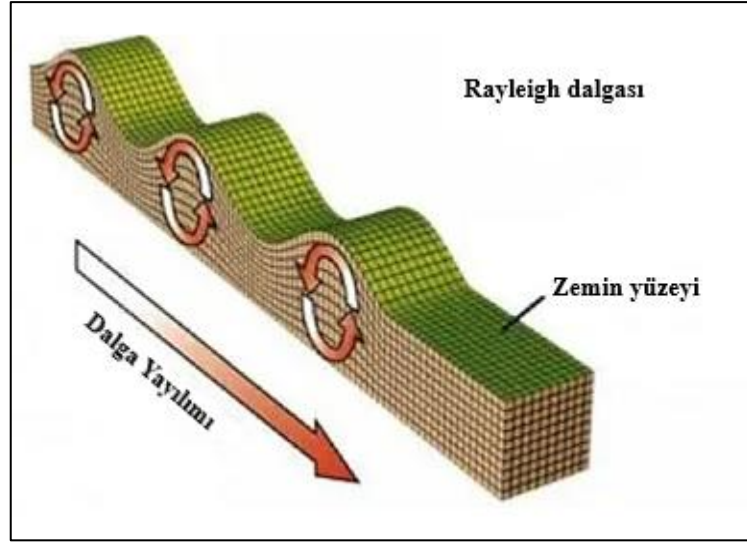
İkincil/kesme dalgaları olarak da bilinir. P dalgalarının yarı hızında hareket ederler. S dalgaları elastik ortamda yayılma yönüne dik olarak ileri-geri hareket eder, daha yıkıcı bir etkisi vardır (Şekil 2.4-c; URL-2, 2018).

2.2.4.3. Yüzey Dalgaları

Yüzey dalgaları yeryüzünün hemen altında hareket eder. S dalgalarından bile yavaş hareket etmelerine rağmen genellikle genlikleri çok daha büyük olabilir ve en yıkıcı sismik dalga türüdür. Birkaç yüzey dalgası türünden en yaygın olanı Rayleigh dalgaları ve Love dalgalarıdır (URL-2, 2018).

2.2.4.3.1. Rayleigh dalgası

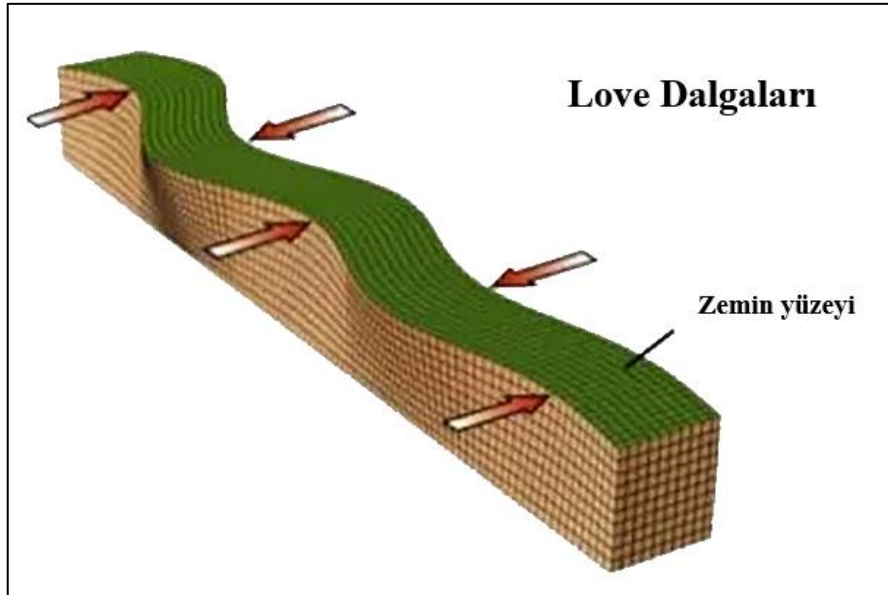
Rayleigh dalgası yuvarlanarak yaptığı hareketle zemini dalga hareket ettiği yönde yukarı ve aşağı, ileri ve geri hareket ettirir. Genellikle daha yavaş ve okyanus dalgaları gibi hareket ederler. Sarsıntının çoğu bu dalgalardan kaynaklanır (Şekil 2.5; URL-2, 2018).



Şekil 2.5 : Rayleigh dalgası salınımı (URL-2, 2018)

2.2.4.3.2. Love Dalgası

Yüzeyde hareket eden Love dalgası P ve S dalgalarına göre daha yavaştır. Bu dalgalar bir yandan diğer yana hareket ederek yatay hareket üretirler. Depremin merkez üssü yakınındaki en yıkıcı dalga tiplerindendir. Yeryüzünde yarılmalara neden olarak binaların çökmesine sebep olabilir (Şekil 2.6), (URL-2, 2018).



Şekil 2.6 : Love dalgaların salınımı (URL-2, 2018)

2.2.5. Sismik Titreşimlerin Dinamik Özellikleri

Sismik titreşimler, yer kabuğunda meydana gelen deprem dalgalarının oluşturduğu titreşimlerdir. Bu titreşimler, yer kabuğundaki kayma hareketleri ve enerji salınımı sonucu oluşur. Sismik titreşimlerin dinamik özellikleri, titreşimlerin yayılma hızı, frekansı, periyodu ve genliği gibi karakteristiklerini ifade eder (Kramer, 1996).

2.2.5.1. Yayılma Hızı

Sismik titreşimler, deprem merkezinden yayılır ve belirli bir hızla ilerler. Yayılma hızı, deprem dalgalarının tipine (P dalgaları, S dalgaları, yüzey dalgaları vb.) ve ortamın elastik özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Yer kabuğundaki farklı malzemelerde (kayaç, toprak, su vb.) deprem dalgalarının yayılma hızı farklı olabilir (Kramer, 1996).

2.2.5.2. Genlik

Deprem hareketi meydana gelirken genellikle ivme, hız ve yer değiştirme hareketleri zamana bağlı olarak tanımlanır ve grafiksel olarak daha anlaşılır şekilde gösterilir. Kayıt istasyonlarından ölçülen ivme-zaman grafiklerinden integrasyon yapılarak hız ve yer değiştirme değerleri hesaplanabilir. Genellikle bir yer hareketinin genlik parametresinde alınan değer pik yatay ivme (PHA) değeridir. Akselerogram grafiğinin yatay ivme mutlak değerinin en büyüğü pik yatay ivmesi olarak bilinir. İvme değeri artması depremin büyüklüğünü ifade etmektedir. Kısa süren pik ivmeli depremler yapılar üzerinde az hasara neden olabilirler. Depremin hasar etkilerini genlik parametreleri, frekans içeriği ve etkili depremin süresi ile değerlendirmek gerekmektedir. Yer hareketinin genliğinin belirlenmesinde orta frekanslarda pik hız değeri ile daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Maksimum yer değiştirme, deprem hareketinin düşük frekans içeriğiyle ilişkili olması, kullanılmasını zorlaştırmaktadır (Kramer, 1996). Tez kapsamında yapılan analiz çalışmalarında deprem istasyonlarından alınan ivme değerlerinin en etkili bileşenleri olan yatay değerler kullanılmıştır.

2.2.5.3. Frekans

Frekans içeriği, deprem hareketi genliğinin değişik frekanslar aralığında dağılım gösterdiğini ifade etmektedir. Deprem hareketinin önemli bileşenlerinden olan frekans içeriğinin dikkate alınması gerekmektedir (Kramer, 1996).

2.2.5.4. Periyot

Sismik titreşimlerin periyodu, bir titreşim dalgasının bir dőngü tamamlaması için geşen zamanı ifade eder. Periyot, titreşim dalgasının frekansının tersidir ve saniye cinsinden ölçölür. Daha düşük frekanslı titreşimler daha uzun periyotlara sahip olurken, daha yüksek frekanslı titreşimler daha kısa periyotlara sahip olur (Kramer, 1996).

2.2.5.5. Deprem Süresi

Deprem hareketinde sürenin etkisi deprem hasarları üzerinde önemli rol oynamaktadır. Deprem hareketinin süresi fay hatları boyunca birikmiş enerjinin açığa çıkmasıyla oluşan zaman ile ilgilidir. Kırılan bölge uzadıķa deprem süreside artmaktadır. Dolayısıyla deprem süresinin uzaması yapılar üzerinde yıkıcı hasarlara sebep olacaktır (Kramer,1996).

2.2.5.6. Deprem Büyüklüğü

Deprem büyüklüğü kırılan fayların zemine verdiği sismik enerji miktarını ölçen sayısal bir ölçek olarak kullanılır. Deprem odak noktası, odak derinliği, zamanı ve büyüklüğü sismometre tarafından kaydedilen verilerden matematiksel formüller kullanılarak Richter ölçeği ile depremin büyüklüğü hesaplanır (URL-4, 2023).

2.2.6. Kullanılan Programlar

Bu tez çalışması kapsamında yapılan analizlerde, Deepsoil 1-D, PLAXIS 2-D ve SeismoSignal programları ile AFAD'ın Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz sistemi (TADAS) üzerinden alınan deprem kayıtları, Web tabanlı Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Peer NGA Veri Bankası; 2006) yer hareketi veri tabanından alınan sismik kayıtları kullanılmıştır.

2.2.6.1. Deepsoil 1-D Yazılımı

Deepsoil yazılımı, yerel ve küresel seviyelerde zemin sismolojisi ve yerel zemin etkisi analizleri yapmak için kullanılan bir bilgisayar programıdır. Deprem mühendisliği ve sismoloji alanlarında kullanılan bu yazılım, zeminin sismik performansını değerlendirmeye ve yapıların depreme karşı dayanıklılığını anlamaya yardımcı olur. Deepsoil, gelişmiş sayısal analiz yöntemleri ve nonlinear analiz yöntemi gibi tekniklerle çalışan bir yazılımdır. Program, deprem dalgalarının zemine etkisini ve zeminin titreşim özelliklerini hesaplamak için kullanılır. Ayrıca, zemin sınıflandırmalarını, zemin özelliklerini ve taban zemininin dinamik davranışını dikkate alarak yapıların deprem tepkisini değerlendirebilir (Hashash vd., 2020).

2.2.6.2. SeismoSignal Yazılımı

SeismoSignal yazılımı, mühendisler, sismologlar ve deprem mühendisleri tarafından kullanılan bir programdır. Bu yazılım, ivme kayıt istasyonlarından elde edilen yer hareketlerini işleyebilme, filtreleme ve dönüştürme yeteneğine sahiptir. Ayrıca ivme-zaman, hız-zaman, deplasman-zaman, Fourier ve güç spektral elastik tepki spektrumları ile sönümlü tepki spektrumlarını sayısal ve grafiksel olarak sunma kabiliyetine de sahiptir. SeismoSignal, depremlerin etkilerini simüle etme, yer hareketlerini hesaplama ve yapıların deprem tepkilerini değerlendirme amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Antoniou, 2023).

2.2.6.3. PLAXIS 2-D Yazılımı

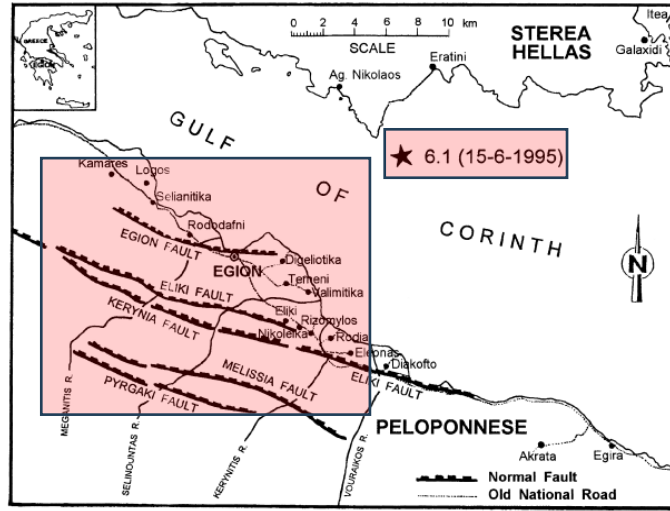
PLAXIS yazılımı, geoteknik mühendisliği ve jeoteknik mühendisliği uygulamaları için kullanılan bir programdır. Bu program, zeminin davranışını modellemek, zemin- yapı etkileşimini analiz etmek ve temel yapılar için stabilite analizi yapmak gibi çeşitli mühendislik problemlerini çözmek için kullanılır. PLAXIS, karmaşık zemin davranışlarını simüle etmek için sonlu elemanlar yöntemini kullanmakta olup temel mühendislik yapılarının tasarımı ve inşası aşamasında zemin davranışının ve etkileşiminin değerlendirilmesine yardımcı olur. Bu programın kullanımı, temel analizlerin yanı sıra zemin iyileştirme tekniklerinin optimizasyonu, dolgu ve kazı işlemlerinin analizi, setleme

hesaplamaları, çevresel etkilerin değerlendirilmesi gibi bir dizi uygulama alanını kapsar (PLAXIS, 2020).

2.3.Dalga Yayılım Mekanizması İçin Önerilen Nümerik Modeller

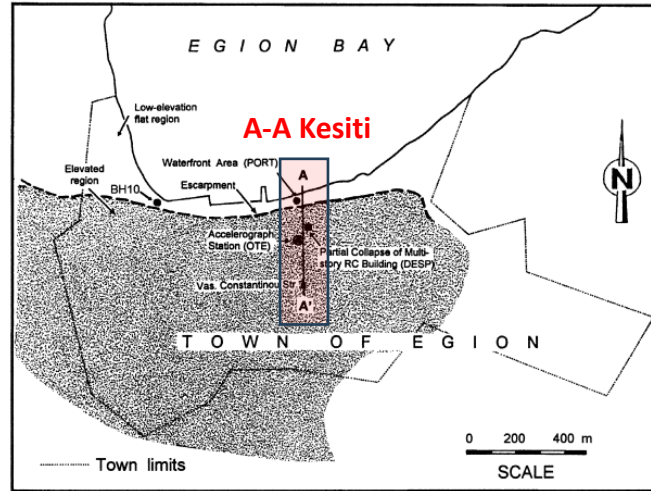
2.3.1. Model Doğrulanması için Kullanılan Topoğrafik Kesitin ve Deprem Hareketinin Özellikleri

Farklı zemin katmanlarını içeren yüzey topoğrafyası üzerinde sismik titreşimlerin etkisini araştıran bu çalışmada çeşitli yöntemler kullanılarak bir boyutlu eşdeğer lineer ve iki boyutlu sonlu elemanlar analizleri yapılarak jeolojik kesitin seçilen gözlem noktalarındaki dinamik davranış incelenmiştir. Yapılan analizler kapsamında kullanılan topoğrafik kesit literatürdeki Athanasopoulos vd. (1999) tarafından yapılmış çalışmadan elde edilmiştir. Buna göre, 15 Haziran 1995 tarihinde meydana gelen Egion depreminden etkilenen Orta Yunanistan'ın batı ucundaki Korint Körfezi'nin yakınlarındaki bölge kullanılmıştır (Şekil 2.7). Oluşan depremin merkez üssü, Kuzey Peloponez'deki Egion kasabası ile Güney Sterea Hellas'taki Eratini kasabası arasındaki denizde bulunmaktadır. Bu depremin etkileri geniş bir bölgeye yayılmış ancak en büyük zarar gören kasaba Egion olmuştur. Bu nedenle depreme 'Egion 1995 depremi' adı verilmiştir. Egion 1995 depreminin ardından, 'sismik zemin tepkisi' başlığı altında yüzey topografyasının etkileri, zemin kırılmaları, sıvılaşma ve toprak kaymaları vb. farklı konular gündeme gelmiştir. Bölgede meydana gelen ana deprem ile sonrasındaki artçı şoklar kasabanın merkezine yerleştirilen ivmeölçer tarafından kaydedilmiştir. Depreme bağlı oluşan hasarlar, kasabanın merkezinde yükseltilmiş bir bölgede yoğunlaşırken, düz sahil bölgesi depremden neredeyse hiç etkilenmemiştir. Bu nedenle Athanasopoulos vd. (1999) tarafından yapılmış çalışmada kasabanın bulunduğu bölümün iki boyutlu zemin kesiti çıkarılarak analizler yapılmıştır. Tek boyutlu eşdeğer-lineer zemin davranışı analizleri için SHAKE91 programı kullanılırken, topoğrafik kesit aynı zamanda sonlu eleman metoduna dayalı iki boyutlu FLUSHPLUS programıyla da modellenmiştir. Gerçekleştirilen 1-D ve 2-D analizler sonuçlarının kıyaslandığı çalışmada, yüzey topoğrafyasının temel girdi hareketinin dinamik özelliklerini önemli oranda değiştirdiği anlaşılmıştır (Athanasopoulos vd.,1999).

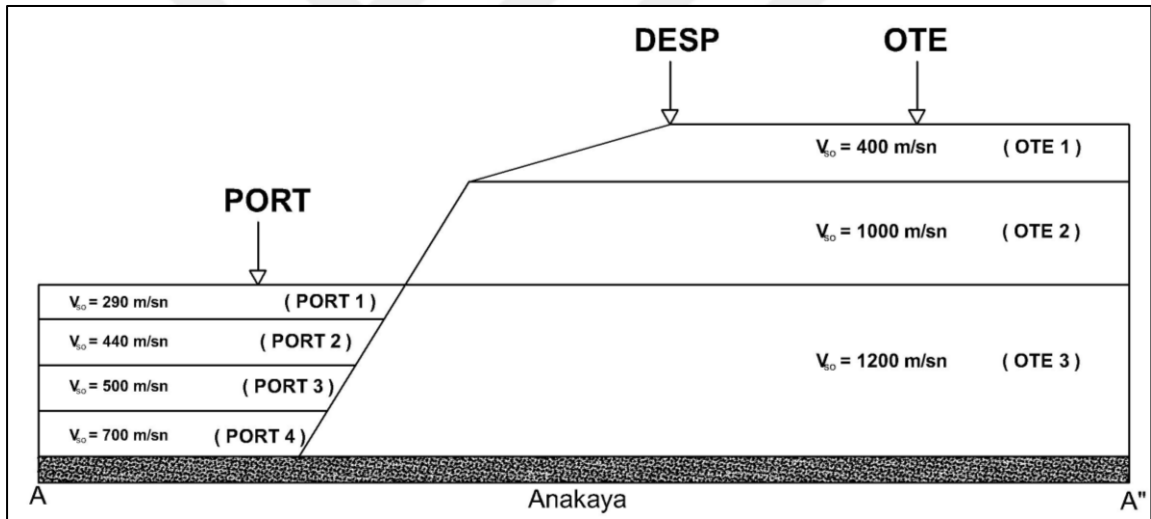


Şekil 2.7 : Yunanistan'ın Korint körfezi'nin batı bölgesinin haritası, egeion ve diğer sahil kasabaların konumları, (Athanasopoulos vd.,1999)

Tez çalışmalarında Athanasopoulos vd. (1999) tarafından kullanılan Egeion kasabasının yüzey topoğrafyasına ait Şekil 2.8'de gösterilen A-A' kesitinin 2 boyutlu zemin kesiti kullanılmıştır. Egeion bölgesinden alınan zemin kesitinde OTE-DESP ve PORT bölgeleri incelenmiştir. Bölgede farklı kayma dalga hızlarına sahip OTE ve DESP kısımlarında 3 zemin katmanı bulunurken, PORT kısmında ise 4 farklı zemin tabakası bulunmaktadır. En alt kısımda ise rijit bir tabaka olarak anakaya bulunmaktadır. Yüzey topoğrafyasına ait Şekil 2.9'da verilen 1:5000 ölçekli kesitin uzunluğu ve derinliği nümerik analizlerde dikkate alınmıştır. Gösterilen bu kesitin geoteknik verileri için Athanasopoulos vd. (1999) tarafından bölgeye ait verilen bulgular kullanılmıştır. Oluşturulan iki boyutlu (2-D) kesit profilinin OTE-DESP' in toplam zemin katman kalınlığı 145 m olup, tabakaların en üstündeki OTE1'deki kalınlık 25 m, orta katmandaki kalınlık 45 m ve en alt katmandaki kalınlık ise 75 m'dir. PORT bölgesindeki zemin profilinin en üst katman kalınlığı 15 m, diğer üç ayrı katman kalınlığı da 20 m'dir. Şekil 2.9'da gösterilen A-A' kesitinin toplam yanal uzunluğu verilen ölçeğe bağlı olarak 480 m olarak hesaplanmıştır. Egeion bölgesine ait topoğrafik kesit jeolojik zemin özellikleriyle birlikte sonlu elemanlar yöntemine dayalı yazılım kullanılarak 2-D olarak modellenmiş ve analiz sonuçları Athanasopoulos vd. (1999) tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılarak model kalibre edilmiştir.



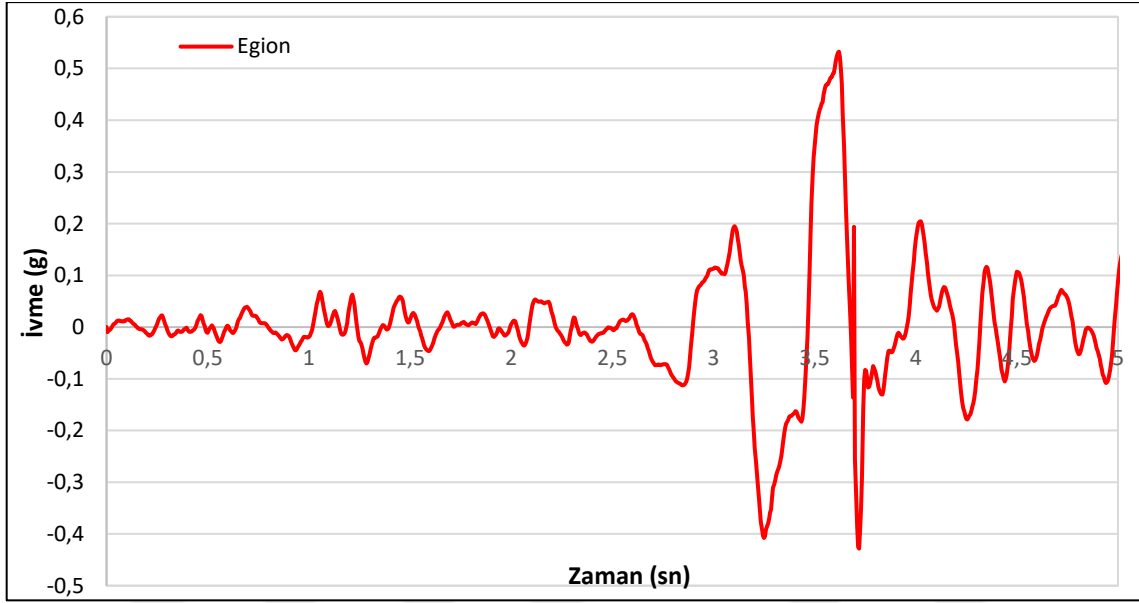
Şekil 2.8 : Egion'un basit bir haritası, kasaba sınırlarını, yükseltilmiş bölgenin yayılma alanını ve ilgi noktalarının ile A-A' kesiti (Athanasopoulos vd.,1999)



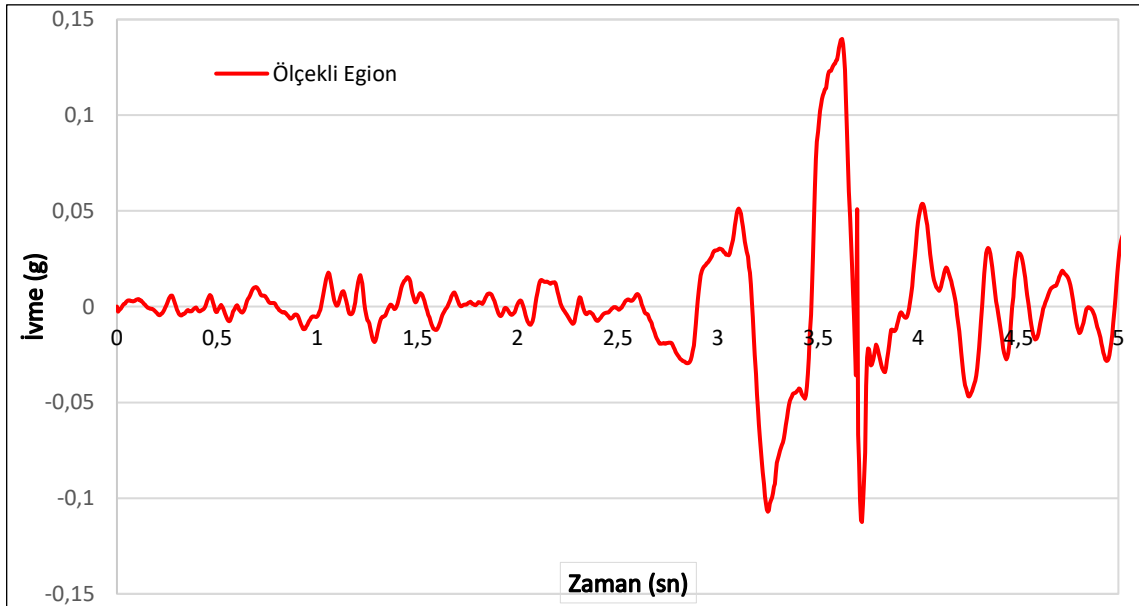
Şekil 2.9 : A-A' kesitinde iki boyutlu modelde analizlerde kullanılan V_{so} değerleri (Athanasopoulos vd., 1999)

Geliştirilen sonlu eleman modelinin kalibrasyonu için Egion kasabasının OTE bölgesindeki kayıt istasyonunda ölçülen maksimum yer ivmesi (PGA) 0.54g olan deprem kaydı kullanılmıştır (Şekil 2.10). Athanasopoulos vd. (1999) tarafından yapılan çalışmada bu depremin maksimum ivmesinin içinde bulunduğu ilk beş saniyesi dikkate alınarak deneme-yayılma yöntemine bağlı titreşimin frekans içeriği benzer olacak biçimde ana kayıt ölçeklendirilmiştir. Şekil 2.11'de verilen maksimum yer ivmesi (PGA) 0.14g olan ölçekli deprem kaydı kullanılarak Athanasopoulos vd. (1999) çalışmasına benzer olarak geliştirilen modelleri kalibre etmek amacıyla hem 1-D hemde 2-D model üzerinden dinamik analizler

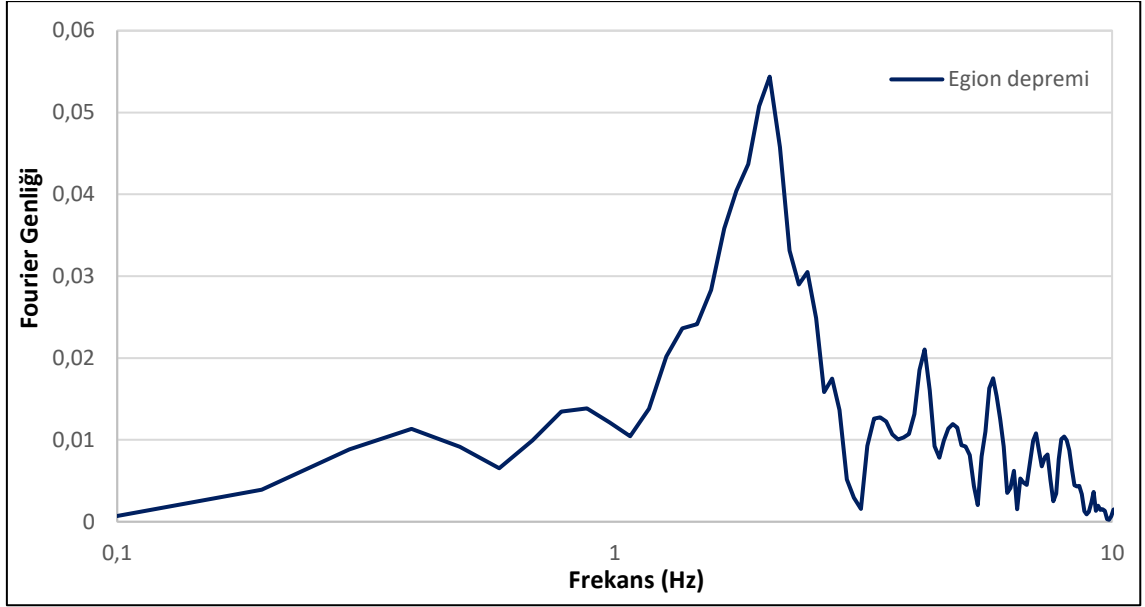
gerçekleştirilmiş ve zemin özelliklerine bağlı olarak ana kayıt verilerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Model kalibrasyon işlemleri için kullanılan ölçeklendirilmiş ivmelerin fourier genlik spektrumu ile davranış spektrum eğrisi sırasıyla Şekil 2.12 ve 2.13’te verilmiştir. OTE bölgesindeki hesaplanan ve kaydedilen ivmelerin ve bunlara ait spektrum davranışının uyumlu olması tez kapsamında gerçekleştirilen analizlerin geçerliliği açısından önem arz etmektedir.



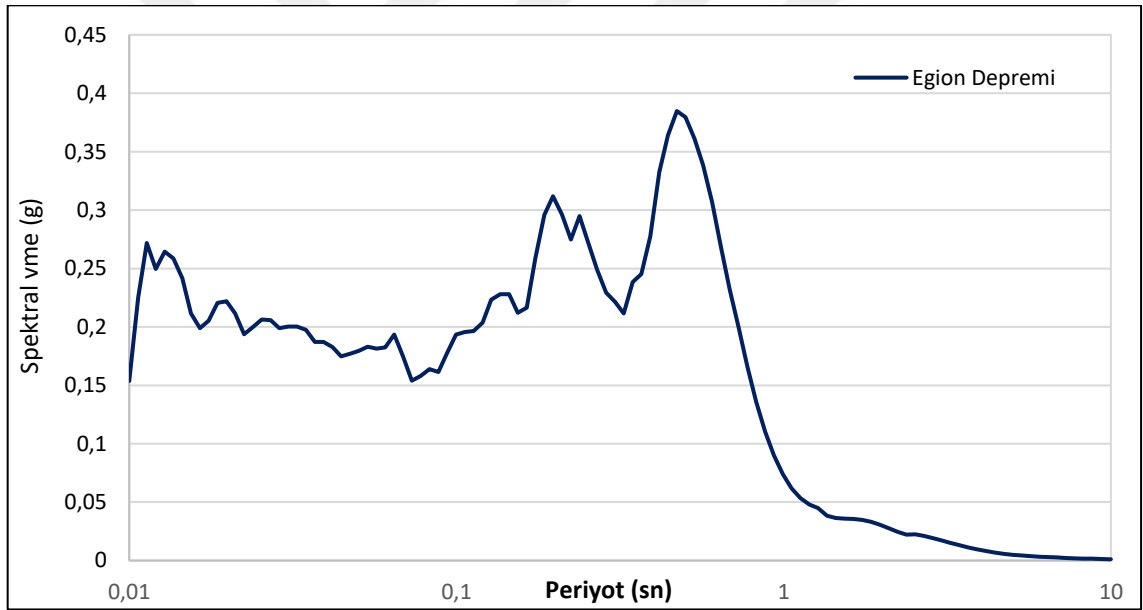
Şekil 2.10 : Egon depreminin OTE bölgesindeki istasyonda kaydedilen ivme – zaman grafiği



Şekil 2.11 : Egon depreminin ölçeklendirilmiş ivme – zaman grafiği



Şekil 2.12 : Egion depreminin ölçeklendirilmiş fourier genliği spektrum grafiği

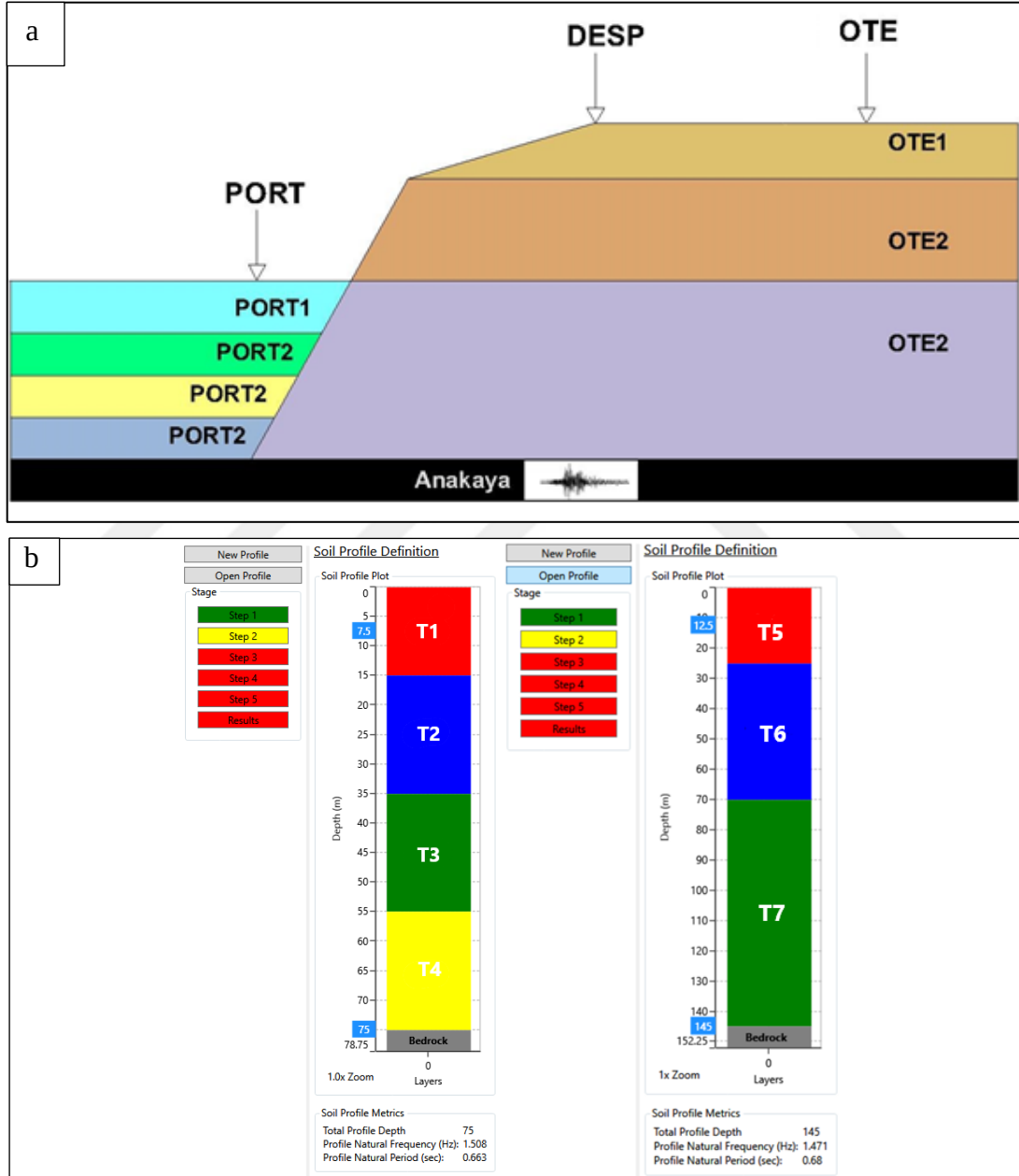


Şekil 2.13 : Egion depreminin ölçeklendirilmiş ivme davranış spektrum grafiği

2.3.2. Bir (1-D) Boyutlu Zemin Tepki Analizi

Depremlerin neden olduğu kuvvetli yer hareketlerinin yerel zemin koşulları üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla literatürde birçok araştırmacı (Athanasopoulus vd. 1999; Pitilakis, K. 2004; Haşal, M. E. 2009) tarafından kullanılan bir model seçilmiştir. Bu model, OTE (tepe) ve PORT (ova) gibi farklı topoğrafik özelliklere sahip bir kesiti temsil etmektedir. Seçilen kesitin OTE (tepe) ve PORT (ova) bölgeleri, Deepsoil programı

kullanılarak bir boyutlu eşdeğer lineer analiz yöntemiyle ayrı ayrı modellenerek, çalışmanın kapsamında kullanılan dalga yayılım mekanizmasını geliştirmek için kullanılmıştır (Şekil 2.14). Bu geometri, farklı jeolojik özelliklere sahip zemin katmanlarını içermekte olup modeldeki ana kayadan OTE ve PORT zemin yüzeylerine doğru çevrim işlemi uygulanmıştır (Coşkun ve Göktepe, 2023). Bu çevrim işlemi sayesinde, OTE ve PORT bölgelerine doğru tek boyutlu (1-D) dinamik analizler gerçekleştirilerek yerel zemin özelliklerinin sismik titreşimler üzerindeki etkisi incelenmiştir.



Şekil 2.14 : Dalga yayılım mekanizması için a) Şematik gösterim b) Geliştirilen sayısal model

Eşdeğer lineer analiz yöntemine göre geliştirilen bir boyutlu dalga yayılım mekanizması için kullanılan model anakaya seviyesinden hem OTE hem de PORT kısmına doğru basamak

şeklinde farklı jeolojik katmanları içermektedir. Kullanılan modelde üç tabakalı OTE olarak analiz edilen tepe kesitinin en alt tabakasında bulunan 75m derinliğe sahip konglomera ve üstündeki katmanda ise konglomera yapısını içeren 45 m’lik kalınlıklardan oluşmaktadır. En üst kısmında 25 m derinliğe sahip kil-silt-kumlu zemin bulunmaktadır. Alüvyonel zemin ortamının sismik dalgalar üzerindeki büyütme etkisi için kullanılan 75 m derinliğine sahip nümerik modelin PORT kesitindeki en üst tabakasının ilk 17 m’ sinde çok yumuşak kil tabakası olup çok düşük NSPT değerlerine sahip bir zemin tabakası bulunmaktadır. Bu tabakanın altında siltli kum- çakıl tabakası olup çok yüksek NSPT değerine sahip zemin katmanıdır. Literatürden seçilerek kullanılan OTE-PORT kesitinde sağlam jeolojik yapıya sahip olan OTE ve PORT kısmının en alt katmanı sağlam anakaya bulunmaktadır (Athanasopoulos vd., 1999). Eşdeğer lineer analiz yöntemine dayalı geliştirilen sayısal modelin OTE ve PORT kısımlarındaki farklı zemin katmanlarının başlangıç dinamik özellikleri literatürden alınmış ve Tablo 2.1’de verilmiştir. Dalga yayılım probleminde bulunan kohezyonlu veya kohezyonsuz jeolojik katmanlardaki zemin ortamının tekrarlı yüklemeler altındaki kayma şekil değiştirmelerine bağlı gelişen kayma modülü ve sönüm oranı değerleri için literatürdeki uygun Darendeli M.B. (2001) modeli kullanılmıştır (Coşkun ve Göktepe, 2023). Bunlara ait elde edilen eğriler Şekil 2.15 ve Şekil 2.16’da sunulmuştur.

Tablo 2.1: Zemin özellikleri (Haşal, 2009)

	PORT Bölgesi				OTE Bölgesi		
	PORT1	PORT2	PORT3	PORT4	OTE1	OTE2	OTE3
V_s (m/sn)	290	440	500	700	400	1000	1200
γ (t/m³)	1,65	1,80	1,90	2,00	1,80	2,20	2,40
G_o (MPa)	139	349	475	980	288	2200	3456
ν	0,40	0,35	0,33	0,30	0,35	0,30	0,25
E_o (MPa)	389	941	1264	2548	778	5720	8640

Bir boyutlu eşdeğer lineer analiz yöntemiyle yapılan bu modelde K_o (sükûnetteki toprak basınç katsayısı) parametresinin hesabında (2.5) kullanılan φ kayma açısı ve OCR (Konsolidasyon Oranı) katsayıları kullanılarak oluşan bazı bağıntılardan hesaplanmaktadır.

$$K_0 = (1 - \sin \phi) \times OCR^{\sin \phi} \quad (2.5)$$

Tüm katmanlarda zeminin dinamik özelliklerine göre hesaplanmıştır (2.6 ve 2.7)

$$\tau = \sigma \times \tan \phi \quad (2.6)$$

$$\tau = c_u \quad (2.7)$$

Denklemdaki;

τ : Kayma mukavemeti (kPa) ,

c_u : Drenajsız kayma direnci (kPa)

σ : Normal gerilme (kPa)

ϕ : Kayma açısı

Zemin parametrelerinin bazı değerleri verilmediği için literatürde bazı yaklaşımlarla elde edilen bağıntılardan biri olan 2.8 denklemi kullanılmıştır;

$$K_o = \frac{\nu}{1-\nu} \quad \text{veya} \quad K_o = 1 - \sin\phi \quad (2.8)$$

Denklemdaki (2.8) deki;

ν : poisson oranını ifade etmektedir.

Burada ϕ açısı verilmediği için poisson oranı üzerinden hesaplama yapılarak Deepsoil programındaki değerler kullanılmıştır.

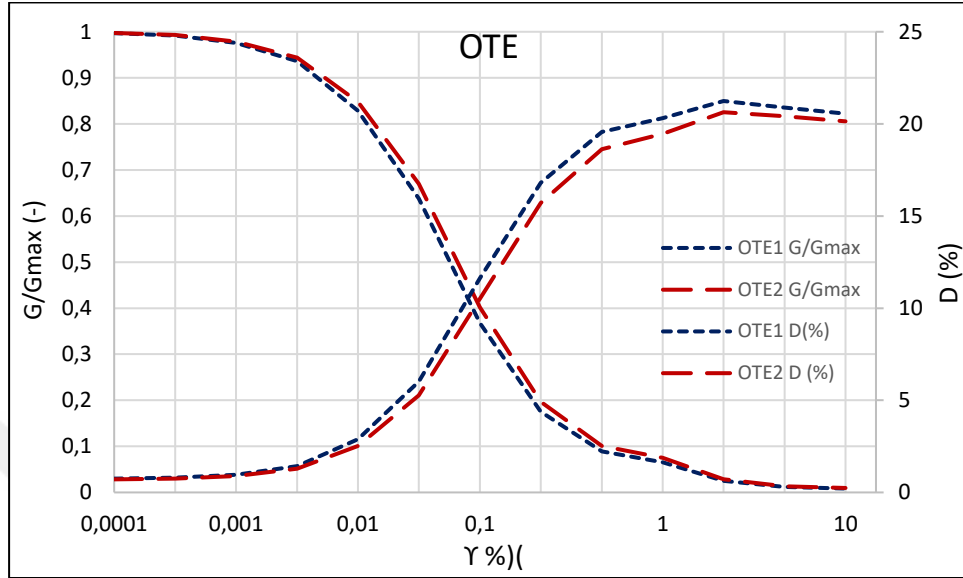
Literatürde en çok kullanılan yaklaşımlardan K_o ve OCR değerleri için literatürde verilen Tablo 2.2' deki değerler verilmiştir.

Tablo 2.2: Zemin parametre özellikleri (Kumbasar, 1999)

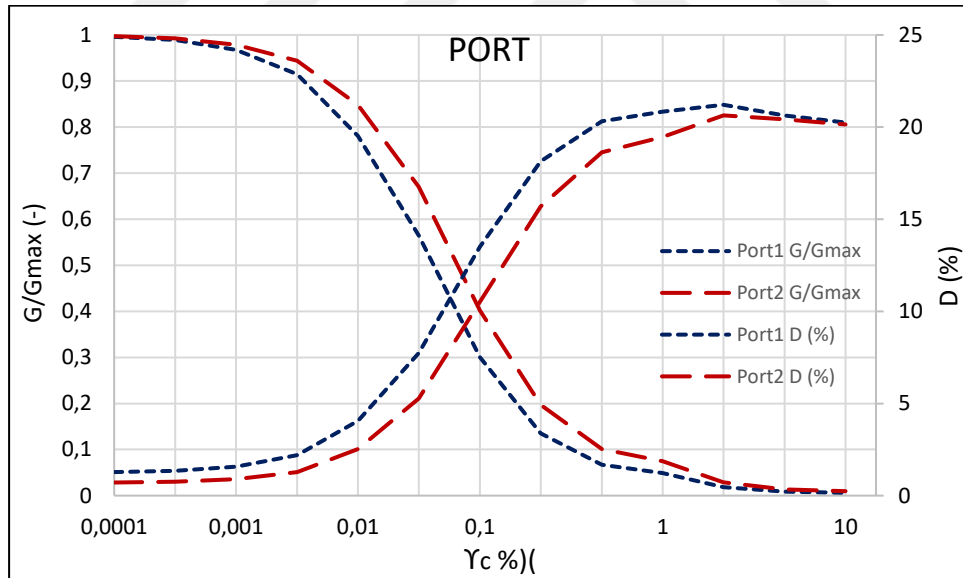
Zemin Türü	K_o	Açıklama	OCR
Gevşek Kum	0,50	Normal konsolide	1
Sıkı Kum	0,35	Hafif aşırı konsolide	1-3
Sıkıştırılmış Kum	1,00 – 1,50	Orta aşırı konsolide	3-9
Normal konsolide kil	0,50 – 0,70	Yüksek oranda aşırı konsolide	>9
Aşırı konsolide kil	1,00 – 4,00		
Sıkıştırılmış kil	1,00 – 2,00		

Çalışma kapsamında oluşturulan modelde OTE bölgesi ve PORT bölgesinin özelliklerini yansıtmak üzere zemin katmanları ayrı ayrı oluşturularak modellenmiştir. Model tanımlandıktan sonra Athanasopoulos vd. (1999) tarafından OTE bölgesindeki Egion deprem kayıt istasyonundan düzenlenen ölçekli deprem ivmesi ve seçilen 3 adet deprem kaydı analizlerde kullanılmak üzere programa tanıtılmıştır. Analiz aşamasında kullanılan ivme kayıtlarının etkisini incelemek için, her bir derinlikte bulunan katmanlar için ayrı ayrı tanımlanan ivme kayıtları, %5 sönümlü Spektral ivme ve Fourier genliği gibi değişimler

grafiksel olarak takip edilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler dört deprem kaydına bağlı olarak hem OTE bölgesi hemde PORT bölgesi için ayrı ayrı analiz edilmiştir.



Şekil 2.15 : OTE bölgesindeki analizlerde kullanılan kayma modülleri ve sönüm oranları

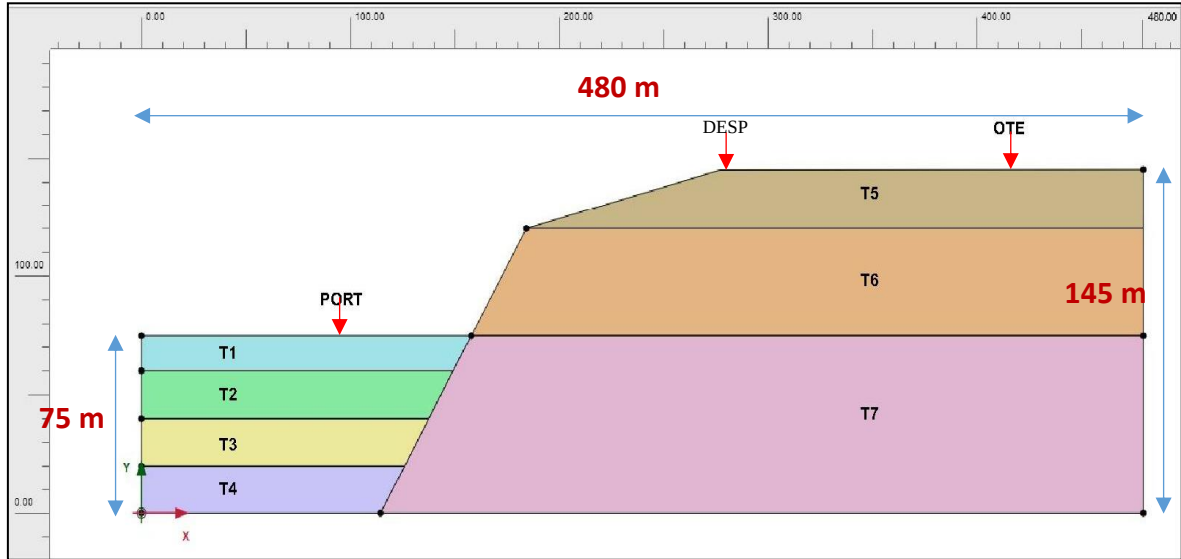


Şekil 2.16 : PORT bölgesindeki analizlerde kullanılan kayma modülleri ve sönüm oranları

2.3.3. İki (2-D) Boyutlu Sonlu Elemanlar Modeli

Tez çalışmalarının 2-D nümerik model aşamasında, topoğrafik özellikleri Şekil 2.9'da

verilen kesit kullanılarak sayısal model kurulmuştur (Şekil 2.17). Sismik tepki analizlerinin yapılarak arazi topoğrafyasının etkilerini dikkate alan 2-D boyutlu PLAXIS modelinin (PLAXIS, 2020) düşey sınır şartları belirlenerek analizler yapılmıştır. 2-D boyutlu analizlerde standart olarak alınan medium mesh sıklığında PORT-OTE bölgesinde 2488 adet üçgen tipi sonlu eleman kullanarak analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.17 : İki boyutlu (2-D) analizlerde kullanılan sayısal model

Geliştirilen 2 boyutlu (2-D) sayısal modelin PORT-DESP ve OTE bölgelerindeki zemin yapısı literatürden alınmış ve Tablo 2.3'te verilen dinamik zemin özellikleri kullanılarak sismik tepki analizleri sonlu elemanlar metoduna bağlı yapılmıştır.

Tablo 2.3: Zemin özellikleri (Haşal, 2009)

	PORT Bölgesi				DESP – OTE Bölgesi		
Zemin Katmanları	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
V_s (m/sn)	290	440	500	700	400	1000	1200
γ (t/m ³)	1,65	1,80	1,90	2,00	1,80	2,20	2,40
G_o (MPa)	139	349	475	980	288	2200	3456
ν	0,40	0,35	0,33	0,30	0,35	0,30	0,25
E_o (MPa)	389	941	1264	2548	778	5720	8640

Athanasopoulos vd. (1999) tarafından yapılan çalışmada, iki boyutlu bir zemin kesitinde sahadaki ivmeölçerden elde edilen kayıtlar, deneme-yanılma yöntemiyle ölçeklendirilmiş ve daha sonra 1 boyutlu SHAKE91 programı ile 2 boyutlu FLUSHPLUS programları

kullanılarak dinamik analizler yapılmış, elde edilen ivme sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan bu tez çalışmasında geliştirilen 1-D ve 2-D nümerik model analiz sonuçları hem Athanasopoulos vd. (1999) tarafından yapılan çalışma ile hemde OTE bölgesinde kaydedilen ivme verileriyle karşılaştırılarak, elde edilen sonuçlar ivme-zaman grafiği ve davranış spektrum eğrisi açısından incelenmiştir.

2.3.4. Seçilen Sismolojik Veriler

Tepe-ova topoğrafyasındaki jeolojik zemin koşullarının kuvvetli yer hareketleri üzerindeki etkilerini belirlemek için kullanılan dört adet depremin istasyon verileri Tablo 2.4'te özetlenmiştir. Sismik salınımların serbest zemin yüzeyi ve üstyapıda oluşturduğu titreşim hareketinin gerçeğe yakın incelenmesi için kullanılan deprem salınımlarının doğru seçilmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında geliştirilen 1-D ve 2-D dalga yayılım modellerinde anakaya seviyesinde uygulanarak analiz edilen sismolojik verilerin alındığı kayıt istasyonlarının mühendislik anakayasası olarak kabul edilebileceği düşünülmüştür. Nümerik uygulamalarda kullanılan her üç depremde yüzeye yakın sığ odaklı depremlerdir. Analizlerde kullanılan yer hareketlerinin tümü, NEHRP zemin sınıflama sistemine göre en az "B" sınıfı yani kaya zemin diye nitelendirilen yüksek frekansa sahip sağlam veya sıkı zeminlerde kaydedilmiştir. Ayrıca, dalga yayılım problemi olarak değerlendirilen tepe-ova modelinde analiz edilen derinliğe bağlı sınıflandırdığımız sığ depremlerinin frekans içeriği anlamında farklı olduğu söylenebilir.

Çalışma kapsamında geliştirilen dalga yayılım probleminde nümerik olarak analiz edilen sismolojik veriler geçmişte olan yıkıcı depremlerden seçilmiş olup, bunlardan ilki olan DK1 kodlu Athanasopoulos vd. (1999) tarafından kullanılan Yunanistan'da 15 Haziran 1995 yılında meydana gelen Egion depreminin pik ivmesi 0,533 g ve baskın frekansı 2 Hz ($T=0,50$ sn) dir. Bu depremin ivmesi ölçeklendirilerek 0,14 g olarak analizlerde kullanılmıştır (Şekil 2.11). DK2 kodlu 17 Ocak 1994 Northridge ($M_w=7.6$) tarihinde olan depremin pik ivmesinin 1,04 g olduğu istasyonun kayma dalga hızı 257 m/sn ve D sınıfı zemin özelliğinde olduğu bilinmektedir. NEHRP zemin sınıflandırmasına göre kayma dalga hızının 1011 m/sn olduğu B sınıfındaki RSN1011 istasyon kodu tercih edilmiştir. (Peer NGA Veri Bankası; 2006). DK2 kodlu Northridge depremi 0,25-7 Hz ($T=4$ sn- 0,143 sn) aralığında düşük ve orta frekanslı yoğunluk gözlenen bir deprem özelliğe sahiptir (Şekil 2.21). RSN1011

istasyonundan alınan kaydın pik ivmesi 101,29 cm/sn² ve spektral ivmesi 0,38 g hesaplanmıştır (Şekil 2.18- 2.20).

Sayısal analizlerde kullanılan ivme kayıtlarından DK3 kodu ile Kocaeli depremin pik ivmesinin 391,35 cm/sn² olduğu istasyonun kayma dalga hızı 412 m/sn ve C sınıfı zemin özelliğinde olduğu bilinmektedir. NEHRP zemin sınıflandırmasına göre kayma dalga hızının 826 m/sn olduğu B sınıfındaki TK4101 istasyon kodu tercih edilmiştir. (TADAS). DK3 kodlu Kocaeli depremi 1-5 Hz aralığında orta düzey frekanslı bir deprem özelliğe sahiptir (Şekil 2.21). TK4101 nolu istasyonun pik ivmesi 228,298 cm/sn², spektral ivmesi 0,38 g ve baskın frekansı 3,5 Hz (T=0,285 sn) hesaplanmıştır (Şekil 2.21-2.23).

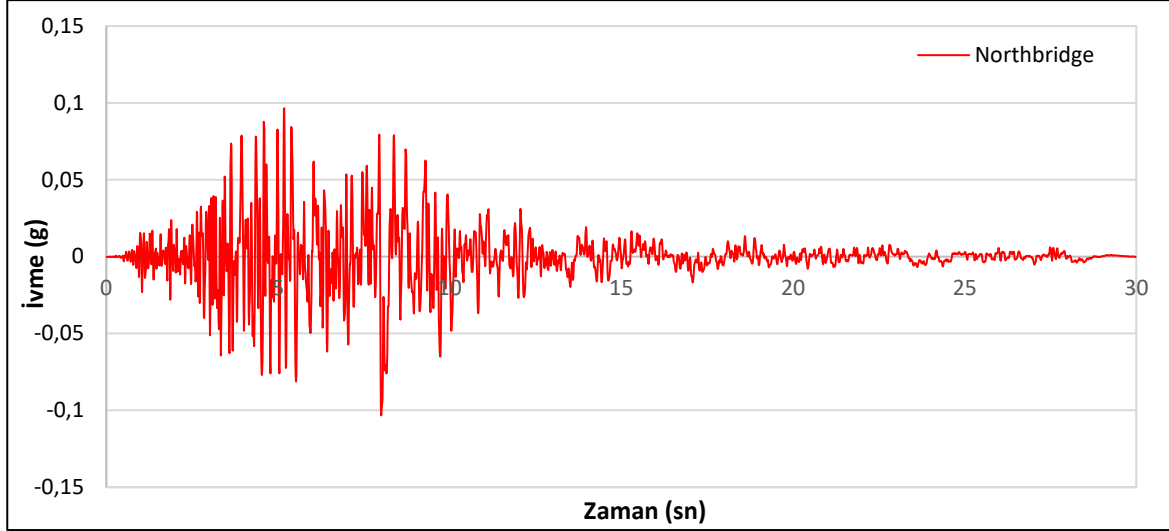
Analizler kapsamında değerlendirilen 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen DK4 kodlu Pazarcık (Kahramanmaraş) depreminin Fourier spektrumundaki etkin frekans içeriği diğer iki depreme kıyasla genel anlamda daha geniş bir bantta yayılmış (4-13Hz) olup, bu depremin yüksek frekanslı titreşim hareketi olduğu söylenebilir. Baskın frekansı 10,6 Hz (T=0,094 sn) olan depremin Pazarcık ilçesinde maksimum pik ivmesi 2.178,72 cm/sn² ve C sınıfı zemin sınıfı özelliğinde olduğu bilinmektedir. NEHRP zemin sınıflandırmasına göre kayma dalga hızının 998 m/sn olduğu B sınıfındaki TK4613 istasyon kodu tercih edilmiştir (TADAS). TK4613 nolu istasyonun pik ivmesi 153,52 cm/sn² ve spektral ivmesi 0,619 g olarak bilinmektedir (Şekil 2.24-2.26).

Tablo 2.4: Kullanılan deprem verileri

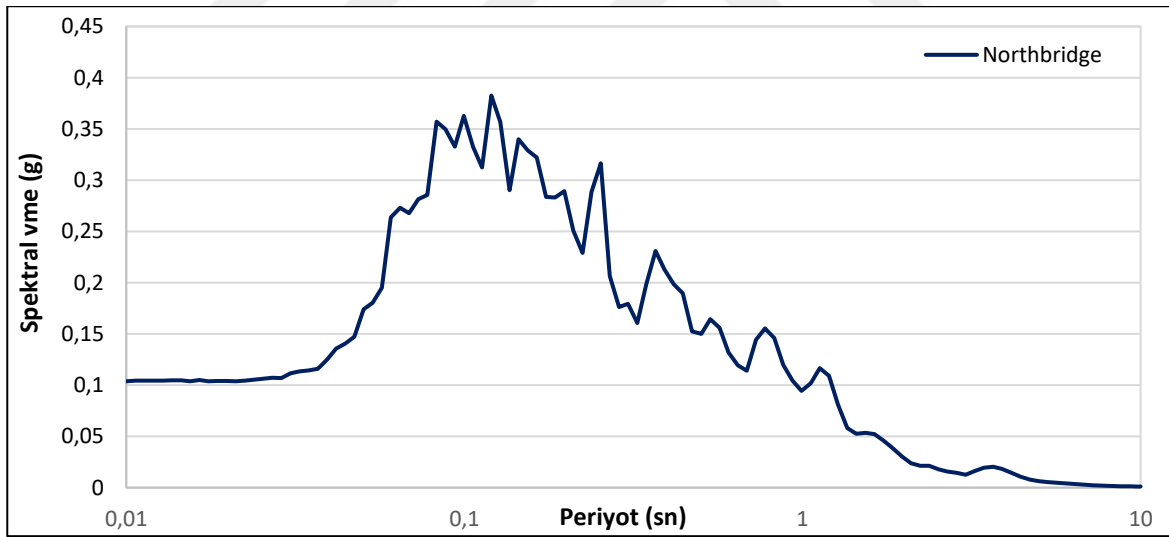
Deprem Kodları	Tarih	İstasyon Kodu	Deprem Yeri	Derinlik (Km)	Tip	Büyüklik	PGA (cm/sn ²) (D-B)	Epicenter mesafesi (Km)	İstasyon zemin tipi NEHRP
DK1	15.Haz.95		Egion (Yunanistan)	7	Mw	6,5	522,423	17,00	C
DK2	17.Oca.94	RSN1011	Northridge	17	Mw	6,7	101,29	31	B
DK3	17.Ağu.99	TK 4101	Kocaeli (İzmit)	15,9	Mw	7,6	228,298	3,39	A
DK4	06.Şub.23	TK 4613	Pazarcık (Kahramanmaraş)	8,6	Mw	7,7	153,52	68,19	B

Seçilen Egion depremi, OTE bölgesinde kaydedilen pik ivme değeri 0,54 g olan deprem ölçeğine göre 0,14 g olan depremin ilk beş saniyesi kullanılarak ölçeklendirilmiştir (Şekil

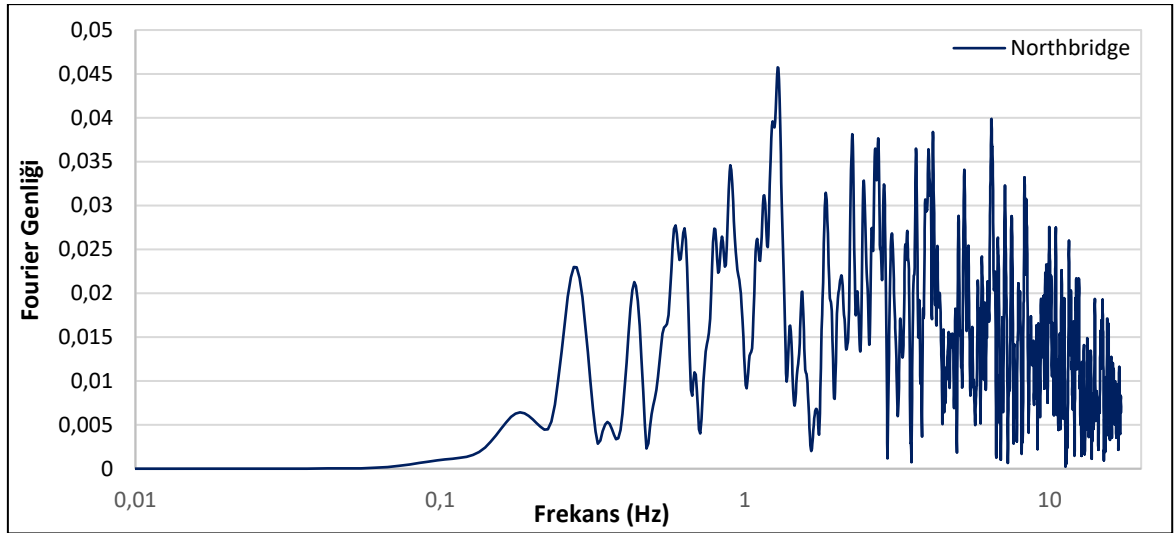
2.10-2.11). Bu depremin etkin frekansı 2 Hz civarında, orta frekans aralığında ve 0,39 g spektral ivmeye sahip olduğu belirlenmiştir.



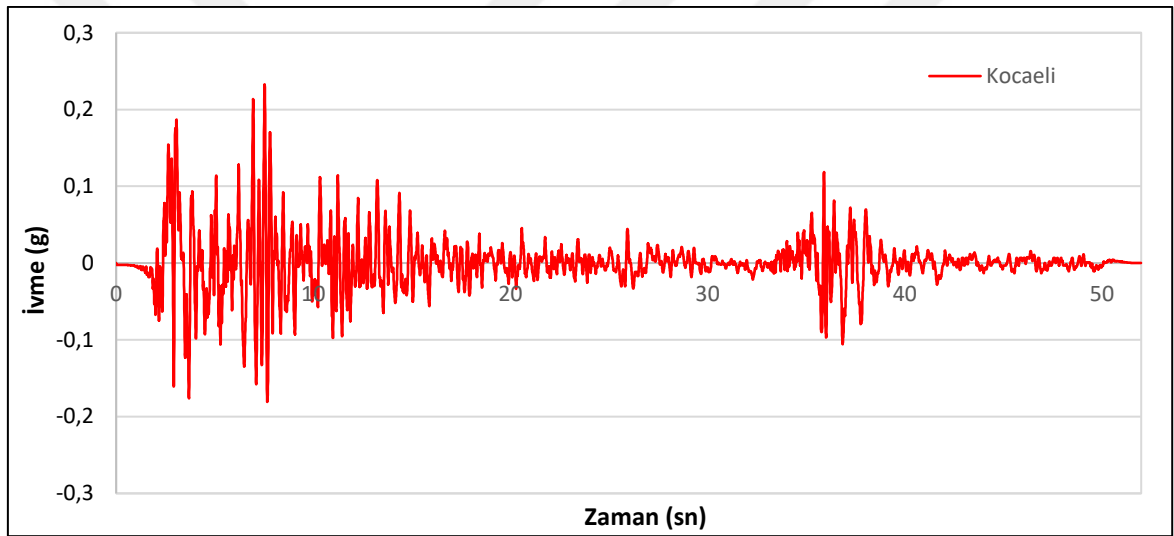
Şekil 2.18 : Northridge depremi ivme – zaman grafiği



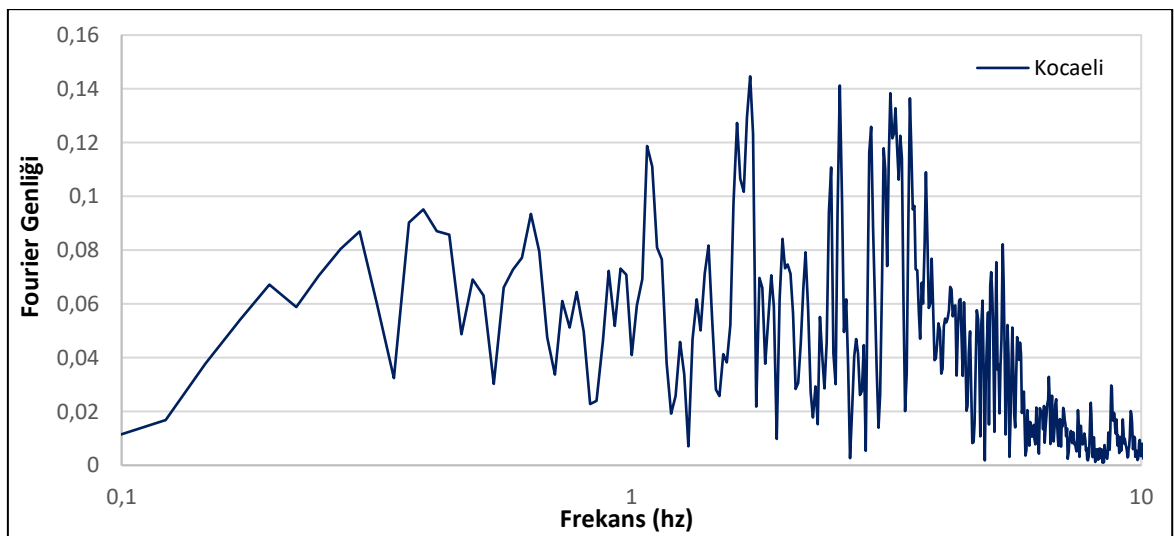
Şekil 2.19 : Northridge depremi ivme davranış spektrum grafiği



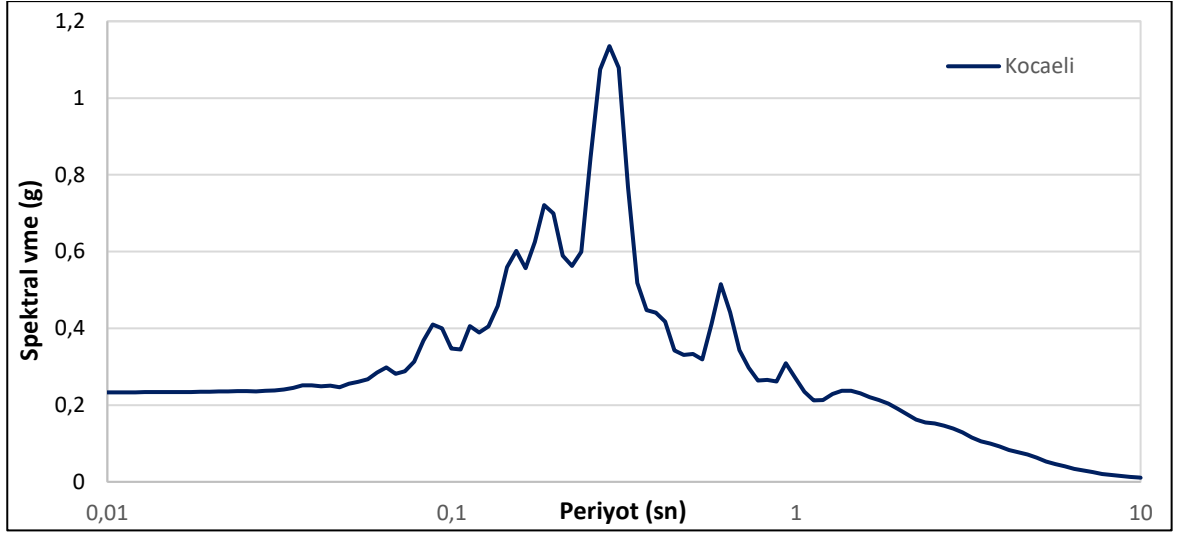
Şekil 2.20 : Northridge depremi fourier genliği grafiği



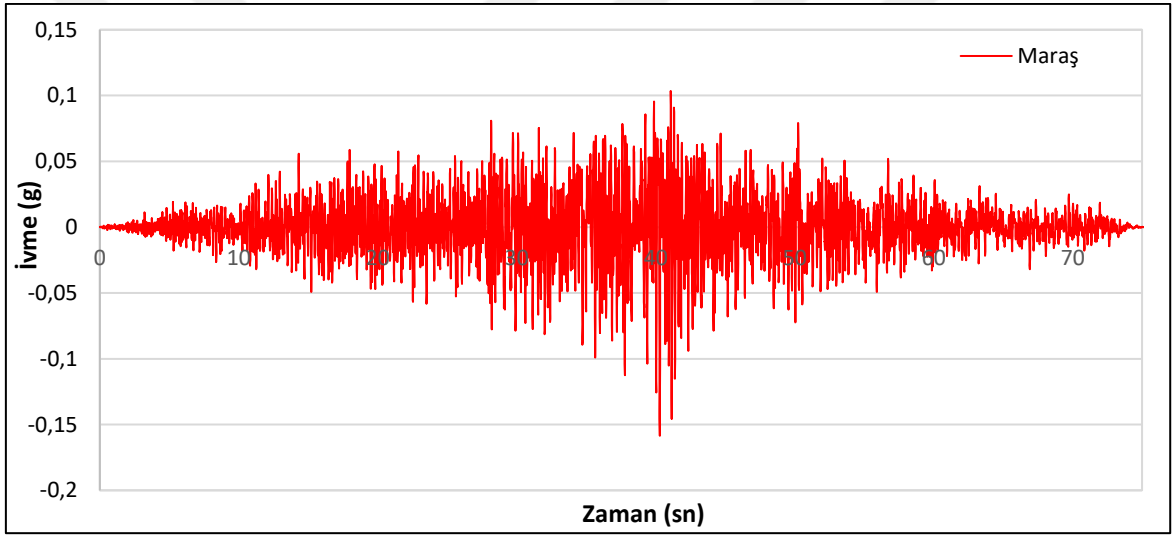
Şekil 2.21 : Kocaeli depremi ivme – zaman grafiği



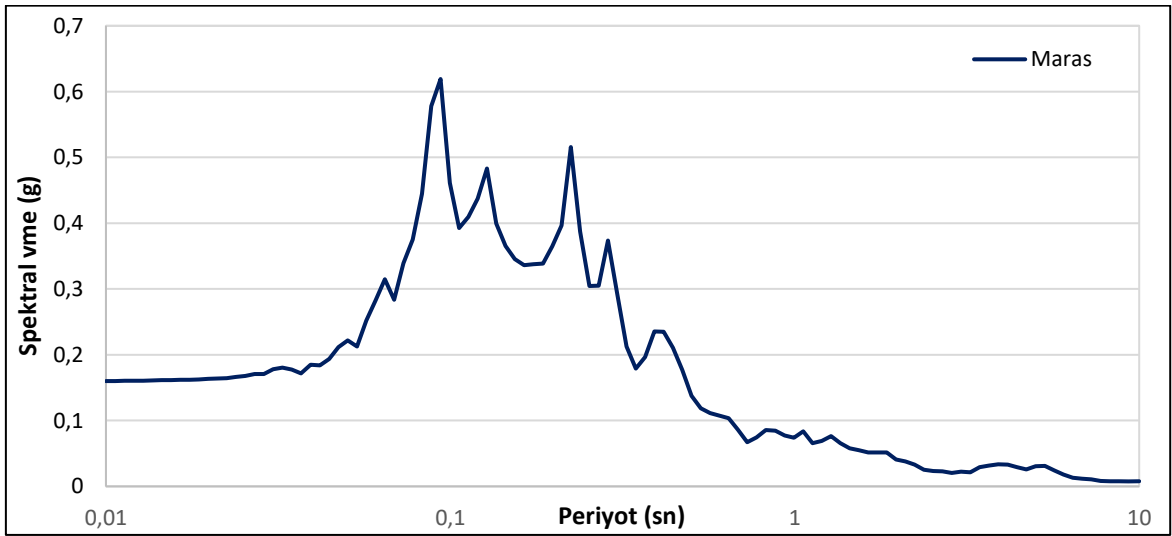
Şekil 2.22 : Kocaeli depremi fourier genliği grafiği



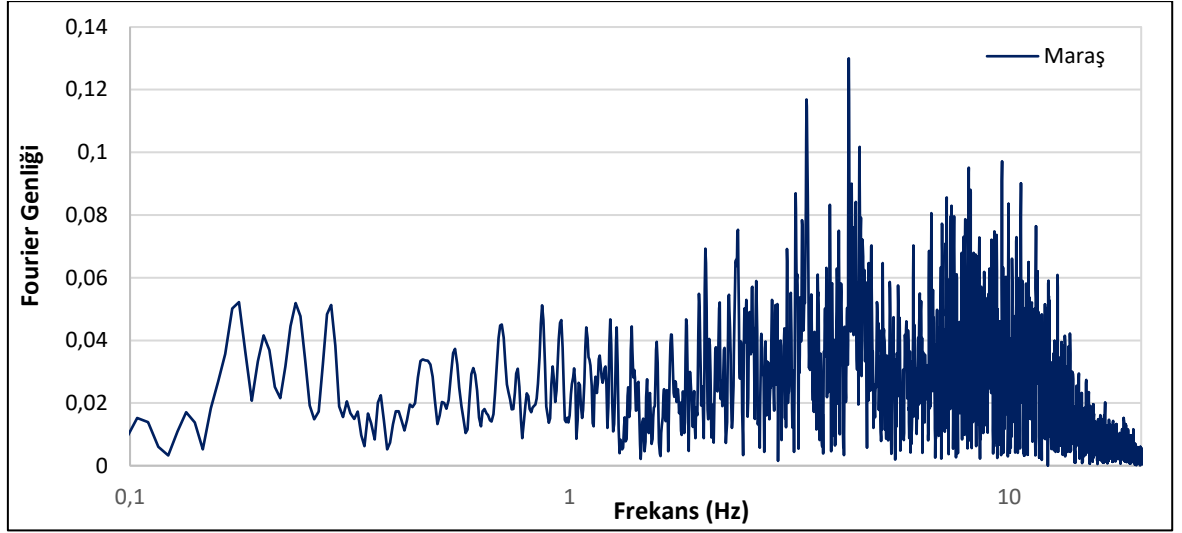
Şekil 2.23 : Kocaeli depremi ivme davranış spektrum grafiği



Şekil 2.24 : Kahramanmaraş depremi ivme – zaman grafiği



Şekil 2.25 : Kahramanmaraş depremi ivme davranış spektrum grafiği

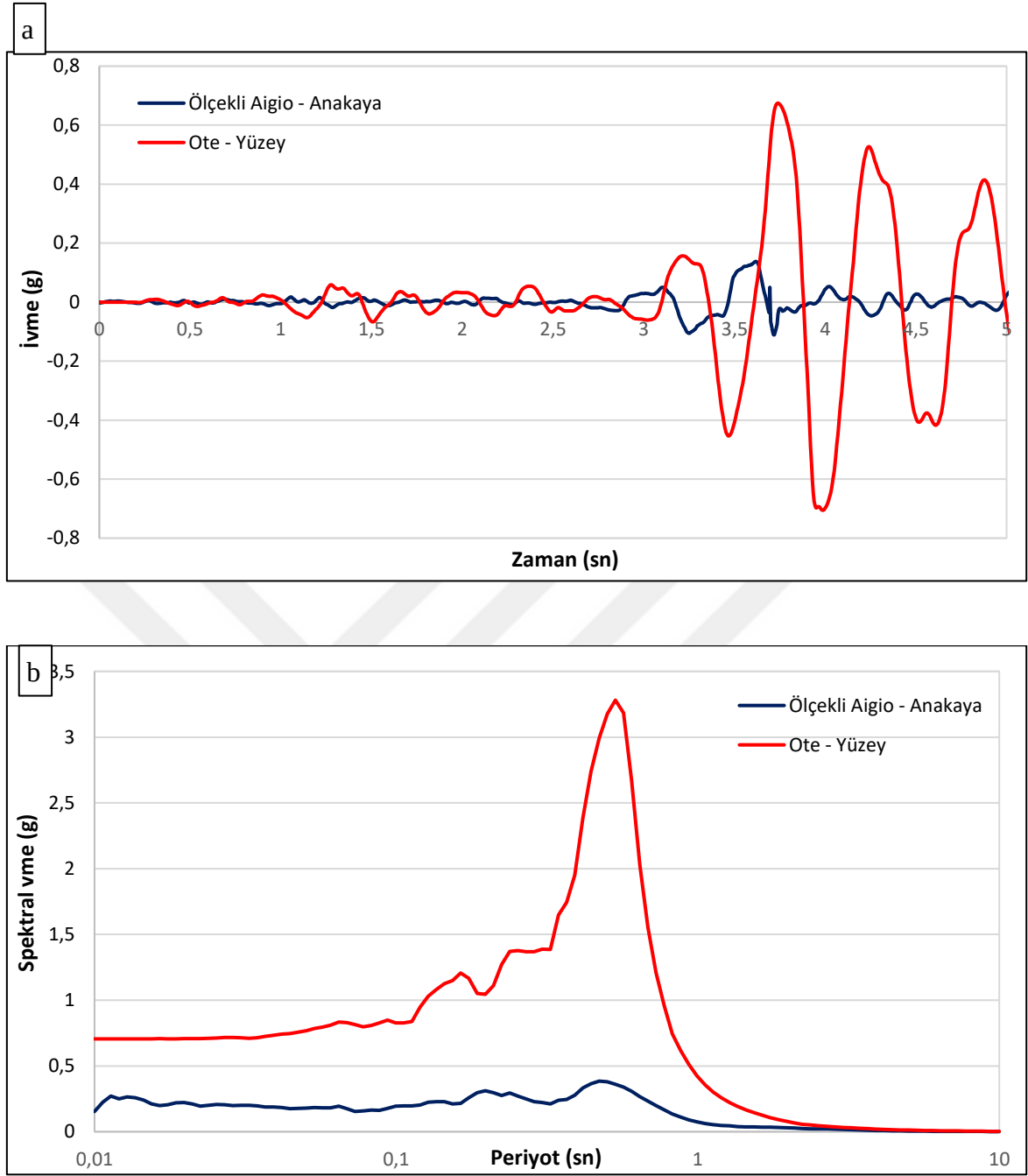


Şekil 2.26 : Kahramanmaraş depremi fourier genliği grafiği

3. ANALİZ BULGULARI

3.1. Bir (1-D) Boyutlu Dinamik Analizler

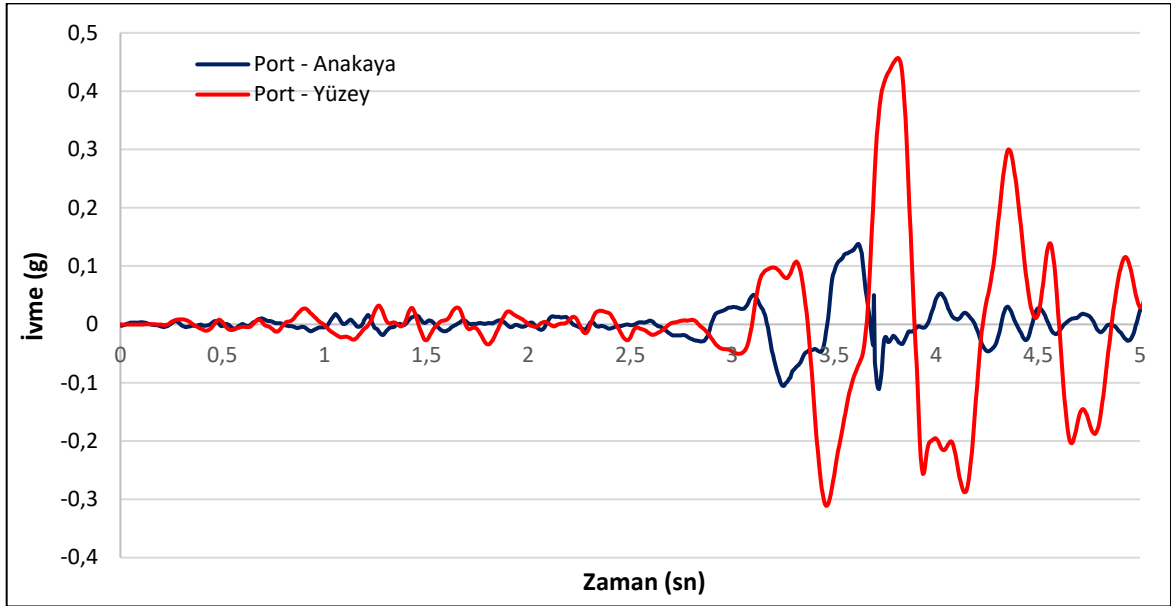
Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen nümerik analizlerle, farklı frekans içeriklerine sahip deprem titreşimleri anakaya seviyesinde uygulanarak yapılan çevrim işlemiyle OTE ve PORT yüzeyindeki sismik titreşimler belirlenmiştir. Gerçekleştirilen çevrim işlemiyle bu sismik kayıtlar üzerinde zemin etkisi, OTE ve PORT bölgesinde bulunan zemin yapısının kuvvetli yer hareketleri üzerindeki etkisi bir boyutlu dinamik analizlerle elde edilmiştir. Gerçekleştirilen çevrim işlemiyle elde edilen anakaya hareketine bağlı ortaya çıkan analiz sonuçlarından ilki olan $M_w=6,5$ büyüklüğündeki 1995 Egion depreminin ölçeklendirilmiş kaydını dikkate alındığında OTE ve PORT bölgesinde ivme kayıtlarının tüm bileşenlerinde anakaya titreşimlerine kıyasla artış eğilimi gösterdiği anlaşılmıştır. Dalga yayılım problemi olarak değerlendirilen OTE modeli üzerindeki istasyonda, depremin kaydedildiği serbest zemin yüzeyinin 0.54 g olan kuvvetli yer hareketinin ölçeklendirildiği kaydının anakayada 0.14 g olarak alınmıştır. 1-D boyutlu yapılan analizde OTE bölgesi yüzeyinde ise 0.7127 g, PORT bölgesinde de 0,4524 g mertebelerinde ölçülmüştür. Buna ilaveten depremin anakaya- OTE ve anakaya – PORT, ivme değerleri yine birbirine oranla artış eğilimi göstermiş, ancak yerleşimin daha fazla olacağı düşünülen OTE kesitinin zemin yüzeyinde 8,63 kat, PORT kesitinde 3,90 kat spektral ivmenin arttığı görülmüştür. (Şekil 3.1). Zemin hâkim periyodu 0,68 sn den OTE yüzeyinde 0,53 sn'ye, PORT yüzeyinde 0,56 sn'lere süresi artmıştır. Titreşim hareketlerinden ortaya çıkan bu farklılığın sebebi düşünüldüğünde, analiz edilen deprem yer hareketinin karakteristik özellikleriyle ilişkili olduğu değerlendirilmiştir.



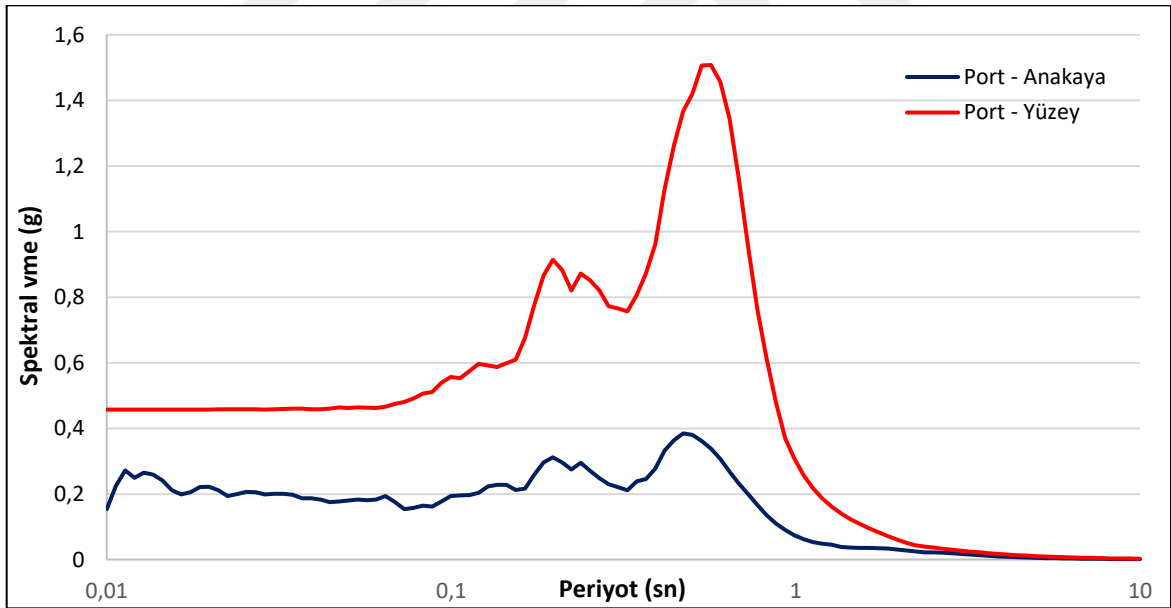
Şekil 3.1 : Ege depreminin OTE bölgesindeki 1-D boyutlu analiz sonuçları (a) İvme – zaman grafiği (b) İvme davranış spektrum grafiği

Eşdeğer lineer analiz yöntemine dayalı geliştirilen 1 boyutlu modelden elde edilen titreşim kayıtlarına bağlı oluşturulan ivme davranış spektrumlarına göre, depremin tüm bileşenlerinde alüvyonel zemin yapısına sahip PORT bölgesinde inşa edilecek periyodu 1sn'ye yakın civarında olan çok katlı esnek yapıların maksimum ivmelere maruz kalacağı anlaşılmıştır. Özellikle salınım hareketinin düşey bileşeninde çok serbestlik dereceli esnek yapılar kendi ağırlığından daha fazla bir kuvvetle zorlanırken yapılacak binaların daha yüksek ivmelere maruz kalacağı anlaşılmıştır (Coşkun ve Göktepe, 2023). Buna ilaveten yine

yer hareketinin kayıtlandığı OTE yüzeyinin genel olarak yüksek frekanslı rijit yapılarda maksimum ivme tepkilerinin oluşacağı anlaşılmıştır (Şekil 3.2- 3.3).



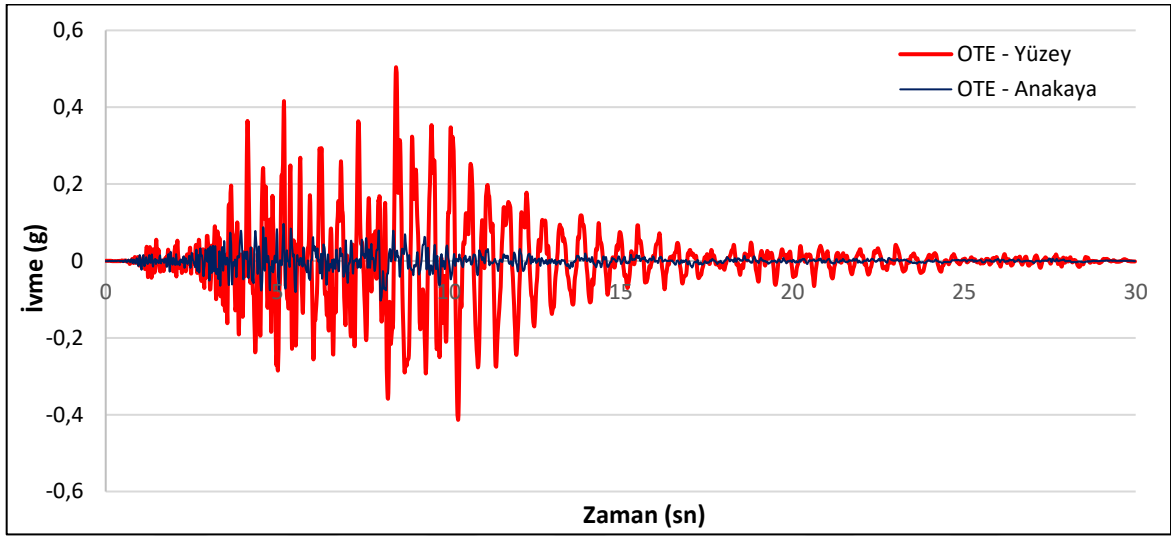
Şekil 3.2 : Egeion depreminin anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme – zaman grafiği



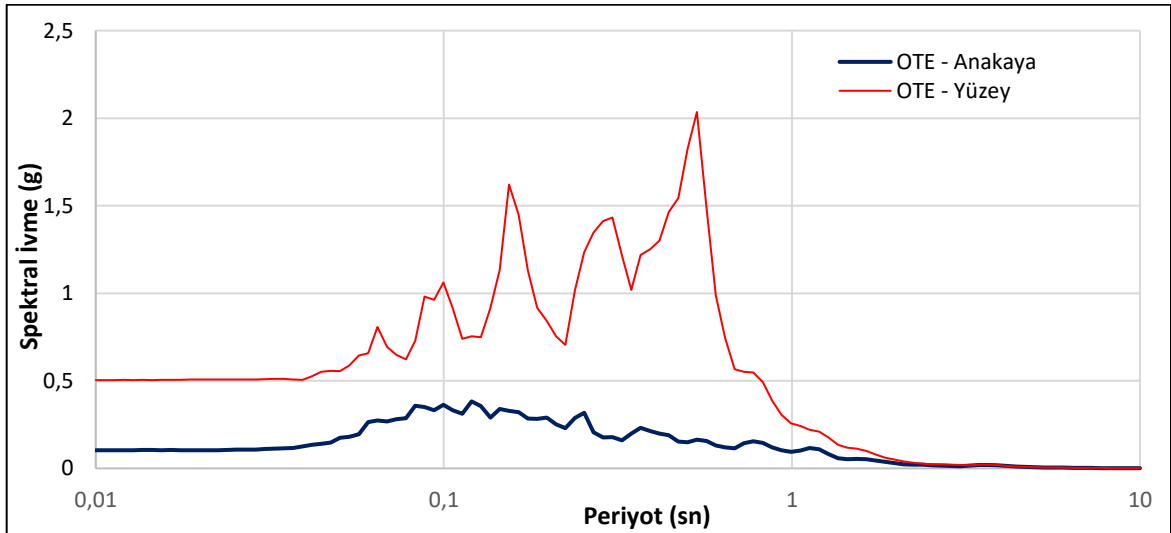
Şekil 3.3 : Egeion depreminin anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme davranış spektrum grafiği

Çalışma kapsamında kullanılan $M_w=7,2$ büyüklüğündeki DK2 kodlu Northridge depreminin anakayadaki 0,103 g ivme değeri kuvvetli yer hareketinin OTE bölgesinde oluşturduğu maksimum pik ivmesi 0.504 g olarak analiz sonucunda bulunmuştur. Bu depremin frekansı orta frekans aralığına yayılmış titreşim hareketi olduğu söylenebilir. Seçilen OTE-PORT modeli yardımıyla yapılan eşdeğer lineer analiz yöntemine dayalı 1

boyutlu analizler sonucu elde edilen ivme zaman geçmişleri açısından yer hareketinin tüm bileşenlerinde alüvyon zemin çökellerinin tepe kaydını büyüttüğü söylenebilir. Analizler sonucu elde edilen titreşim hareketinin maksimum değerleri dikkate alındığında büyütme oranı 4,89 kat artmış şeklindedir (Şekil 3.4). İvme kayıtlarına bağlı oluşturulan spektrum davranışları açısından değerlendirme yapıldığında ise, salınım hareketine bağlı periyodu 0.16-0.60 sn olan yapıların alüvyon zemin ortamında maksimum etkiye maruz kalacağı anlaşılmıştır (Şekil 3.5).



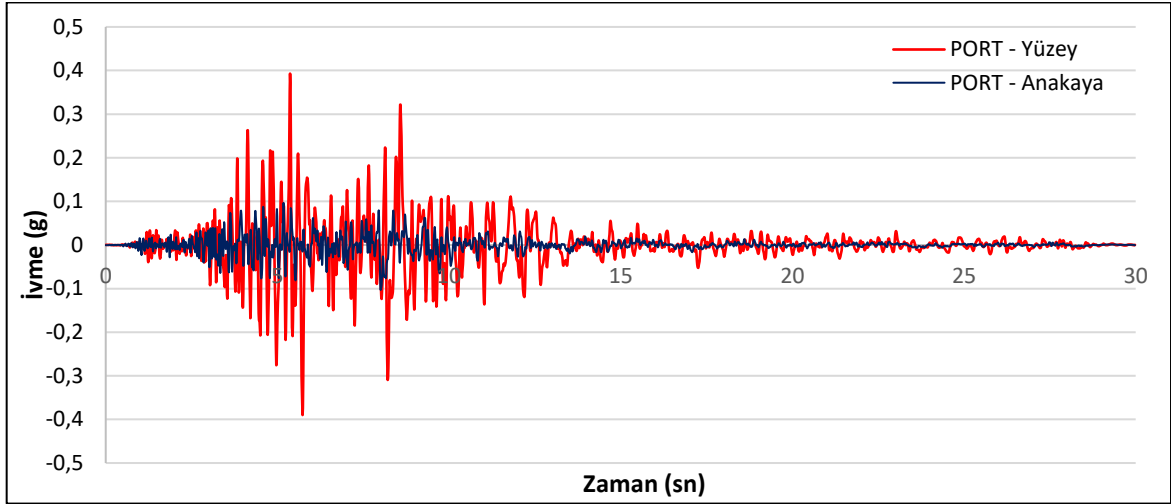
Şekil 3.4 : Northridge depreminin anakaya ve OTE yüzeyindeki ivme – zaman grafiği



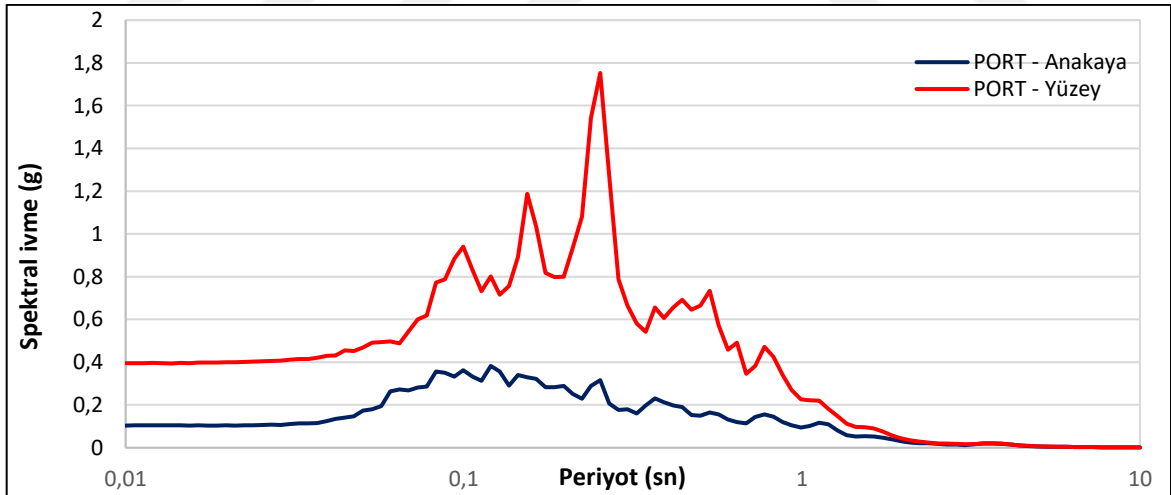
Şekil 3.5 : Northridge depreminin anakaya ve OTE yüzeyindeki ivme davranış spektrum grafiği

DK2 kodlu Northridge depreminin PORT yüzeyinde elde edilen analiz sonuçlarında OTE

ve PORT bölgesinde genel olarak bir artış görülmektedir. OTE bölgesindeki maksimum ivmesi 0,95g iken PORT bölgesinde 0,39 g seviyelerinde ivme değerlerine ulaşılmıştır (Şekil 3.6). Şekil 3.5'te görüldüğü gibi OTE bölgesinde 5,32 kat anakayadaki spektral ivmeyi artırırken, PORT bölgesinde de 4,58 kat artmıştır. Bu depremin frekansı da 1-5 Hz aralığında düşük frekans aralığına yayılmış titreşim hareketi olduğu söylenebilir (Şekil 3.7).



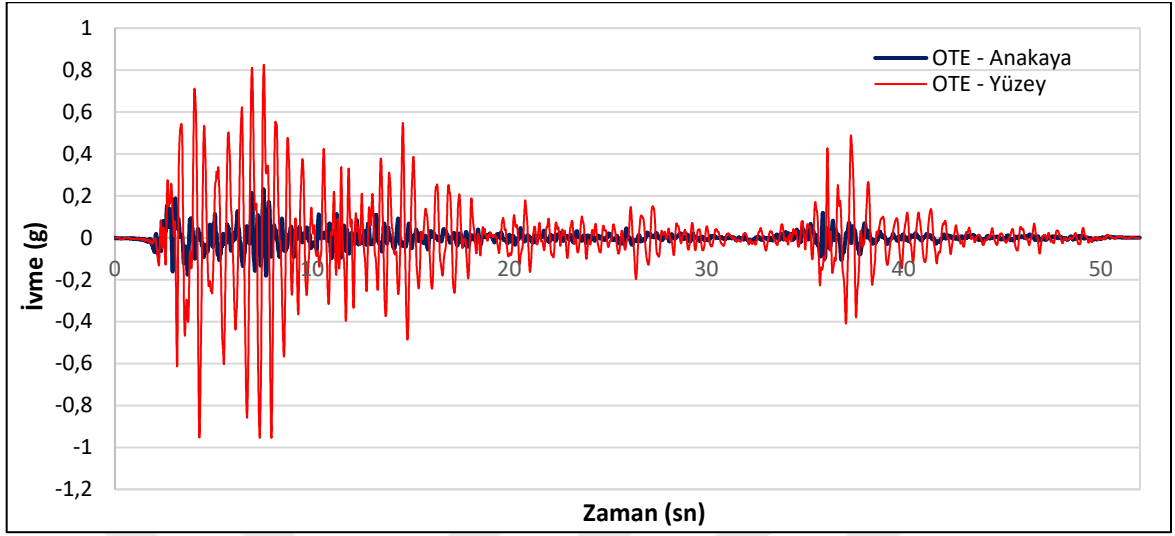
Şekil 3.6 : Northridge depreminin anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme – zaman grafiği



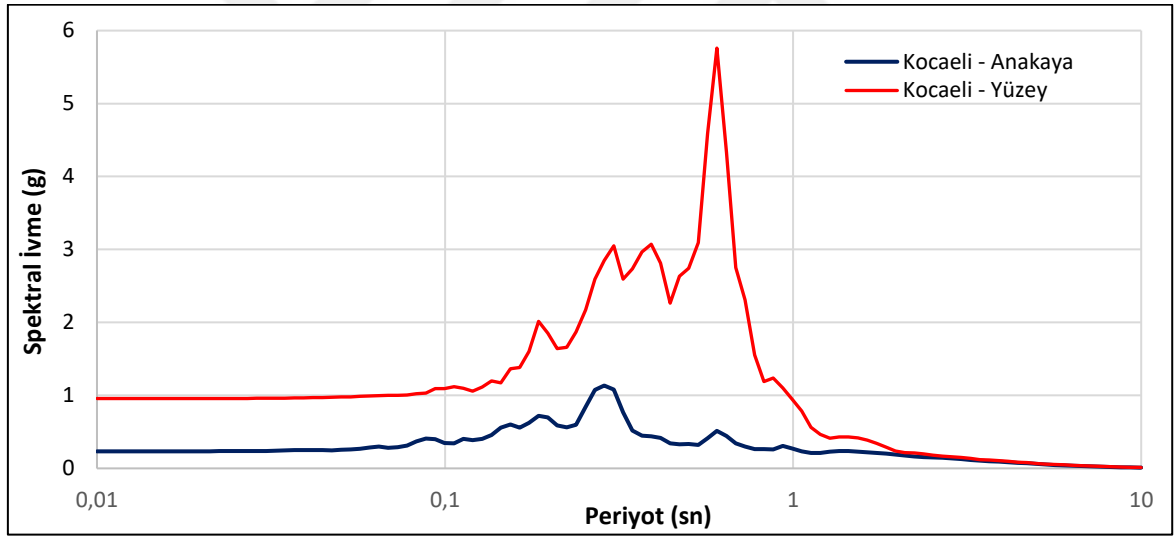
Şekil 3.7 : Northridge depreminin anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme davranış spektrum grafiği

Şekil 3.8 'de verilen DK3 depreminin de bir boyutlu Deepsoil programındaki analizlerinde diğer depremlerde olduğu gibi OTE ve PORT bölgesinde artış eğilimi devam etmektedir. Fourier frekans aralığı 1-5 Hz aralığında yayılmış bir şekilde etkidığı görülmektedir. OTE bölgesindeki ivme değeri 4,04 kat artarak 0,942 g ye, PORT bölgesinde de 3,34 kat artarak

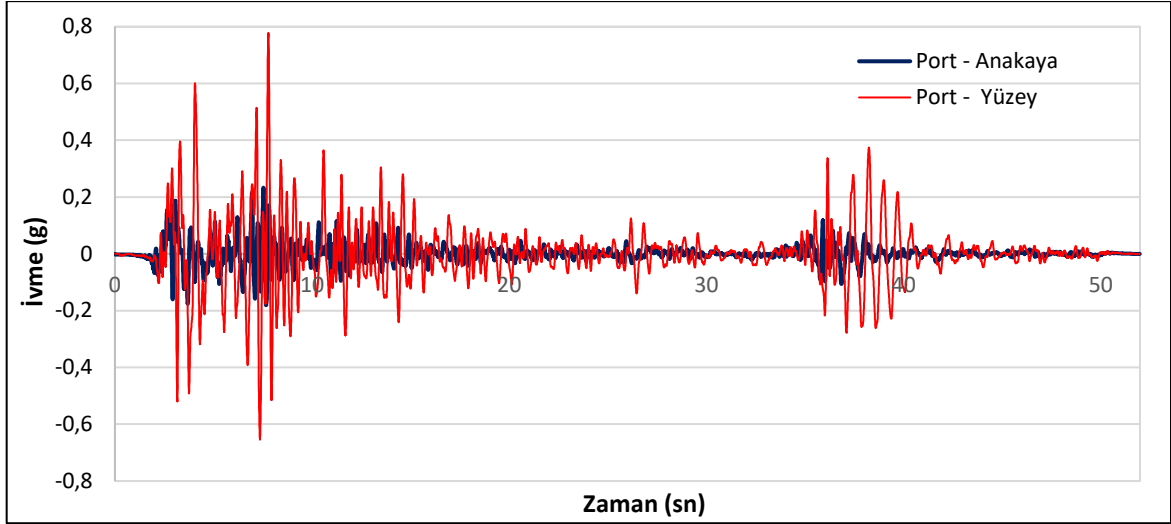
0,777 g elde edilmiştir. Spektral ivmeler de 5,759 g ve 2,918 g olarak elde edilmiştir (Şekil 3.9-3.11)



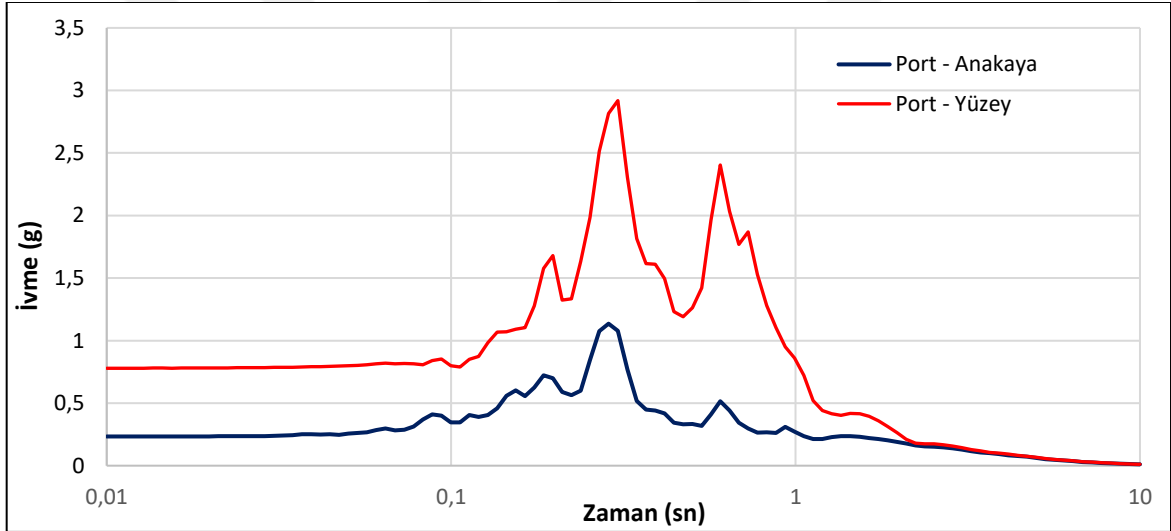
Şekil 3.8 : Kocaeli depremi anakaya ve OTE yüzeyindeki ivme – zaman grafiği



Şekil 3.9 : Kocaeli depremi anakaya ve OTE yüzeyindeki ivme davranış spektrum grafiği

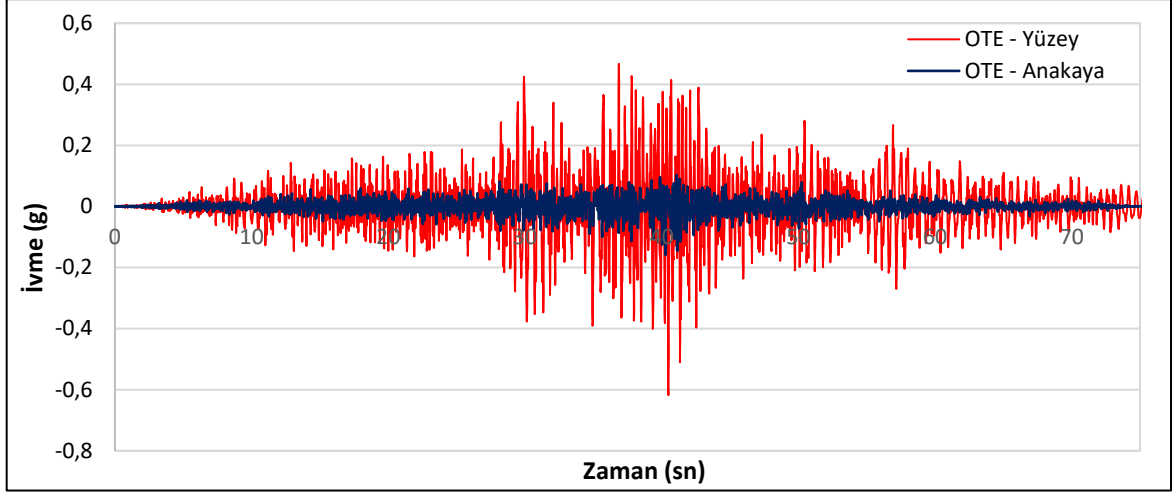


Şekil 3.10 : Kocaeli depremi anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme – zaman grafiği

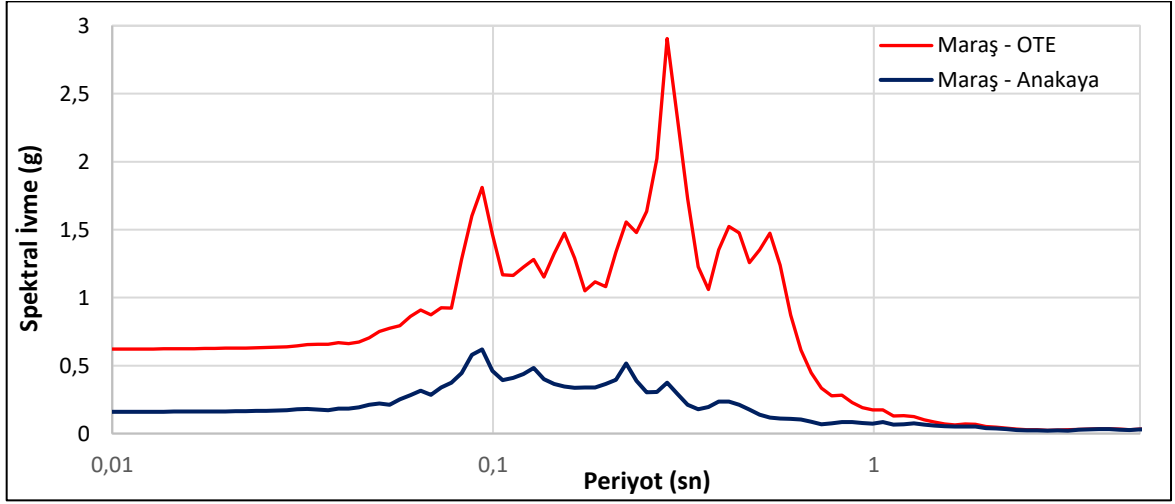


Şekil 3.11 : Kocaeli depremi anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme davranış spektrum grafiği

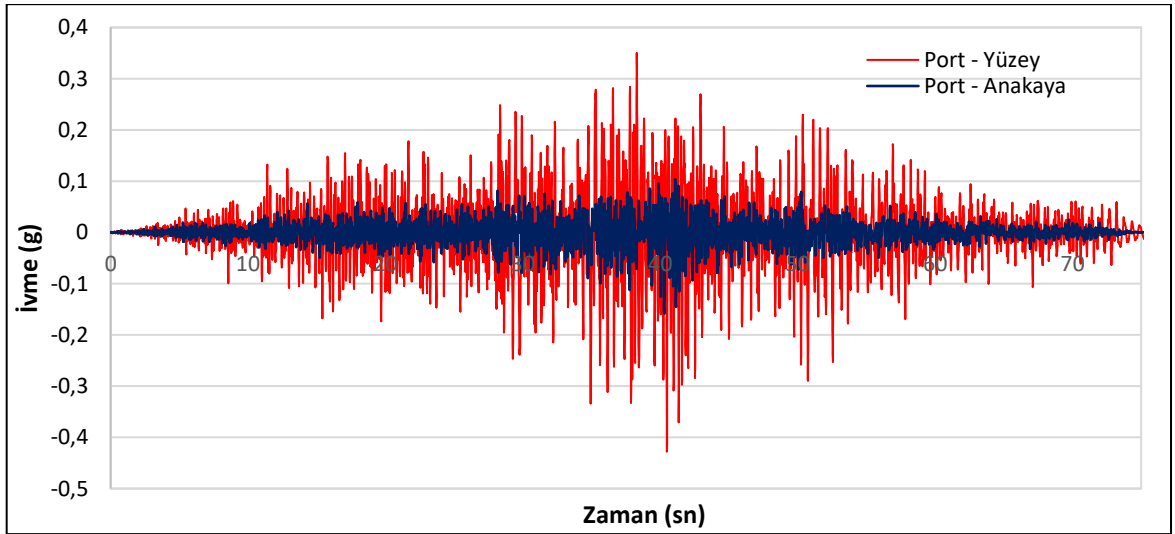
Son olarak ülkemizde son zamanlarda yaşadığımız ve büyük yıkımlar yapan DK4 kodlu Kahramanmaraş depreminin 1-D model yardımıyla analiz edilmiştir. Pik ivmesi 0,158 g olan depremin OTE bölgesindeki etkisi 0,618 g iken PORT bölgesinde de 0,428 g seviyelerinde elde edilmiştir (Şekil 3.12). Anakayadaki spektral ivmesi 0,619 g mertebelerinde olan titreşim hareketinin OTE bölgesinde 2,905 g seviyelerinde PORT bölgesinde de ise 1,661 g olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.13-3.15).



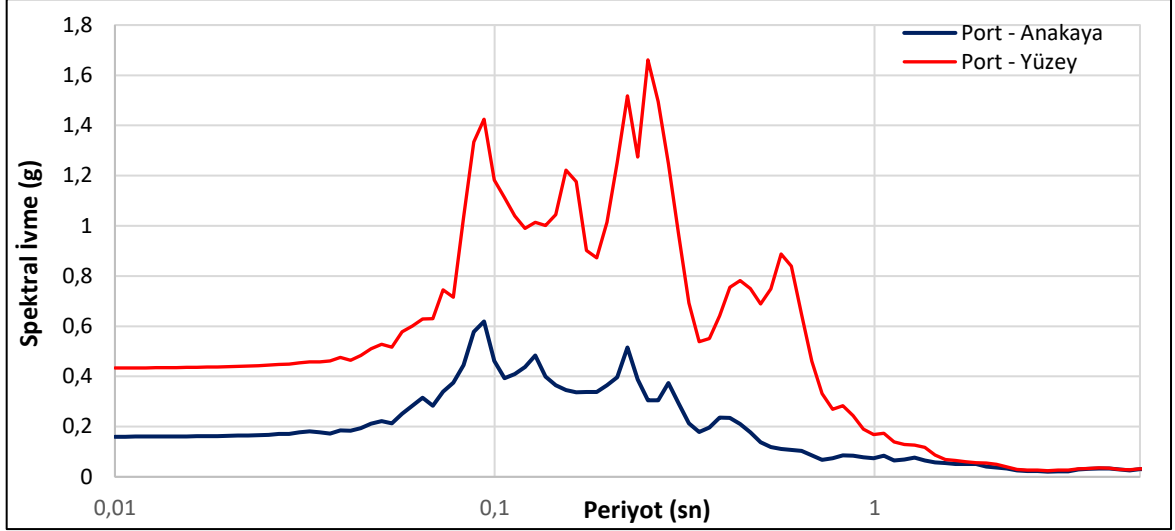
Şekil 3.12 : Kahramanmaraş depremi anakaya ve OTE yüzeyindeki ivme – zaman grafiği



Şekil 3.13 : Kahramanmaraş depremi anakaya ve OTE yüzeyindeki ivme davranış spektrum grafiği



Şekil 3.14 : Kahramanmaraş depremi anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme – zaman grafiği



Şekil 3.15 : Kahramanmaraş depremi anakaya ve PORT yüzeyindeki ivme davranış spektrum grafiği

Eşdeğer lineer analiz yöntemine dayalı geliştirilen 1 boyutlu modelden Kahramanmaraş depremine bağlı elde edilen titreşim kayıtlarına bağlı oluşturulan ivme davranış spektrumlarına göre, alüvyonel zemin yapısına sahip ova gölgesinde inşa edilecek periyodu 0,25-0,30 sn civarında olan çok katlı yapıların maksimum ivmelere maruz kalacağı anlaşılmıştır.

3.2. 2-D Dinamik Analizler

Tez çalışmasının bu kısmında, seçilen modelin 2-D boyutlu PLAXIS sonlu elemanlar yöntemi ile dinamik yükler altındaki tepkilerini değerlendirmek amacıyla yapılan analizlerden farklı frekans içeriklerine sahip dört adet kuvvetli yer hareketlerinden elde edilen sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ivme, yer değiştirme ve spektral ivme olarak grafiksel olarak elde edilmiştir. Yapılan analizlerde modelin tüm parametreleri sonlu eleman programında tanımlanarak lineer elastik malzeme davranış yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır.

3.2.1. Nümerik Modelin Kalibrasyonu

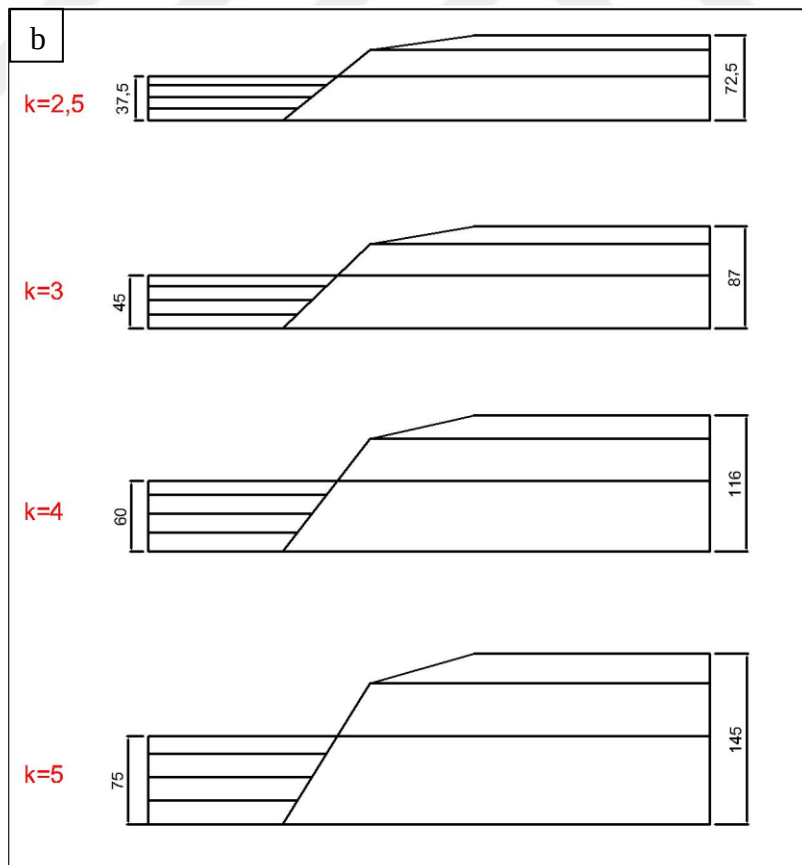
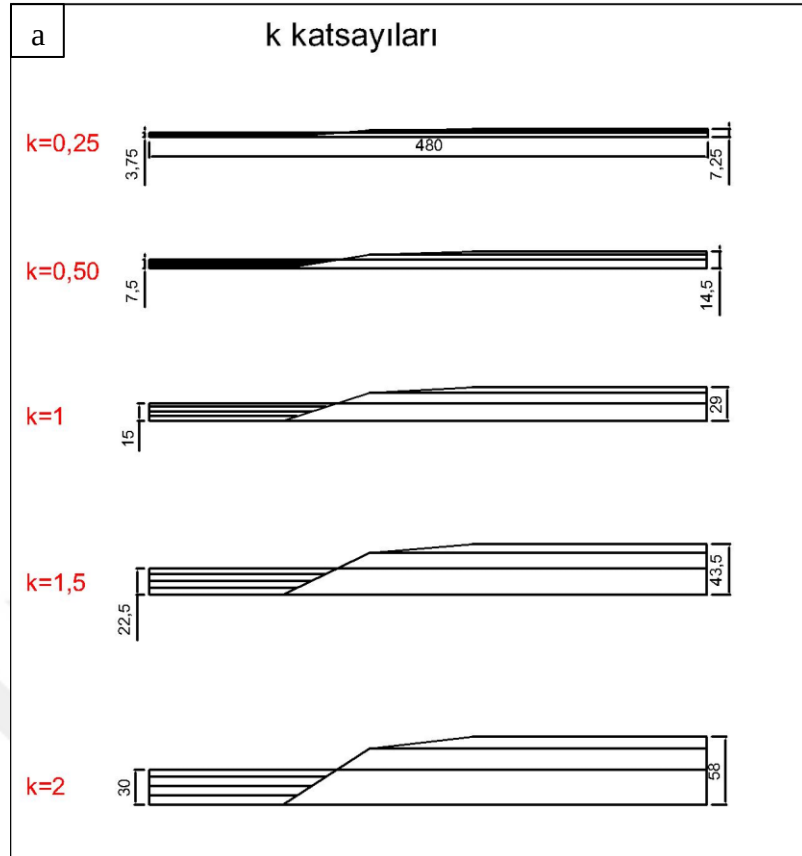
Kalibrasyon çalışmasının başlangıç aşamasında basamak biçimindeki topoğrafyaya sahip jeolojik kesite bağlı geliştirilen modelin toplam yanal zemin uzunluğu ve derinliğini belirlemek için çalışmalar yapılmıştır. Bu bağlamda, ilk olarak yanal uzunluk sabit alınarak farklı derinlikler için k katsayıları tanımlanmıştır. Model derinliğine karar verildikten sonra

yanal uzunluk için belirlenen n katsayılarına bağlı analizler yürütülmüştür. Sayısal modelin yanal uzunluğu 480 m sabit alınarak analizler derinliklere bağlı olarak k katsayısı k=0,25 ten k=8'e kadar yapılmıştır (Tablo 3.1). Uzunluğa bağlı olarak da derinlikleri PORT bölgesinde 75 m ve OTE bölgesinde 145 m sabit alınarak n katsayısı da n=1'den n=7'ye kadar orantılanmıştır. Geliştirilen bu sayısal modellerde PORT, DESP ve OTE bölgelerindeki alınan bazı noktalardaki deplasmanlar, ivme büyüklükleri ve spektral ivme artışları incelenmiştir. Bu sayede geliştirilen sayısal modelin istenilen doğruluk seviyesinde olabilmesi amaçlanmıştır.

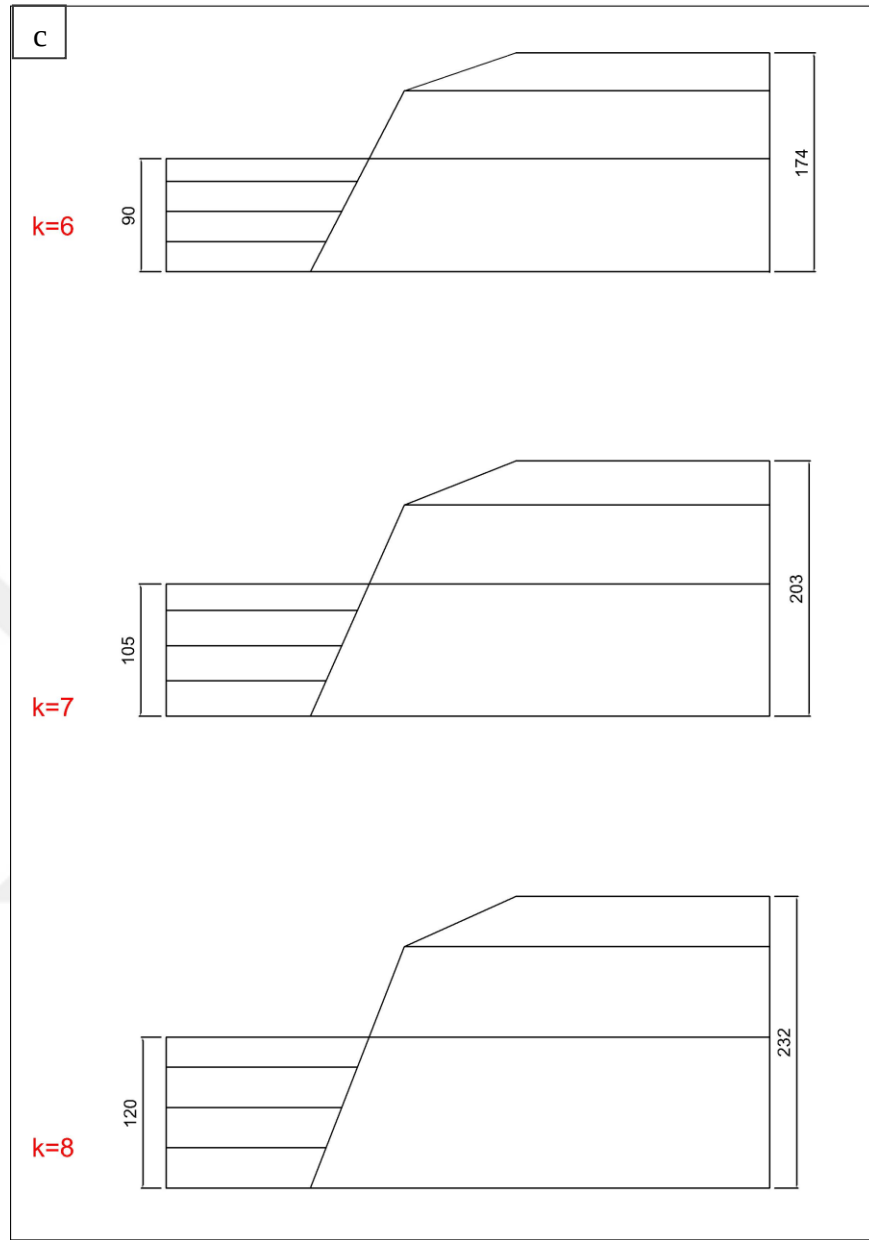
Tablo 3.1: Modelin k katsayısına göre nümerik ölçüleri

	<i>PORT</i>				<i>OTE</i>		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Ortak katsayı	3	4	4	4	5	9	15
Model için	15	20	20	20	25	45	75
k=0,25	0,75	1	1	1	1,25	2,25	3,75
k=0,5	1,5	2	2	2	2,5	4,5	7,5
k=1	3	4	4	4	5	9	15
k=1,5	4,5	6	6	6	7,5	13,5	22,5
k=2	6	8	8	8	10	18	30
k=2,5	7,5	10	10	10	12,5	22,5	37,5
k=3	9	12	12	12	15	27	45
k=4	12	16	16	16	20	36	60
k=5	15	20	20	20	25	45	75
k=6	18	24	24	24	30	54	90
k=7	21	28	28	28	35	63	105
k=8	24	32	32	32	40	72	120

Geliştirilen sayısal modelde k=0,25 için PORT bölgesinde 3,75 m ve OTE bölgesinde 7,25 m olarak hesaplanıp Şekil 3.16'daki verilere göre PLAXIS programında modellenme yapılmaya başlanmıştır. Bu modellemeler k= 8'e kadar tek tek modellenerek analizler yapılarak analiz sonuçları grafiksel ve nümerik olarak gözlemlenmiştir.



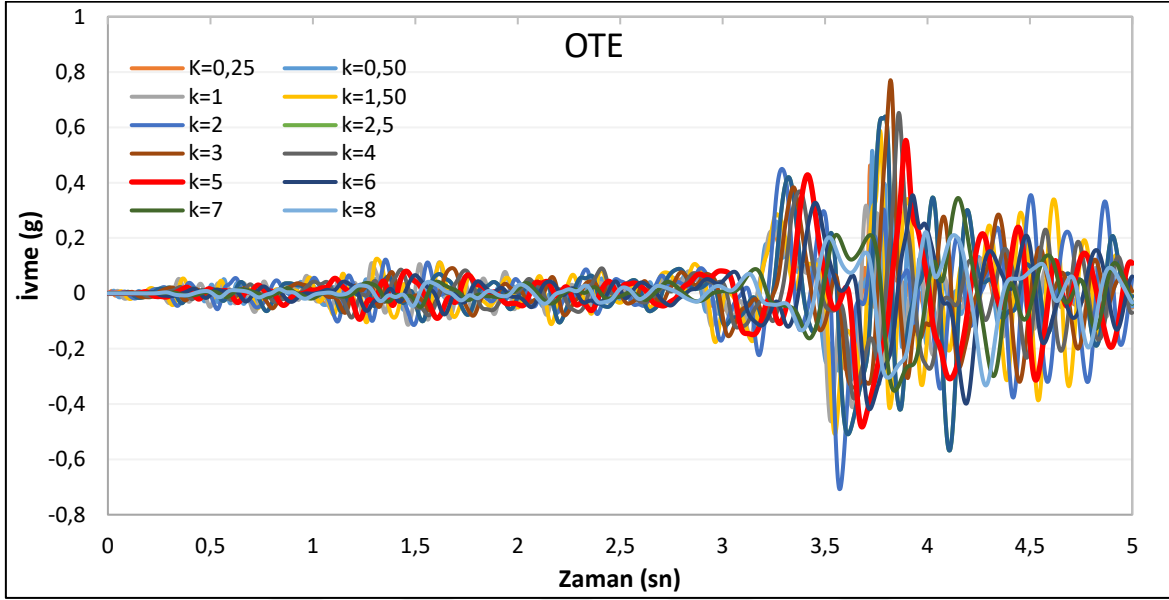
Şekil 3.16: (devam ediyor)



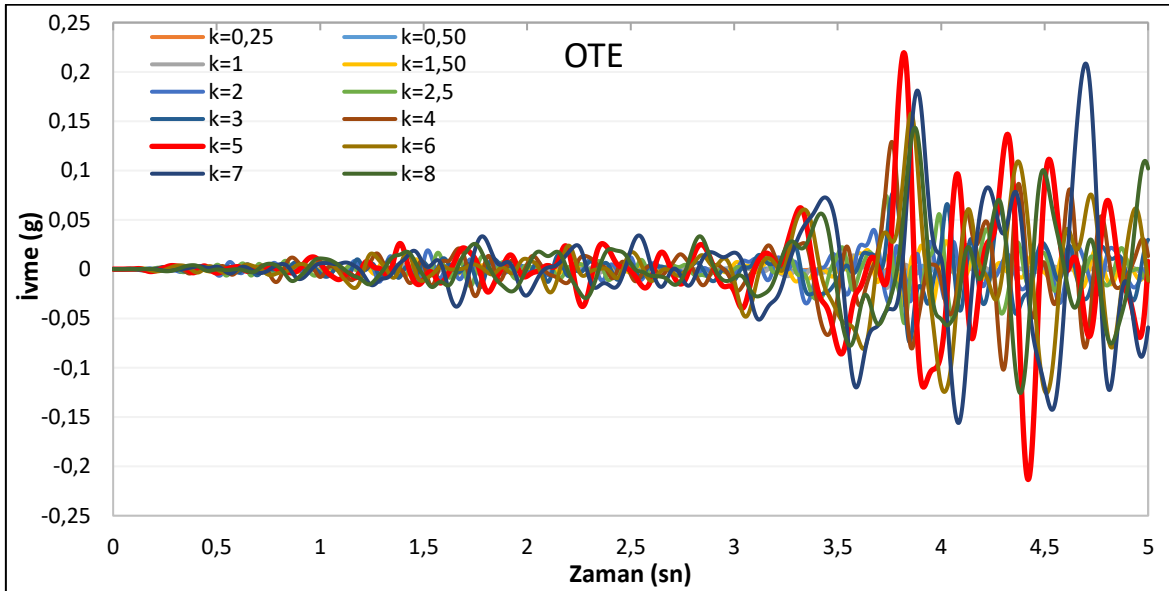
Şekil 3.16 : a) $k=0,25-2$ arası, b) $k=2,5-5$ arası, c) $k=6-8$ arası katsayısına göre sayısal modelin boyutları

OTE bölgesinde analizler sonucunda x yönündeki $k=0,25$ modelindeki ivme değeri $0,462 \text{ g}$ 'den $k=3$ 'te $0,770 \text{ g}$ kadar artarken, $k=8$ 'de azalarak $0,333 \text{ g}$ kadar gerilemektedir (Şekil 3.17). Y yönündeki ivme değerleri $k=0,25$ modelinde $0,002 \text{ g}$ den $k=5$ 'te $0,219 \text{ g}$ maksimum değere ulaştıktan sonra $k=8$ de $0,014 \text{ g}$ kadar düşmektedir (Şekil 3.18). Yine x yönündeki yer değiştirmede $k=0,25$ 'te $0,0537 \text{ m}$ iken $k=2,5$ da maksimum değere $0,0563 \text{ m}$ ulaştıktan sonra $k=4$ 'te $0,0500 \text{ m}$, $k=5$ 'te $0,05525 \text{ m}$ olduktan sonra $k=8$ de minimum değer olan $0,0317 \text{ m}$ tamamlanmaktadır (Şekil 3.19). Y yönündeki yer değiştirme ise $k=0,25$ iken $0,0004 \text{ m}$

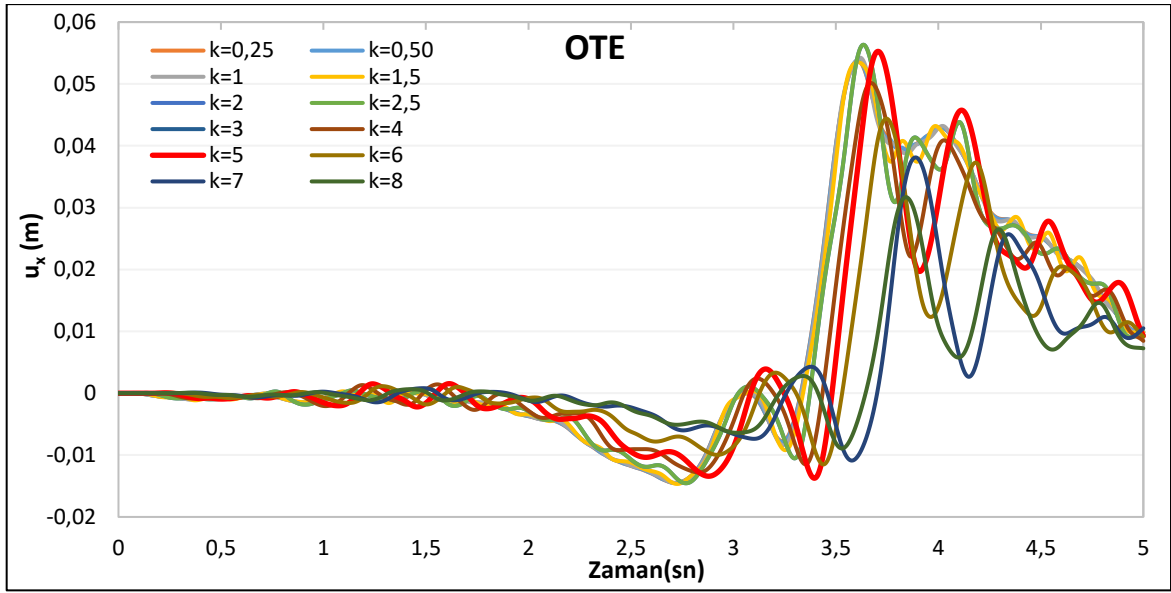
iken, $k=5$ 'e kadar artarak 0,0103 m ulaştıktan sonra tekrar $k=8$ de 0,0075 m kadar azalmaktadır (Şekil 3.20). Burada değinilecek önemli husus Athanasopoulos vd. (1999) tarafından yapılan çalışmada, OTE bölgesinin %5 sönümlü spektral ivme değeri FLUSHPLUS programında 0,69 g ve baskın periyodunu da 0,50 sn elde ettikleridir.



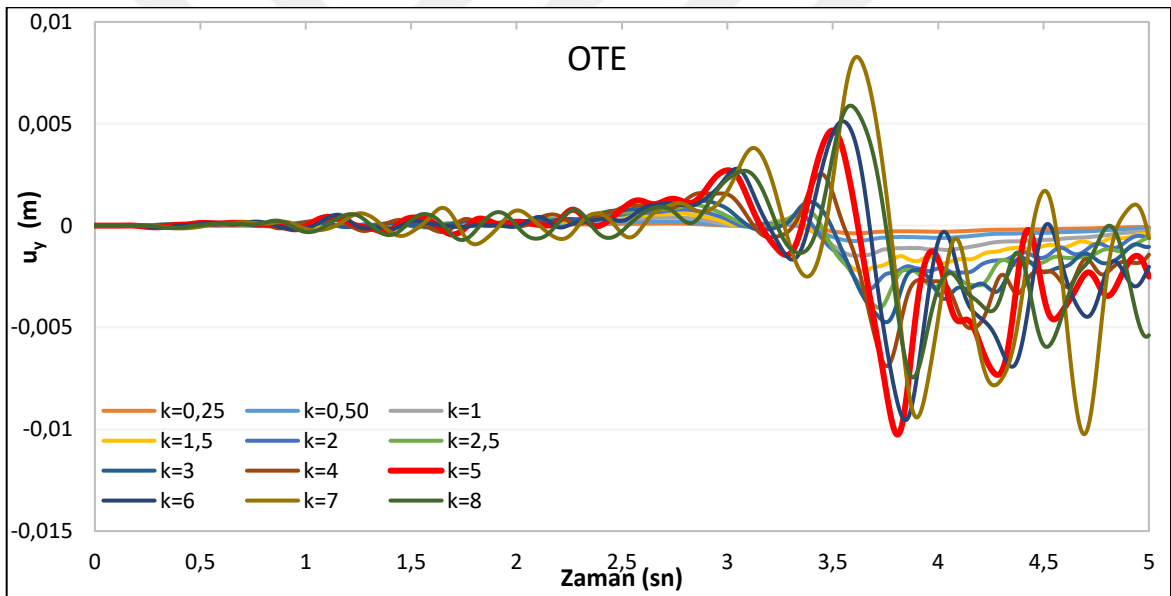
Şekil 3.17 : Egrion depremi OTE bölgesi ivme (a_x) grafiği



Şekil 3.18 : Egrion depremi OTE bölgesi ivme (a_y) grafiği



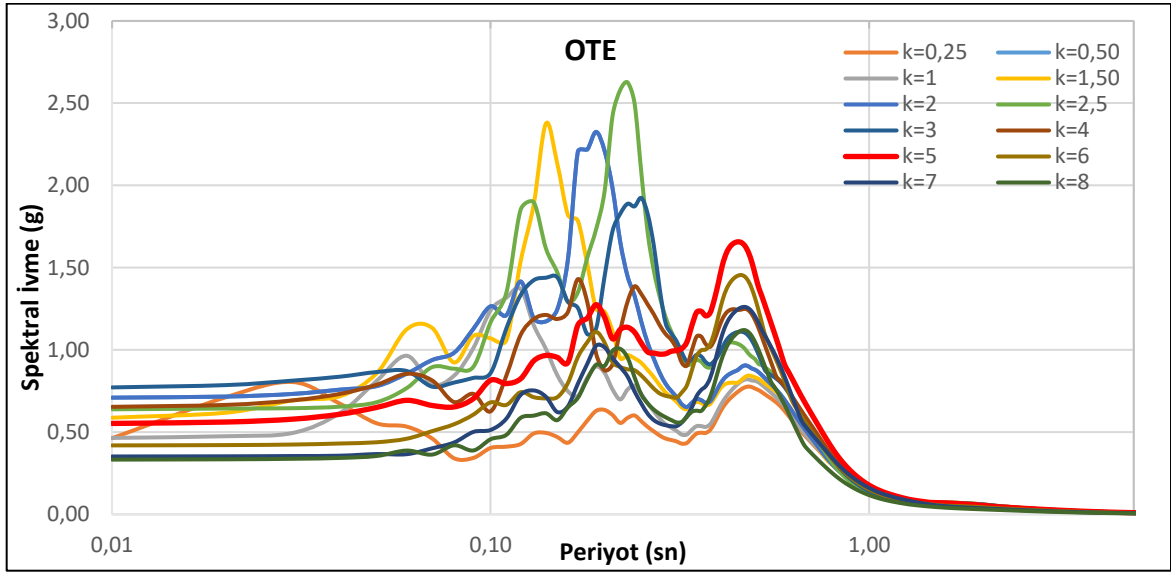
Şekil 3.19 : Egeion depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği



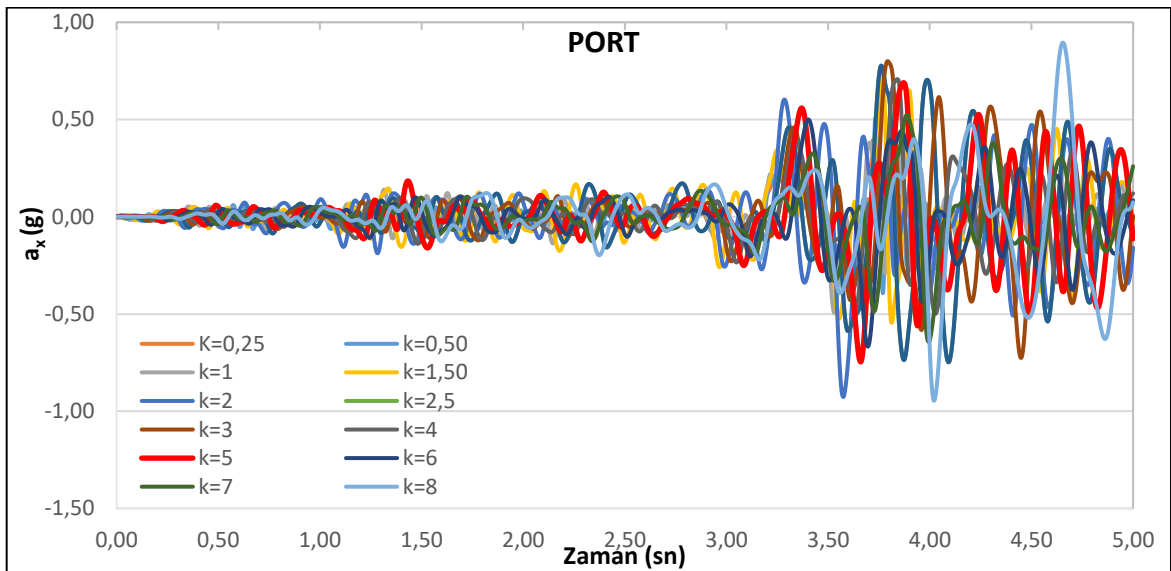
Şekil 3.20 : Egeion depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği

OTE bölgesinde Spektral ivme analiz sonuçları $k=0,25$ 'te $0,805g$ iken periyodu $0,03$ sn, $k=1,5$ - $k=2,5$ arasında spektrum ivmeleri artarken periyotlarda artmaktadır. $k=2,5$ da $2,626g$ maksimum spektral ivmeye maruz kalırken iken periyodu $0,23$ sn kadar çıkmaktadır. Çalışma kapsamında OTE yüzeyindeki yatay yer hareketlerin spektrum davranışlarına göre, dikkate alınan $k=0,25$ ile $k=3$ katsayılarına bağlı yapılan analizlerde elde edilen maksimum spektrum ivme değerinin karşılık geldiği periyot Athanasopoulos vd. (1999) çalışmasıyla uyumsuz olduğu anlaşılmıştır. Modelde k katsayısı artarken, spektral ivme düşmeye devam ederken periyot da artmaktadır. $k=5$ te $1,657g$ iken periyodu $0,45$ sn ve $k=8$ de $1,12g$

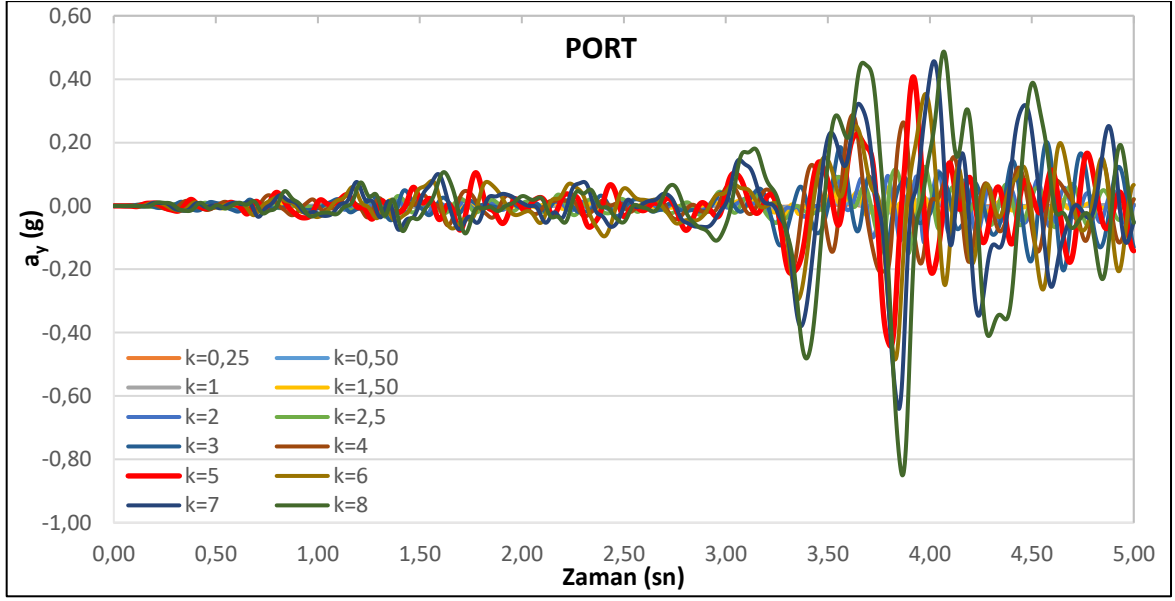
seviyelerine gelirken periyodu da 0,47 sn kadar ulaşmaktadır. Ancak farklı ölçekteki ayrıklaştırılmış katman derinliklerinin değerlendirildiği sonlu eleman analiz sonuçlarına göre $k=5$ değerinden sonra elde edilen maksimum spektrum değeri sürekli düşüş eğilimi göstermektedir. PORT bölgesinde x yönünde 0,70 g seviyelerinde çıkarken, y yönünde 0,45 g seviyelerinde çıkmıştır (Şekil 3.22-3.23). Sonuç olarak seçilen gözlem noktalarındaki sonlu eleman metoduna bağlı nümerik analiz sonuçlarına göre zemin tabakalarının her bir katman derinliğini belirlediğimiz k katsayısının 5 alınmasının uygun olduğu anlaşılmıştır (Şekil 3.21).



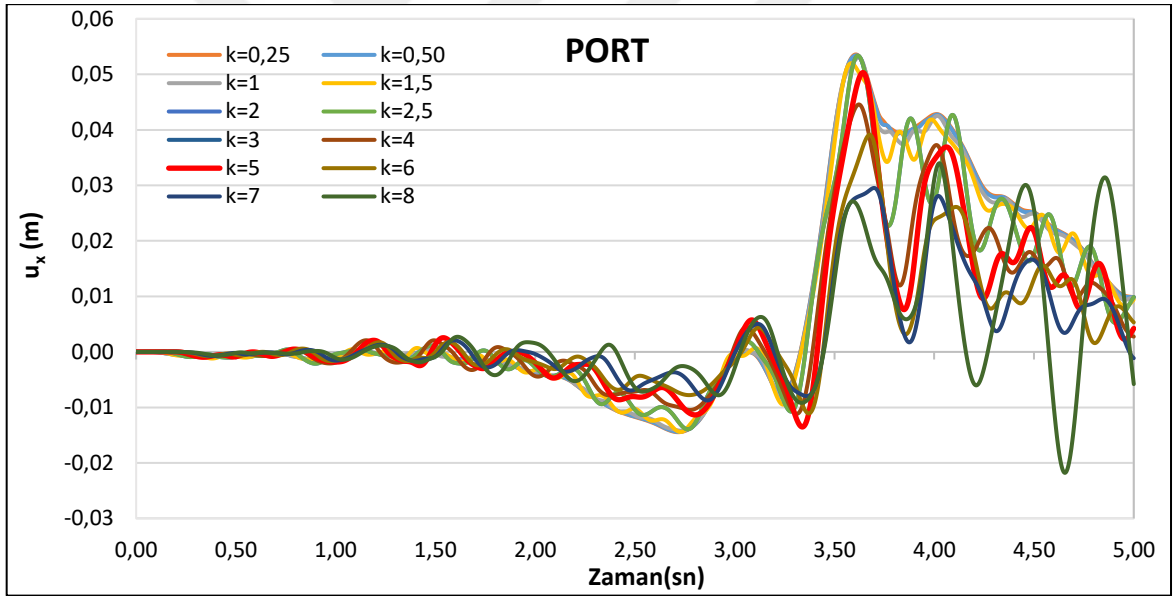
Şekil 3.21 : Egeion depremi OTE bölgesi k katsayısına göre ivme davranış spektrum grafiği



Şekil 3.22 : Egeion depremi PORT bölgesi ivme (a_x) grafiği

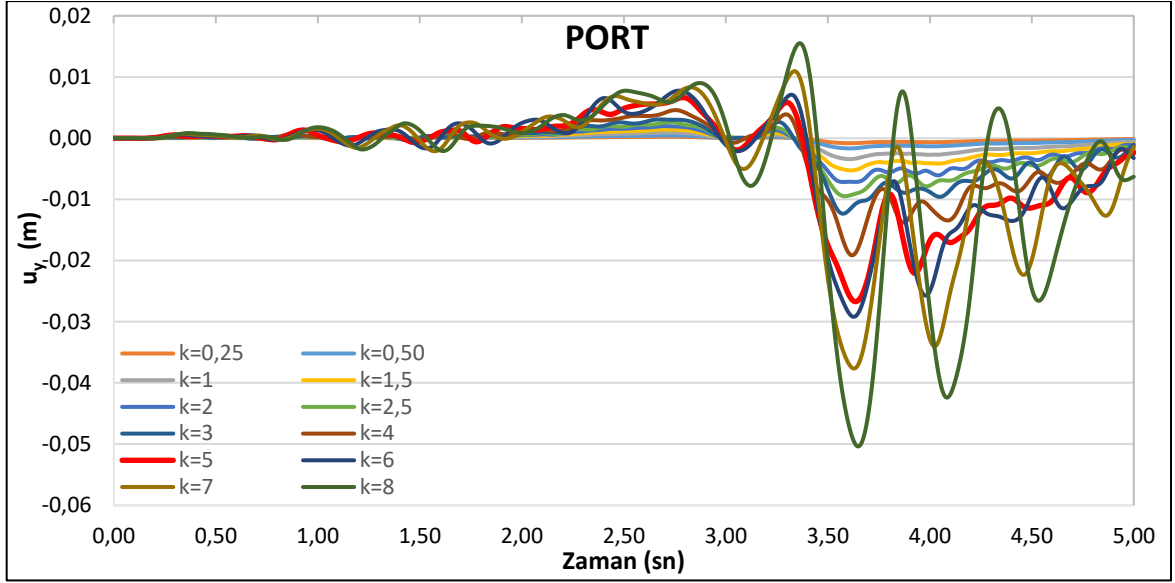


Şekil 3.23 : Egeion depremi PORT bölgesi ivme (a_y) grafiği



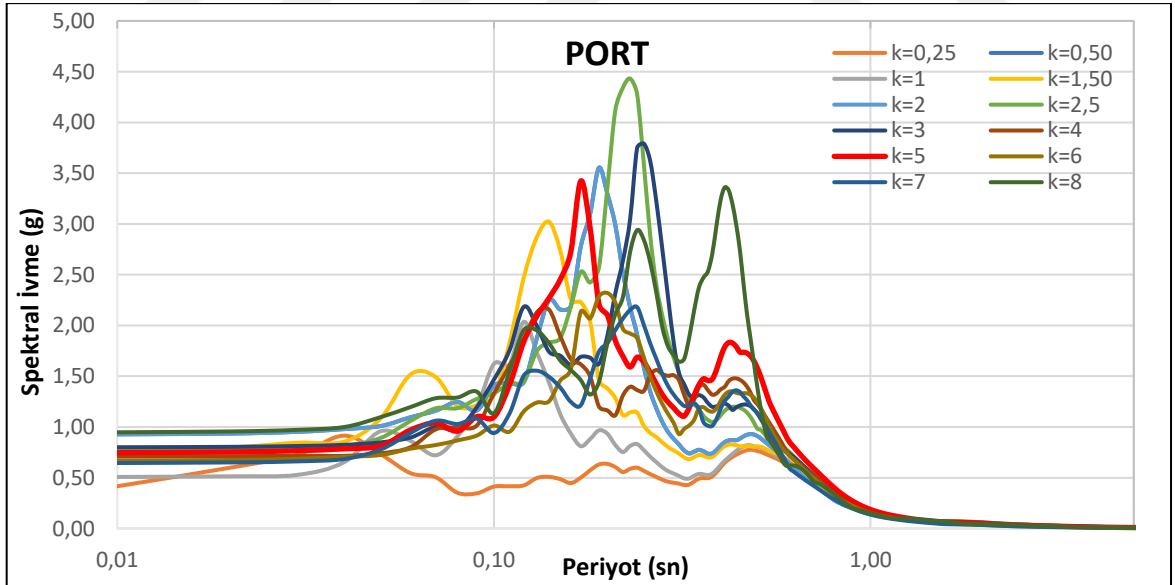
Şekil 3.24 : Egeion depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği

Analizler sonucunda düşük kayma dalga hızına sahip olan PORT bölgesinde x yönündeki maksimum yer değiştirmeler 5 cm kadar ulaşmaktadır (Şekil 3.24). Y yönündeki yer değiştirmelerde ortalama 2,5 cm civarında hesaplanmıştır (Şekil 3.25).



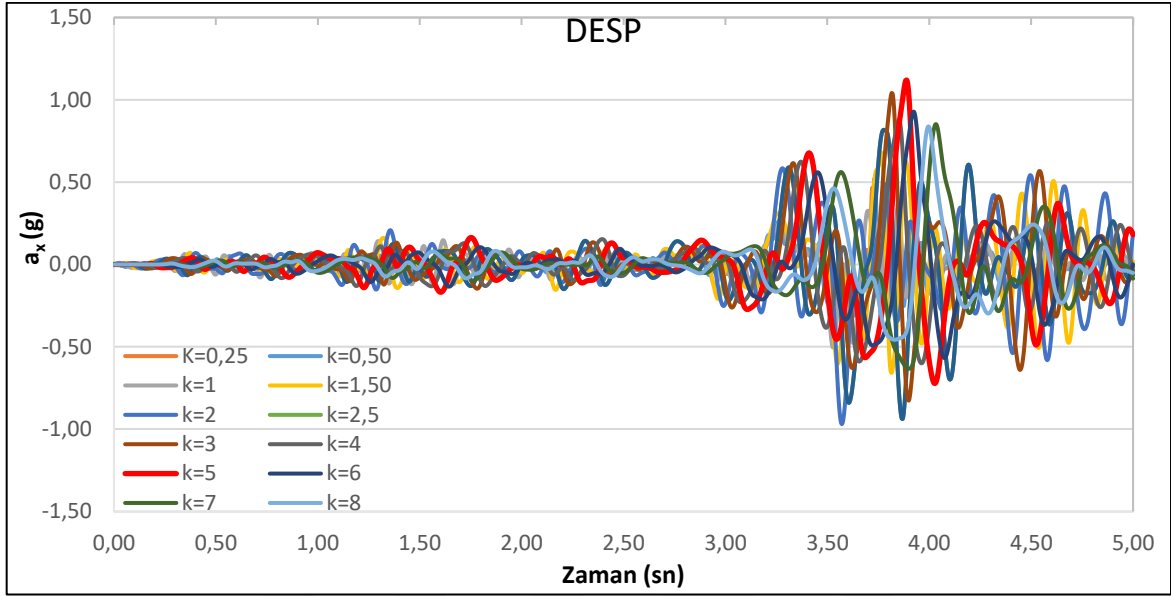
Şekil 3.25 : Egion depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği

PORT bölgesinin ivme davranış spektrum değerleri 2 g ile 4,5 g arasında değişmektedir. Periyot değerleri 0,15-0,45 sn arasında değişmektedir (Şekil 3.26).

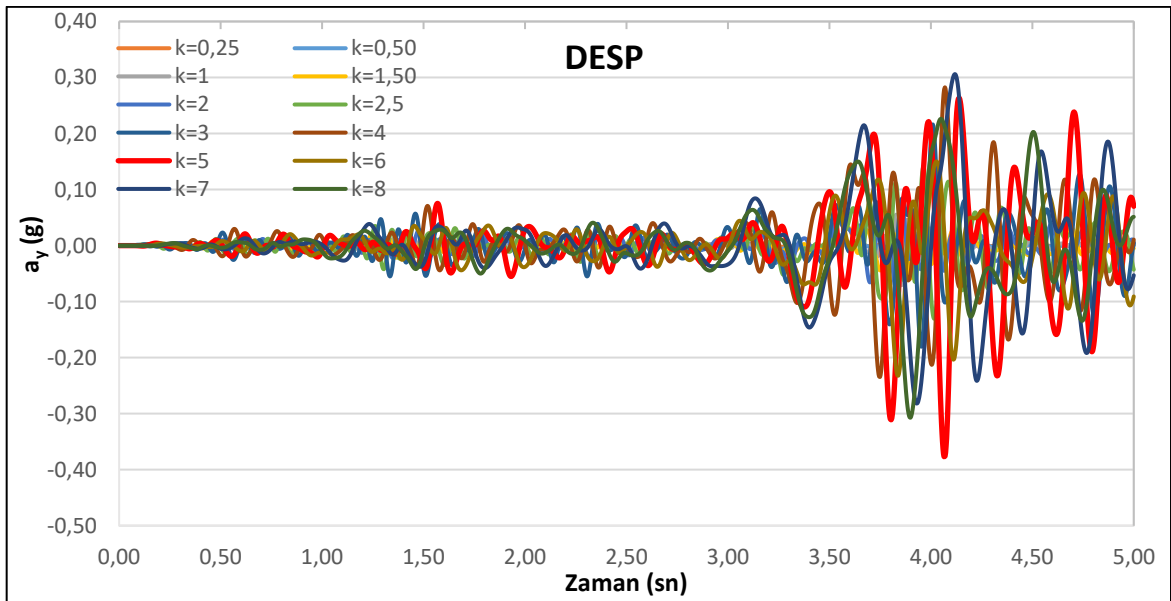


Şekil 3.26 : Egion depremi PORT bölgesi k katsayısına göre ivme davranış spektrum grafiği

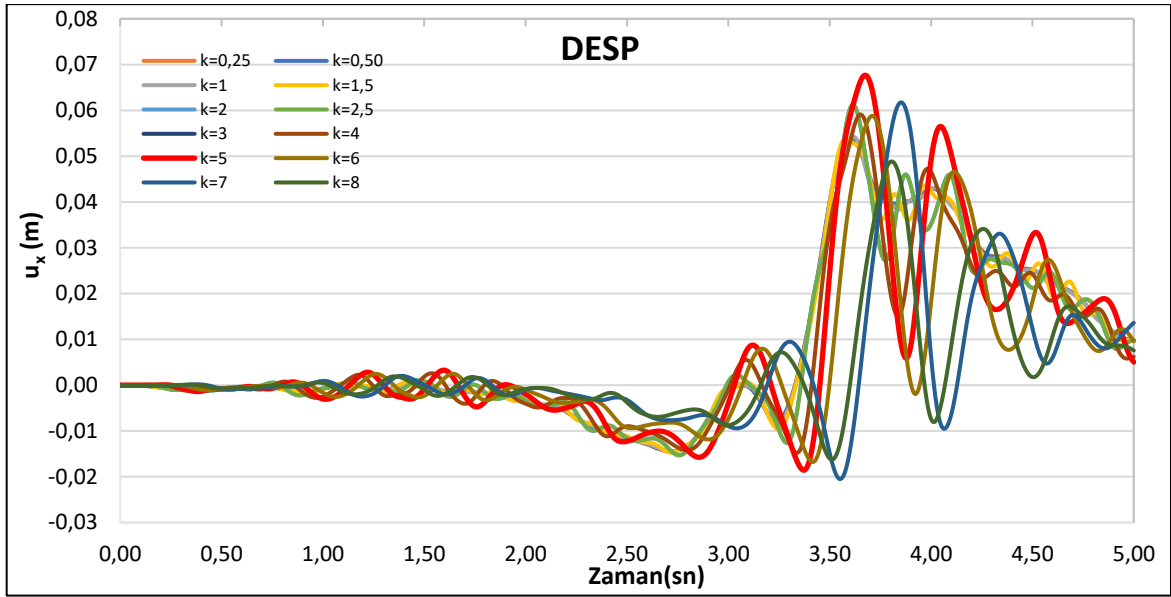
Hasarın en çok olduğu bölge olan DESP bölgesinde x yönündeki maksimum ivme 1,1 g iken, maksimum yer değiştirmeler 7 cm'ye kadar ulaşmaktadır (Şekil 3.29). Y yönündeki ivme değerleri 0,30 g iken, yer değiştirmelerde ortalama 1,5 cm civarında hesaplanmıştır (Şekil 3.27-3.30).



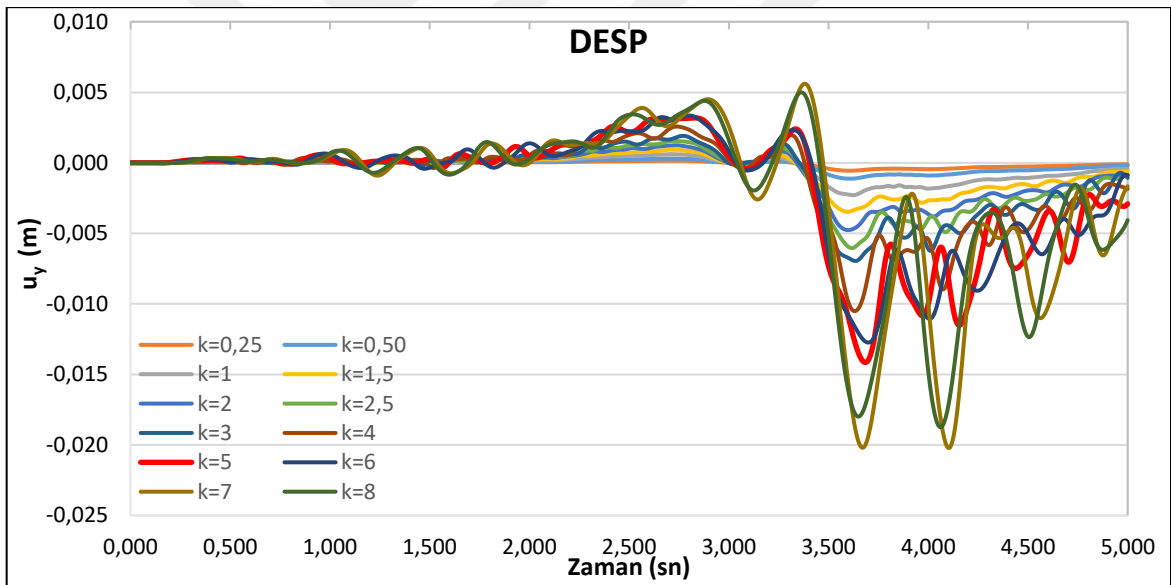
Şekil 3.27 : Egeion depremi DESP bölgesi ivme (a_x) grafiği



Şekil 3.28 : Egeion depremi DESP bölgesi ivme (a_y) grafiği



Şekil 3.29 : Egeion depremi DESP bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği



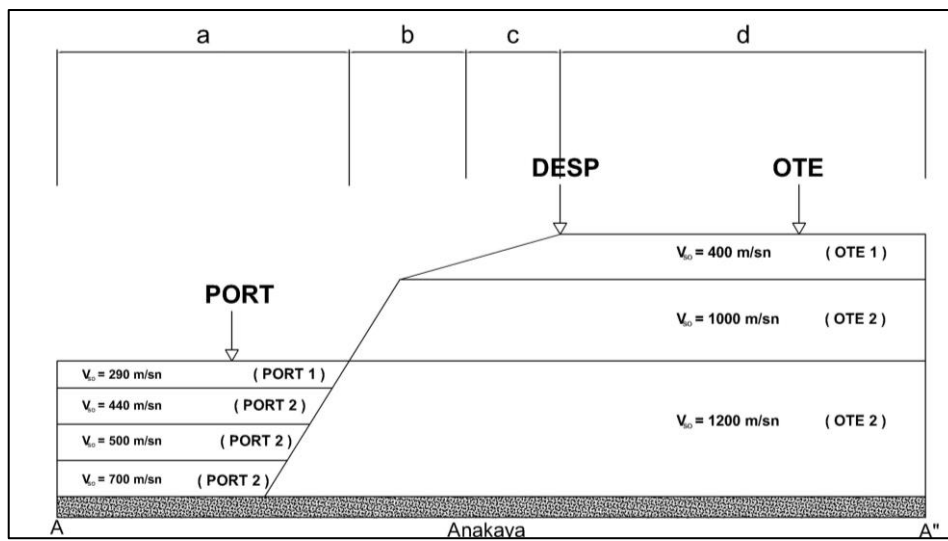
Şekil 3.30 : Egeion depremi DESP bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği

Elde edilen genel analiz sonuçları, katsayının x ve y yönündeki ivme ve yer değiştirmeleri üzerinde etkili olan değişimin 0,25 ile 8 arasında olduğunu göstermektedir. Bu değişimin yapılan analizler sonucu ayrıntıları Tablo 3.2'de verilmektedir.

Tablo 3.2: OTE, DESP ve PORT bölgesi maksimum ivme ve yer değıştirme tablosu (L=480m)

Bölge	cinsi	k=0,25	k=0,50	k=1	k=1,5	k=2	k=2,5	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8
OTE	a _x	0,462	0,580	-0,462	-0,585	-0,664	0,610	0,748	0,642	0,53267	-0,423	-0,366	-0,354
	a _y	-0,002	-0,010	-0,019	-0,035	0,039	0,072	0,074	0,126	0,21676	0,159	0,224	0,015
	u _x	0,0537	0,0538	0,0542	0,0535	0,0554	0,0559	0,0533	0,0500	0,00549	0,0446	0,0391	0,0327
	u _y	-0,0004	-0,0008	-0,0015	-0,0023	-0,0031	-0,0040	-0,0047	-0,0068	-0,00102	-0,0096	-0,0109	-0,0077
DESP	a _x	0,466	0,584	-0,505	0,666	-0,914	-0,870	1,009	0,866	1,11075	0,936	0,876	0,876
	a _y	-0,004	0,032	-0,071	0,062	0,079	0,142	0,210	0,274	-0,35669	-0,233	0,316	-0,316
	u _x	0,054	0,054	0,054	0,054	0,059	-0,006	0,059	0,059	0,06754	0,059	0,063	0,050
	u _y	-0,001	-0,001	-0,002	-0,003	-0,005	-0,060	-0,007	-0,010	-0,01410	-0,013	-0,021	-0,019
PORT	a _x	0,394	0,563	-0,506	0,760	-0,843	-0,731	0,778	0,700	-0,73028	-0,671	-0,657	-0,987
	a _y	-0,005	0,036	-0,032	0,090	-0,117	-0,147	-0,190	0,279	-0,44511	-0,487	-0,646	-0,877
	u _x	0,0536	0,0534	0,0530	0,0519	0,0551	0,0530	0,0482	0,0446	0,00499	0,0392	0,0294	0,0353
	u _y	-0,0008	-0,0017	-0,0034	0,0526	-0,7165	-0,0095	-0,0123	-0,0191	-0,00268	-0,0292	0,0377	-0,0510

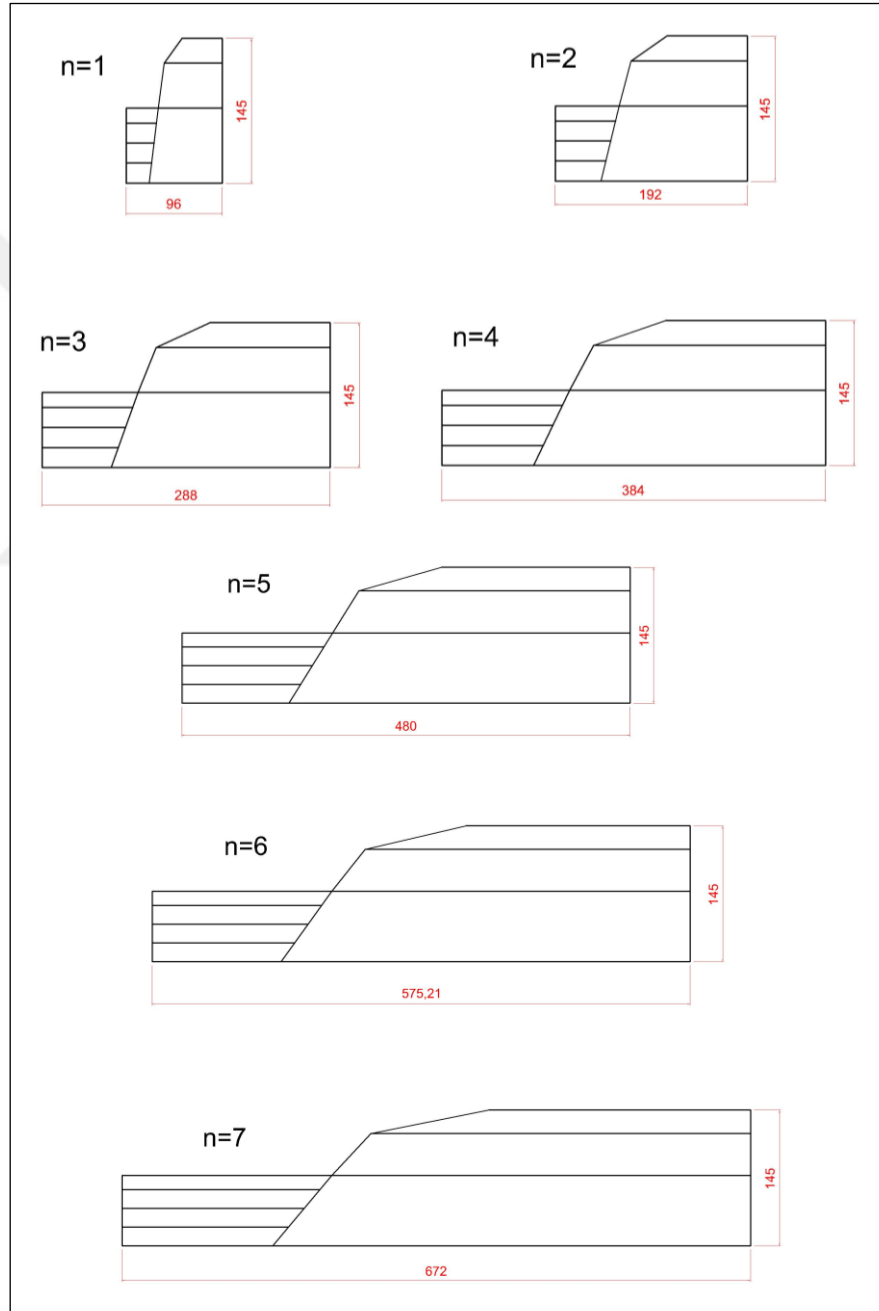
Sonsuz uzanıma sahip bir zemin bölgesinde, sınırları tanımlanmış bir modelin incelenmesi amacıyla, alternatif bir yaklaşımda zemin modelinin uzunluğu farklı orantısal katsayılarla ele alınarak, belirlenen gözlem noktalarındaki yatay, düşey yer değışimleri ve ivmelerin zaman içindeki değışimleri analiz edilmiştir. Başlangıçta seçilen zemin bölgesinin derinliğinin değışimlerine göre incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda grafiklerle sunulmuştur. Ayrıca, Tablo 3.3'te belirtilen n katsayılarıyla n katsayısının değışimi, zemin modelinin 96 metreden 672 metreye kadar farklı uzunluklarını kullanarak yapılan analizlerle incelenmiştir (Şekil 3.31). Analizlerde lineer elastik zemin davranışı kullanılmıştır ve elde edilen sonuçlar grafiklerle gösterilmiştir.



Şekil 3.31 : n katsayısına göre ölçeklendirme

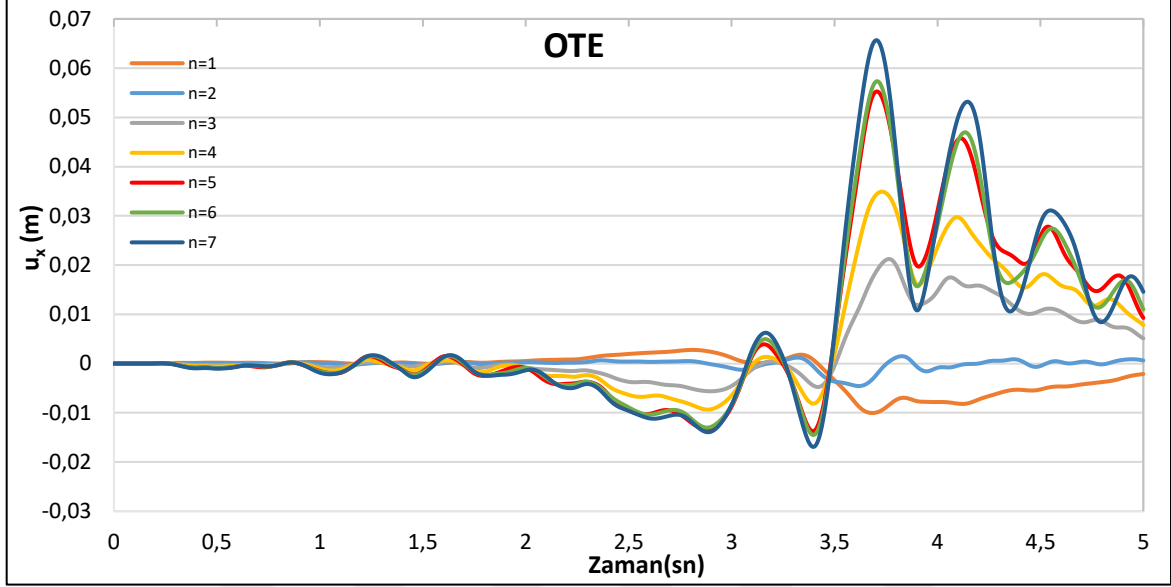
Tablo 3.3: Modelin n katsayısına göre ölçüleri

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
n	162	28	88	202
katsayı	32,4	5,6	17,6	40,4
1	32,4	5,6	17,6	40,4
2	64,8	11,2	35,2	80,8
3	97,2	16,8	52,8	121,2
4	129,6	22,4	70,4	161,6
5	162	28	88	202
6	259,2	44,8	140,8	323,2
7	324	56	176	404

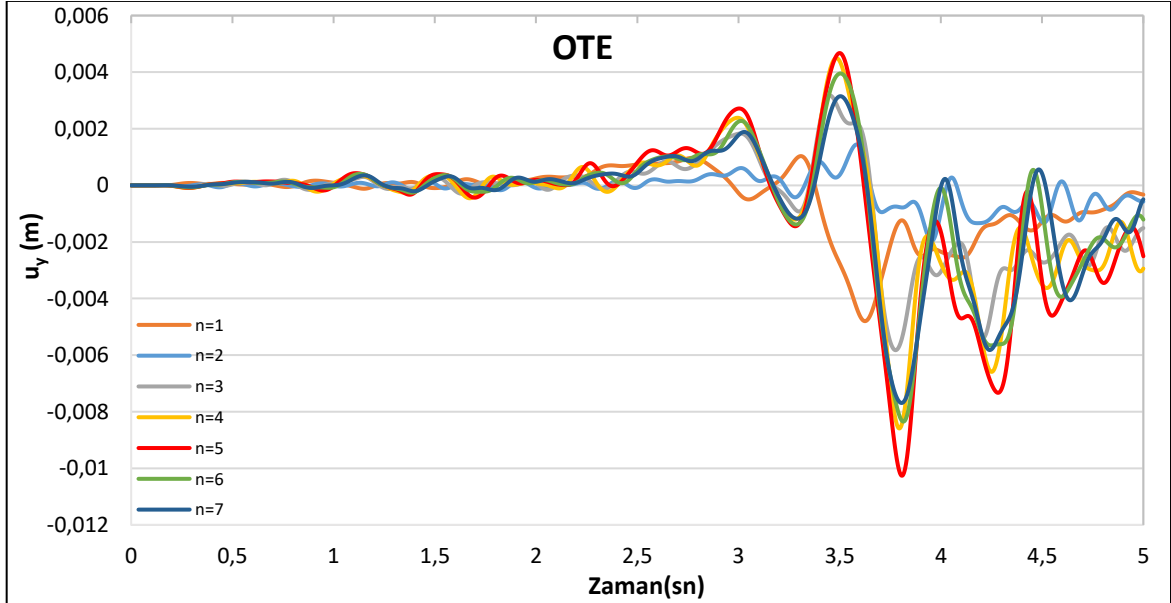


Şekil 3.32 : n katsayısına göre sayısal modelin boyutları

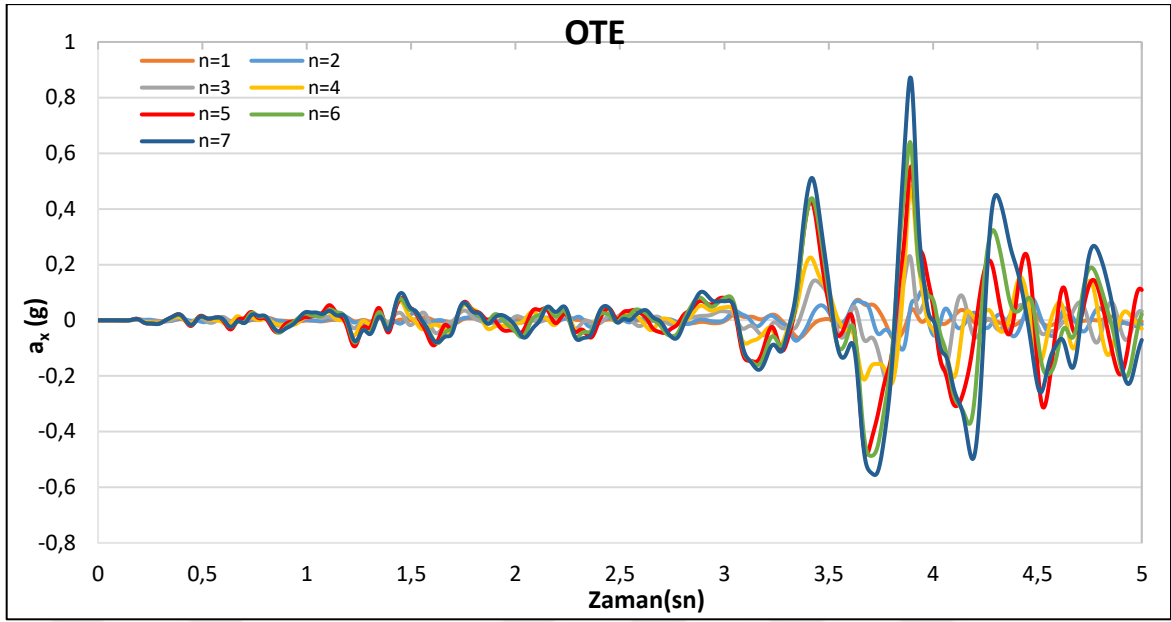
Modelin bir diğer karşılaştırma yöntemi, uzunluğundaki değişikliklerin PORT bölgesi için 32,4 metre, OTE bölgesi için 40,4 metre olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.3). Bu uzunluklar, Şekil 3.32'deki verilere göre PLAXIS programında modellenmeye başlanmıştır. Bu modeller, $n=1$ 'den $n=7$ 'ye kadar tek tek modeller oluşturularak analizler gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları grafiksel ve sayısal olarak kaydedilmiştir (Şekil 3.33-3.40).



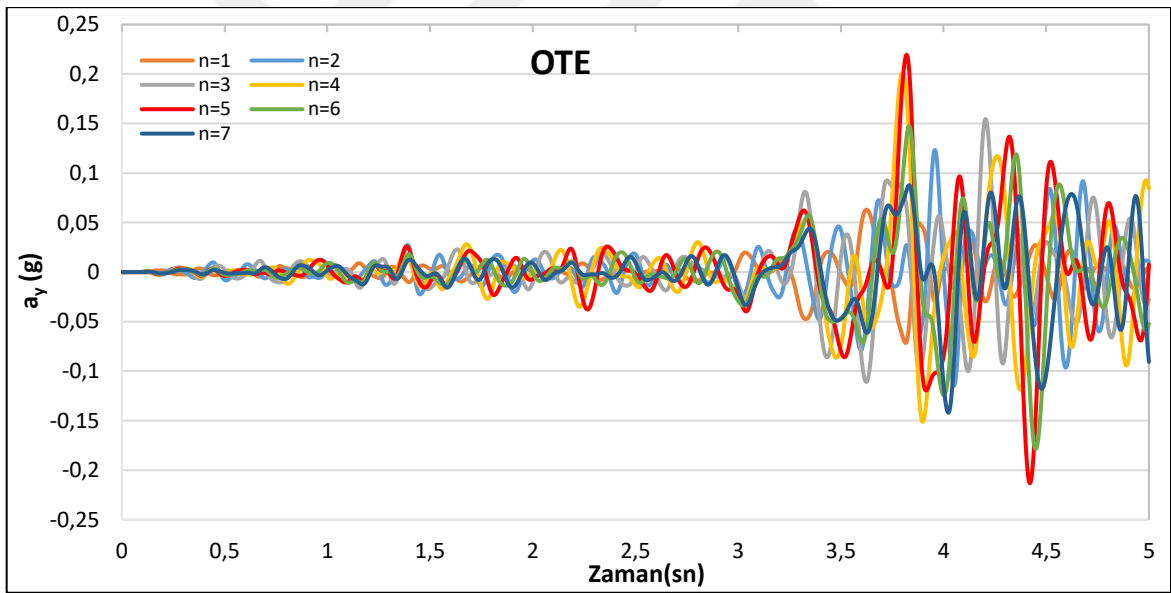
Şekil 3.33 : Egeion depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği n katsayısına göre



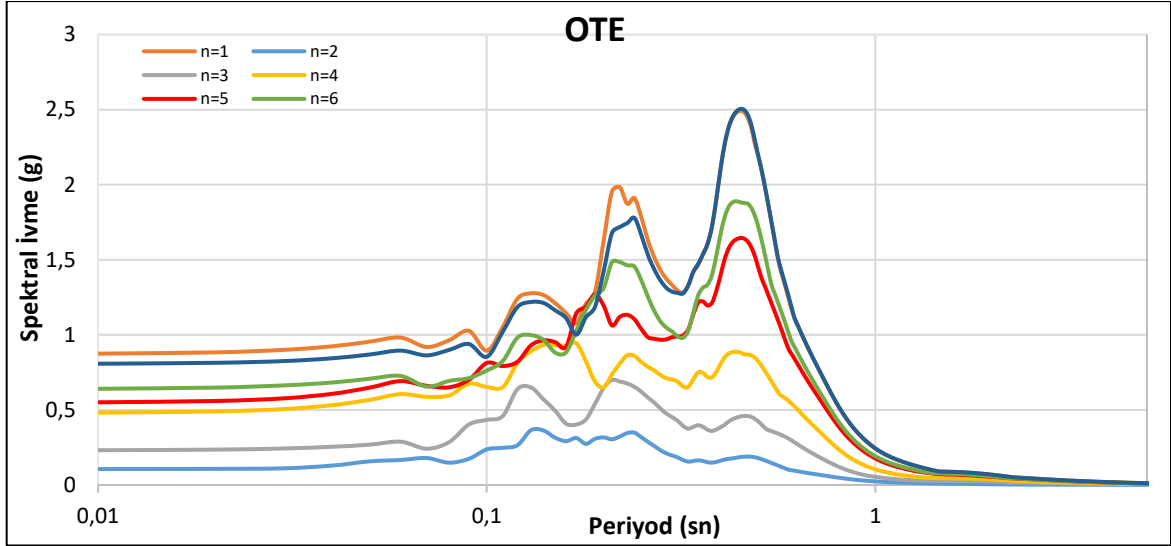
Şekil 3.34 : Egeion depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği n katsayısına göre



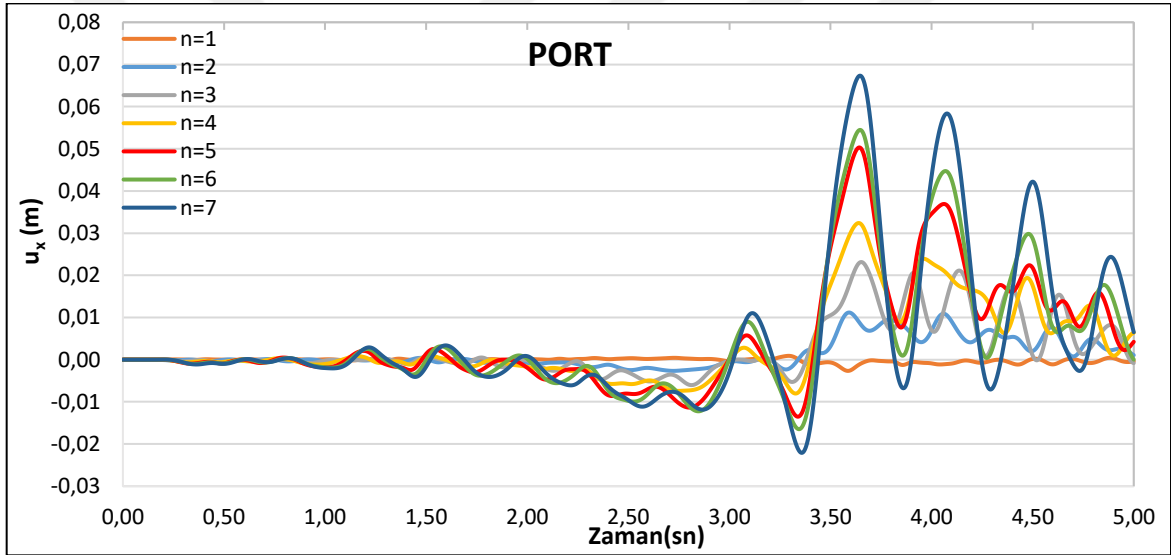
Şekil 3.35 : Egeion depremi OTE bölgesi ivme (a_x) grafiği n katsayısına göre



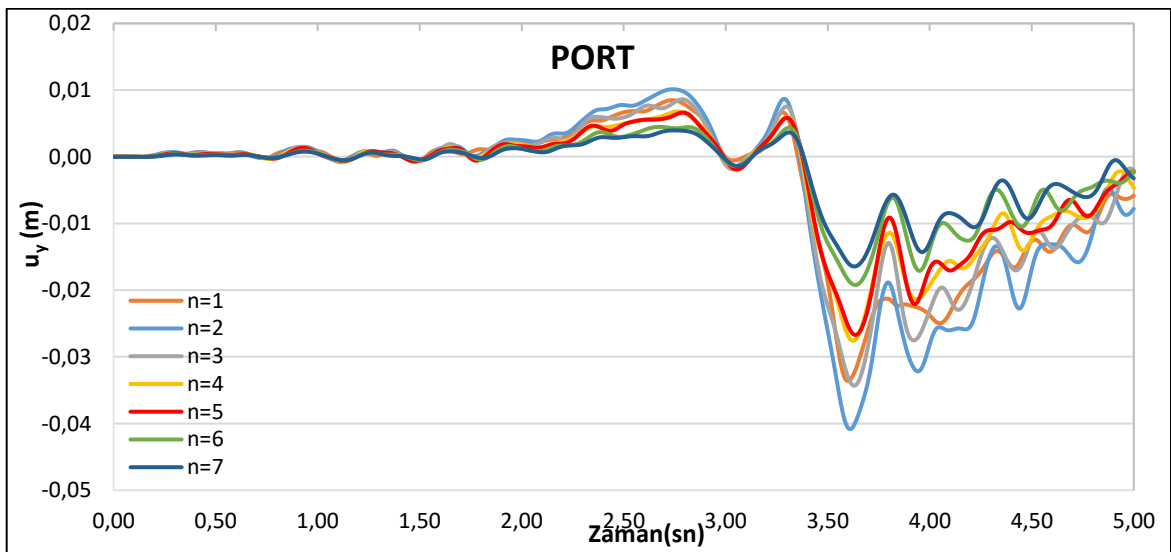
Şekil 3.36 : Egeion depremi OTE bölgesi ivme (a_y) grafiği n katsayısına göre



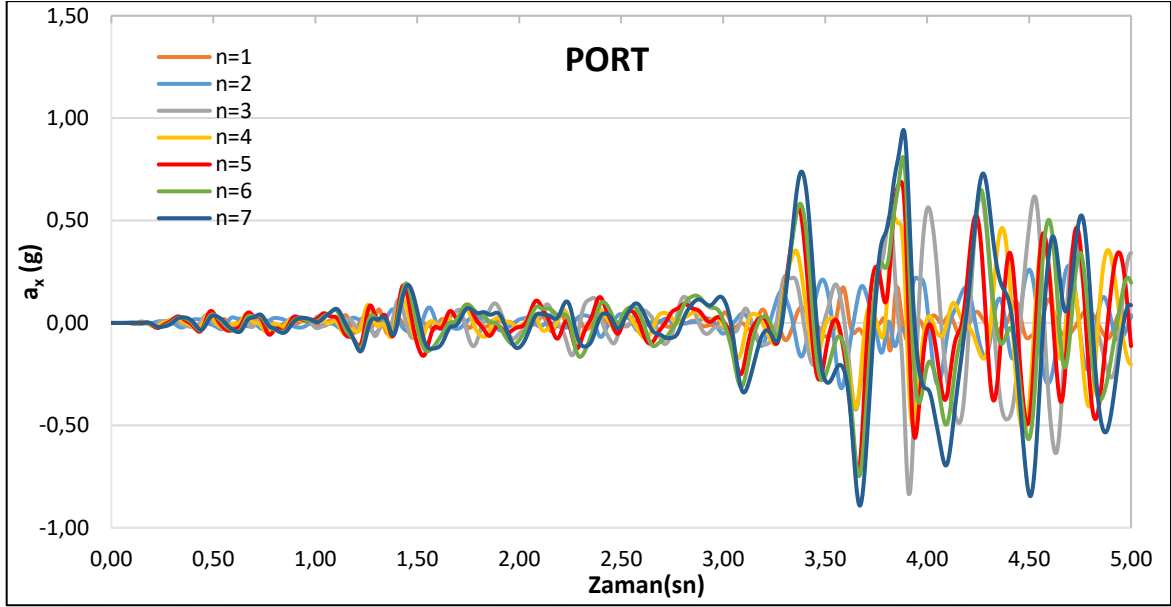
Şekil 3.37 : Egion depremi OTE bölgesi n katsayısına göre ivme davranış spektrum grafiği



Şekil 3.38 : Egion depremi PORT bölgesi n katsayısına göre yer değiştirme (u_x) grafiği

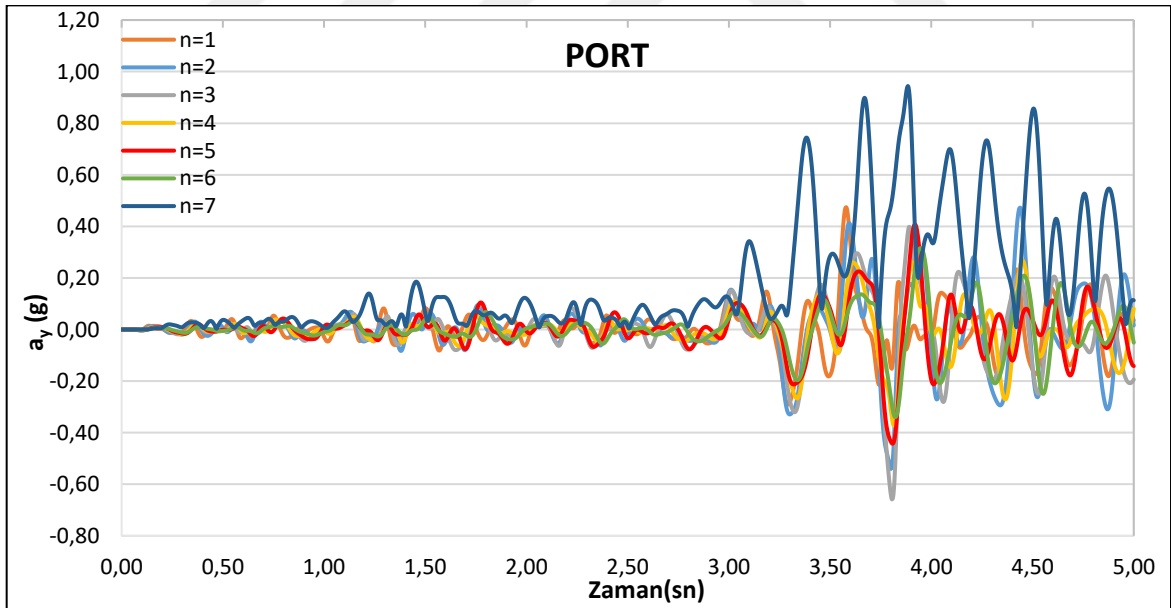


Şekil 3.39 : Egion depremi PORT bölgesi n katsayısına göre yer değiştirme (u_y) grafiği



Şekil 3.40 : Egeion depremi PORT bölgesi n katsayısına göre ivme (a_x) grafiği

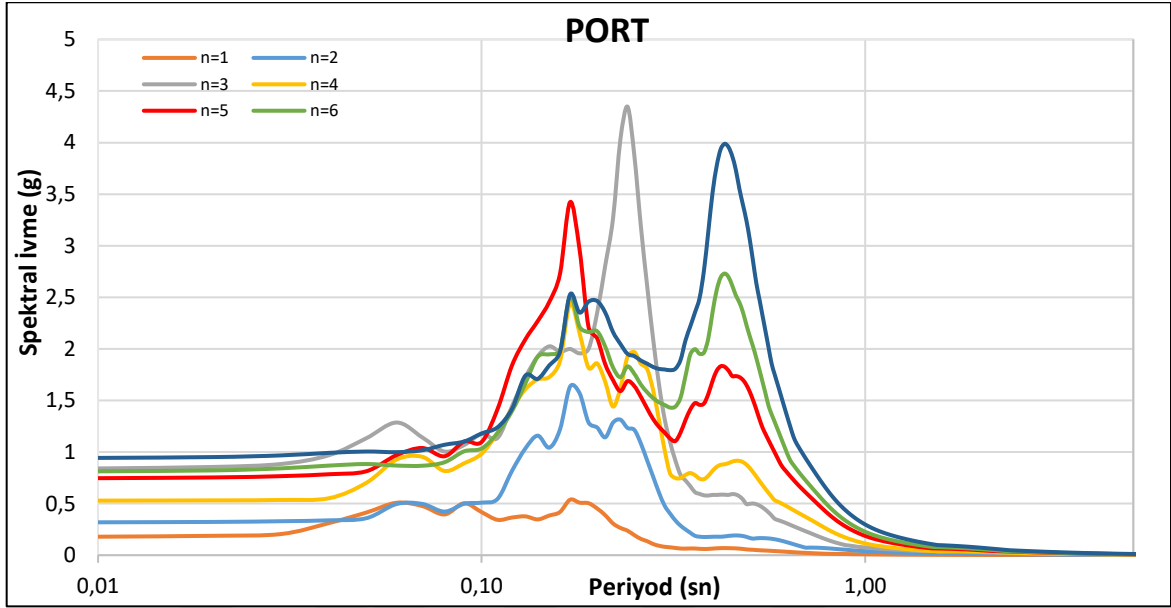
Athanasopoulos vd. (1999) tarafından PORT bölgesinin 2-D analizlerinde FLUSHPLUS programıyla yapılan analizlerde 0,54 g çıkmıştır. 2-D boyutlu PLAXIS programı yaptığımız analizlerde 0,17 g ile 0,94 g arasında ivme değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.41- 3.42).



Şekil 3.41 : Egeion depremi PORT bölgesi n katsayısına göre ivme (a_y) grafiği

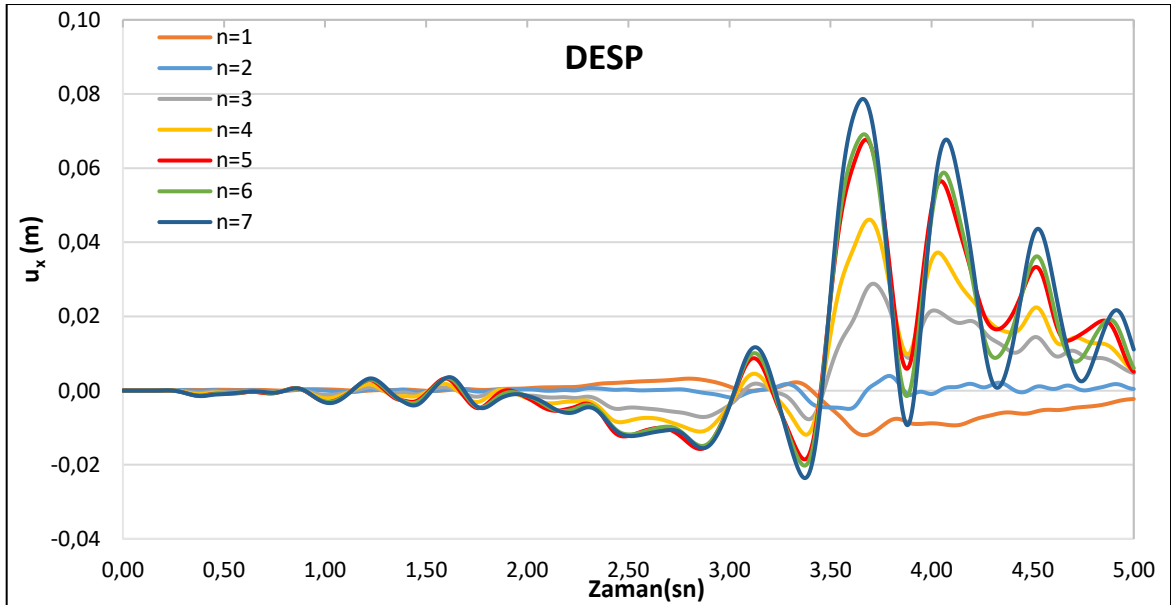
Athanasopoulos vd. (1999) çalışmalarında PORT bölgesinin %5 sönümlü spektral ivme değeri FLUSHPLUS programında 0,70 g ve baskın periyodu da 0,50 sn elde etmişlerdir. Şekil 3.42'deki PORT bölgesinde yapılan analizlerde elde edilen ivme davranış spektrum grafiğinde n=1 ile n=3 arası spektral ivme değerleri artış gösterirken daha sonra da

değişkenlik göstermiştir. Zemin hâkim periyodu 0,17 sn civarında seyrederken $n=6$ ve $n=7$ de 0,43 sn çıkmaktadır.

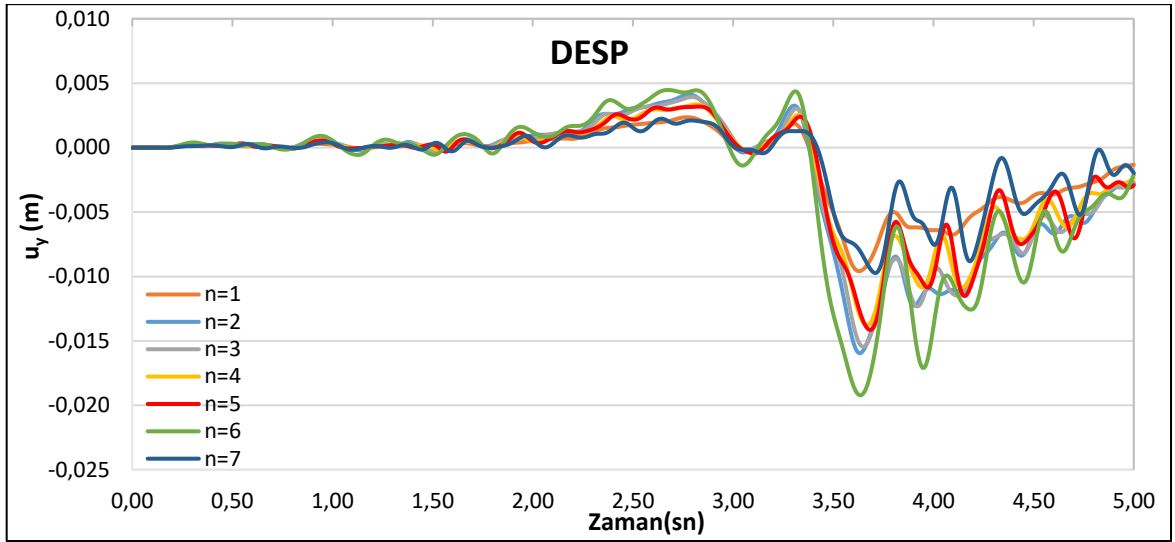


Şekil 3.42 : Egion depremi PORT bölgesi n katsayısına göre ivme davranış spektrum grafiği

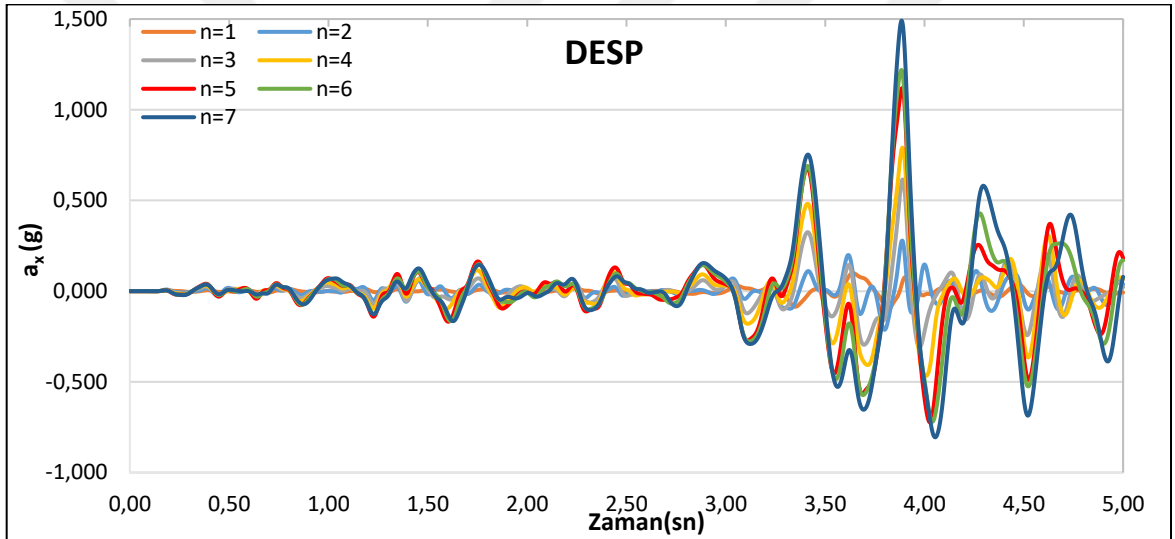
Egion depreminin DESP bölgesindeki $n=1-7$ arasında ortalama yatay yer değiştirmeleri 7 cm, düşey yönde de 1,6 cm civarında çıkmıştır (Şekil 3.43-3.44). Yatay yöndeki ivme değerleri 1,2 g, düşey yönde 0,35 g seviyesinde çıkmıştır (Şekil 3.45-3.46).



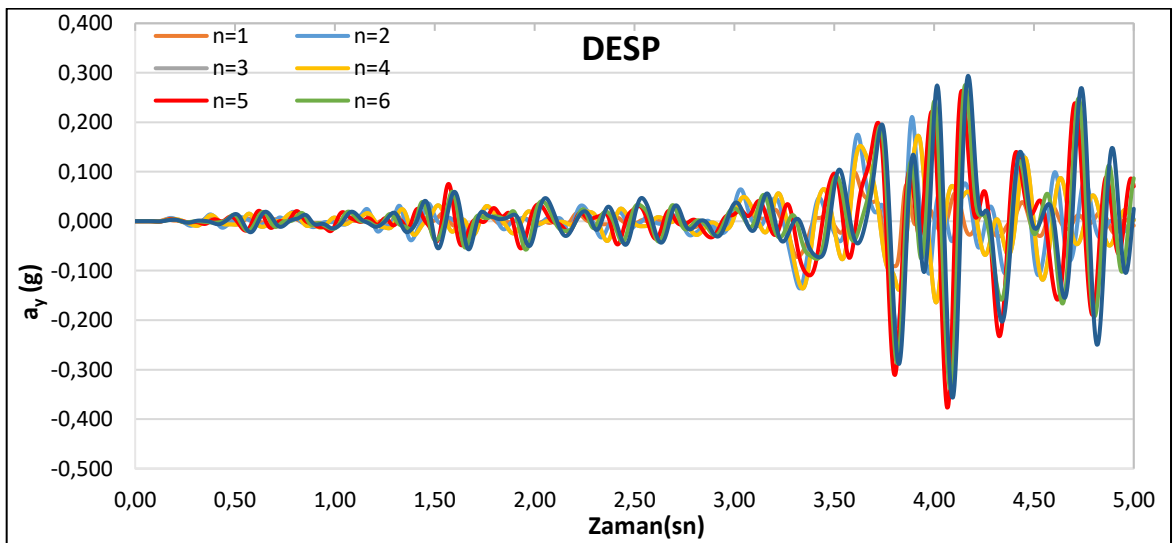
Şekil 3.43 : Egion depremi DESP bölgesi n katsayısına göre yer değiştirme (u_x) grafiği



Şekil 3.44 : Egeion depremi DESP bölgesi n katsayısına göre yer değiştirme (u_y) grafiği

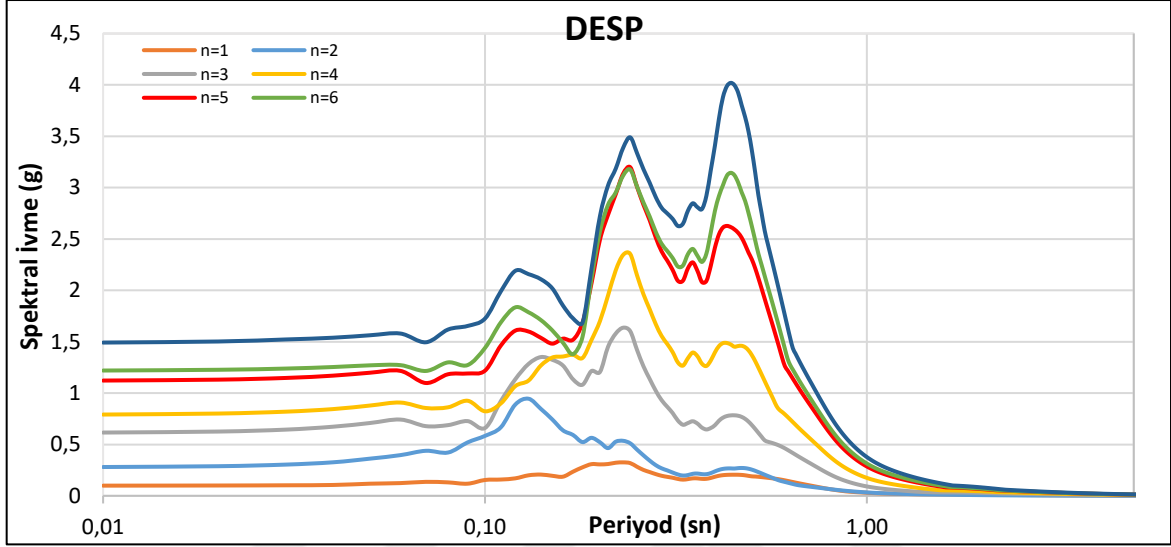


Şekil 3.45 : Egeion depremi DESP bölgesi n katsayısına göre ivme (a_x) grafiği



Şekil 3.46 : Egeion depremi DESP bölgesi n katsayısına göre ivme (a_y) grafiği

Athanasopoulos vd. (1999) tarafından DESP bölgesinin %5 sönümlü spektral ivme değeri FLUSHPLUS programında 0,25 g elde etmişlerdir. Şekil 3.47'deki DESP bölgesinde yapılan analizlerde elde edilen ivme davranış spektrum grafiğinde n=1 ile n=3 arası spektral ivme değerleri artış gösterirken daha sonra da değişkenlik göstermiştir. Zemin hâkim periyodu 0,17 sn civarında seyrederken n=6 ve n=7 de 0,43 sn çıkmaktadır.



Şekil 3.47 : Egion depremi DESP bölgesi n katsayısına göre ivme davranış spektrum grafiği
Görüldüğü üzere, Şekil 3.47'de n katsayısına bağlı olarak çizilen ivme davranış spektrum grafiği, yapılan analizler sonucunda Athanasopoulos vd. (1999) çalışmasında OTE bölgesindeki ivme kayıt istasyonundan elde edilen ivme değerine en yakın olan n=5 değeri için modelin kullanılmasına karar verilmiştir (Tablo 3.4). Bu modele göre analizlere devam edilmiştir.

Tablo 3.4: OTE, DESP ve PORT bölgesi maksimum ivme ve yer değiştirme tablosu (h=145-75m)

No	cinsi	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7
OTE	a _x	0,0738	-0,1053	-0,2290	0,4813	0,5402	0,6407	0,8721
	a _y	-0,0716	0,1231	0,1545	0,2008	0,2142	0,1788	-0,1419
	u _x	-0,0101	-0,0046	0,0212	0,0349	0,005514	0,0573	0,0657
	u _y	-0,0048	-0,0020	-0,0058	-0,0086	-0,0010	-0,0083	-0,0077
DESP	a _x	0,0994	0,2774	0,6159	0,7910	1,10926	1,2190	1,4920
	a _y	0,0981	-0,2122	0,1728	-0,2721	-0,3666	-0,3389	-0,3560
	u _x	-0,0120	-0,0049	0,0288	0,0461	0,067604	0,0691	0,0787
	u _y	-0,0096	-0,0159	-0,0154	-0,0138	-0,01413	-0,0108	-0,0097
PORT	a _x	0,1745	0,3189	-0,8350	-0,5286	-0,7309	0,8100	0,9426
	a _y	0,4738	-0,5404	-0,6584	-0,3731	-0,4319	-0,3393	0,2234
	u _x	-0,0027	0,0112	0,0231	0,0324	0,00502	0,0545	0,0673
	u _y	-0,0336	-0,0408	-0,0343	-0,0276	-0,0027	-0,0192	-0,0165

Rayleigh sönüm (α ve β) katsayılarını belirlemede kullanılan 1. yöntemde zeminin doğal periyoduna göre rayleigh sönüm katsayılarının hesaplanmasında zemin katmanlarının kalınlıkları (H_i) ve kayma dalgası hızları (V_{si}) (3.1) kullanılarak, o bölüm için eşdeğer bir kayma dalgası hızı (V_{se}) belirlenmiştir. Daha sonra, her bir kesit için eşdeğer kayma dalgası hızı (V_{sesd}), eşdeğer kayma dalgası hızları ve tabakaların ortalama kalınlıklarının (h_i) (3.2) kullanılmasıyla hesaplanmıştır. $4H/V_s$ oranıyla, bu eşdeğer kayma dalgası hızları ve belirlenen kesit kalınlıklarıyla zeminin birinci doğal titreşim periyodu belirlenmiş ve açısal frekansa çevrilmiştir. Bu açısal frekans değeri, bağıntı (3.3)'te birinci açısal frekans olarak belirlendi ve ikinci açısal frekans değeri olarak 10 Hz (Rathje, 2001) değeri kullanılmıştır. 10 Hz değeri her k katsayısında karşılık gelen zemin kesiti için sabit değer alınmıştır. Her k kesiti için Rayleigh sönüm katsayılarının elde edilmesinde kullanılan parametreler Tablo 3.5'te verilmiştir.

$$V_{se} = \frac{\sum (H_i \times V_{si})}{\sum H_i} \quad (3.1)$$

$$V_{sesd} = \frac{\sum (V_{se}) \cdot h_i}{\sum h_i} \quad (3.2)$$

Tablo 3.6'da birinci ve ikinci açısal frekanslar ile kabul edilen %5 sönüm oranı kullanılarak, (3.3) bağıntısından α ve β değerleri hesaplanıp her bir k kesiti için belirlenen Rayleigh sönüm katsayıları Tablo 3.6'da listelenmiştir.

$$\alpha = 2\xi \frac{\omega_i \omega_j}{\omega_i + \omega_j}, \quad \beta = 2\xi \frac{1}{\omega_i + \omega_j} \quad (3.3)$$

Tablo 3.5: OTE, DESP ve PORT bölgesi spektral ivme ve periyot tablosu (h=75-145m)

Spektral ivme	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7
OTE	0,2285	0,3647	0,6998	0,9442	1,645	1,8900	2,4920
Periyot	0,23	0,13	0,21	0,17	0,45	0,44	0,45
DESP	0,3274	0,9452	1,6360	2,3550	3,179	3,1770	4,0200
Periyot	0,23	0,13	0,23	0,24	0,24	0,24	0,44
PORT	0,5396	1,6340	4,3490	2,4410	3,396	2,7300	3,9880
Periyot	0,17	0,17	0,24	0,17	0,17	0,43	0,43

Tablo 3.6: 1.Metoda göre kullanılan parametreler (h=75-145m)

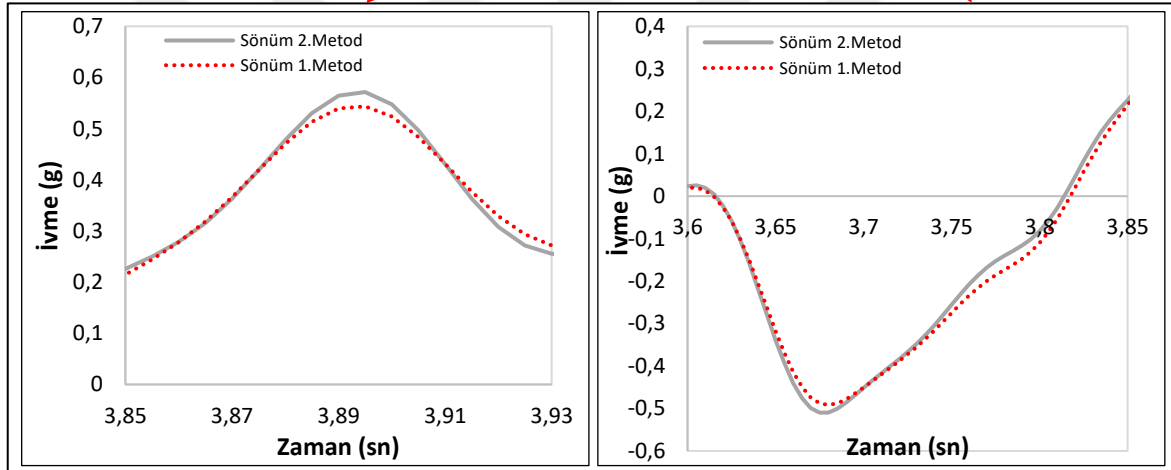
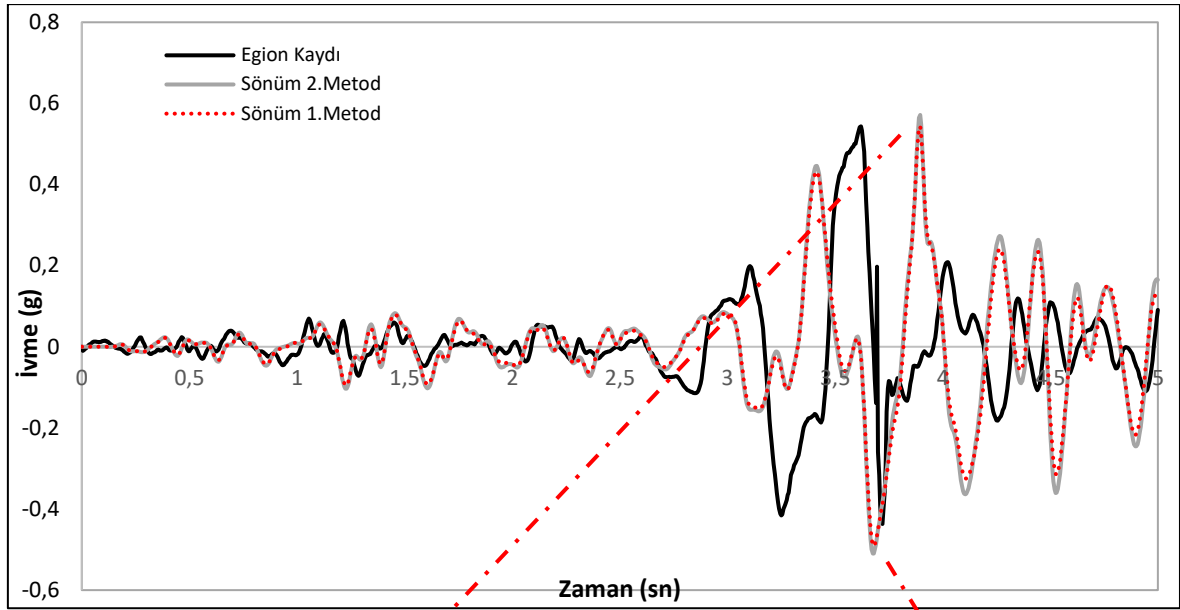
k	Eşdeğer Kayma Dalga hızı Vs esd	Ortalama Kalınlık Hort	Periyot (sn)	1. Frekans (Hz)	1.Açısal Frekans (rad/sn)	2. Frekans (Hz)	2.Açısal Frekans (rad/sn)	α	β
0,25	827,95	5,16	0,02	40,129181	252,14	10	62,83	5,0294033	0,000318
0,5	827,95	10,28	0,05	20,139439	126,54	10	62,83	4,1981707	0,000528
1	827,95	20,75	0,10	9,975679	62,68	10	62,83	3,1377082	0,000797
1,5	827,95	30,95	0,15	6,686983	42,02	10	62,83	2,518049	0,000954
2	827,95	41,05	0,20	5,042030	31,68	10	62,83	2,1061816	0,001058
2,5	827,95	51,32	0,25	4,033624	25,34	10	62,83	1,8058364	0,001134
3	827,95	60,88	0,29	3,399716	21,36	10	62,83	1,5942152	0,001188
4	827,95	80,23	0,39	2,579882	16,21	10	62,83	1,2885732	0,001265
5	827,95	103,15	0,50	2,006705	12,61	10	62,83	1,0501041	0,001326
6	827,95	120,32	0,58	1,720259	10,81	10	62,83	0,9222467	0,001358
7	827,95	135,44	0,65	1,528310	9,60	10	62,83	0,8329392	0,001381
8	827,95	152,56	0,74	1,356806	8,53	10	62,83	0,750635	0,001401
k= 5 için n katsayısına göre									
1	827,95	103,15	0,50	2,006676	12,61	10	62,83	1,0501041	0,001326
2	827,95	103,15	0,50	2,006676	12,61	10	62,83	1,0501041	0,001326
3	827,95	103,15	0,50	2,006676	12,61	10	62,83	1,0501041	0,001326
4	827,95	103,15	0,50	2,006676	12,61	10	62,83	1,0501041	0,001326
5	827,95	103,15	0,50	2,006676	12,61	10	62,83	1,0501041	0,001326
6	827,95	103,15	0,50	2,006676	12,61	10	62,83	1,0501041	0,001326
7	827,95	103,15	0,50	2,006676	12,61	10	62,83	1,0501041	0,001326

İkinci yöntemde, her bir katman için hesaplanan açısal frekans değerleri hesaplanır. Birinci açısal frekansta (ω_i), %2 sönüm oranı ve ikinci açısal frekanslar ile kabul edilen %4,5 sönüm oranı (ξ) kullanılarak, (3.3) bağıntısından Rayleigh sönüm katsayıları α ve β değerleri hesaplanmıştır. Her bir k kesiti için belirlenen Rayleigh sönüm katsayıları Tablo 3.7'de listelenmiştir.

Tablo 3.7: 2.Methodda kullanılan parametreler (h=75-145m)

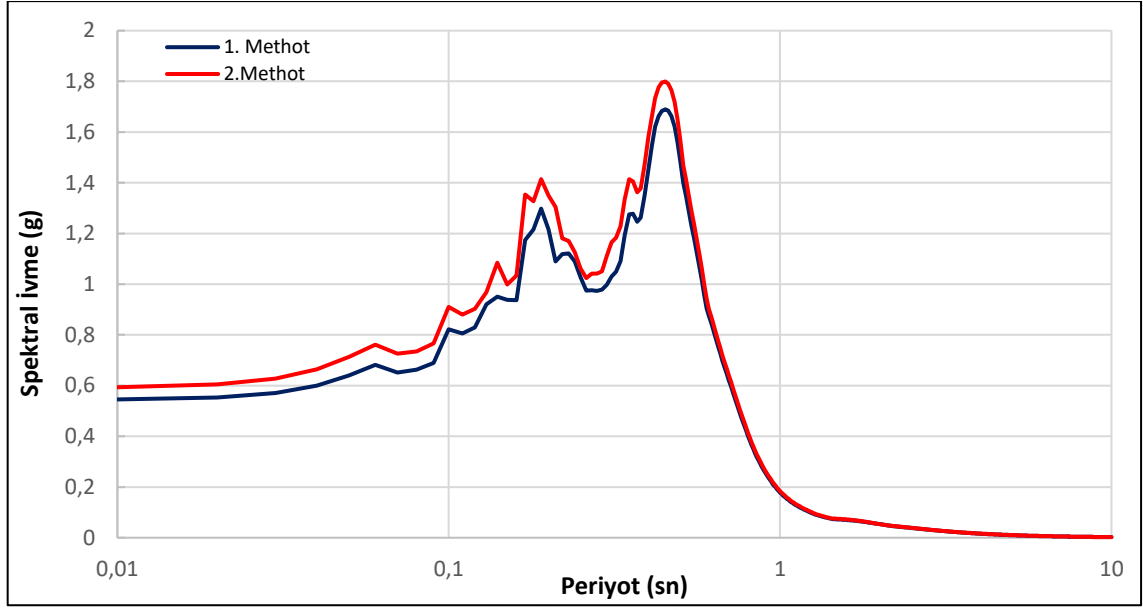
Zemin	Vs	h	α	β
T1	290	15	0,3416	0,000946698
T2	440	20	0,3888	0,000831946
T3	500	20	0,4418	0,000732113
T4	700	20	0,6185	0,000522938
T5	400	25	0,2827	0,001143926
T6	1000	45	0,3927	0,000823627
T7	1200	75	0,2827	0,001143926

Yapılan analizlerde hesaplanan (α ve β) değerleri için, hesaplanan 1. yöntemde 0,543 g ve 2. yöntemde 0,571 g olarak bulunmuştur. Athanasopoulos vd. (1999) çalışmasında belirtilen ivme kayıt istasyonundan elde edilen 0,54 g değeri, 1. yöntemde elde edilen değerle birebir uyum sağlamaktadır. Buna göre analizlerde kullanılan yöntemin kullanılmasının daha uygun olduğu anlaşılmıştır (Şekil 3.48).



Şekil 3.48 : Sönüm metotlarına göre kıyaslama (h=75-145m)

Şekil 3.49’de görüldüğü gibi 1.metod analizlerde spektral ivme değeri 1,689 g iken hâkim periyodu 0,45 sn civarındadır. 2.metod spektral ivme değeri 1,799 g ve hâkim periyodu 0,45 sn’dir. Athanasopoulos vd. (1999) çalışmasında bulunan zemin hâkim periyodu ile 1,5 g seviyelerine yakın spektral ivme değeriyle uyumlu çıkmıştır. Analizler de sönüm oranına göre en yakın çıkan ivme ve spektrum ivme sonuçlara göre 1.metod verileri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 3.49 : Sönüm metotlarına göre spektral ivme kıyaslama

Çeşitli araştırmacılar, farklı açısal frekansta sayısal modellere uygulanan dalga boylarının ortamın şekil değiştirme biçimini yeterince hassas bir şekilde temsil edebilmesi için sonlu eleman boyutunun dikkatli bir şekilde seçilmesi gerektiğini vurgulamışlardır (Çelebi vd., 2012). Sayısal modelin sonuçlarının tutarlılığı ve doğruluk seviyesi, kullanılan eleman boyutunun, ortamın minimum dalga boyuna olan (λ) (dalga boyunun uzunluğu) göre belirlendiği bir (Δh) maksimum değerine bağlıdır (3.4).

$$\Delta h \leq \frac{\lambda_{min}}{k} = \frac{v_j}{kf_{max}} \quad (3.4)$$

Formülün içindeki;

λ : dalga boyu

v : kayma dalga hızı

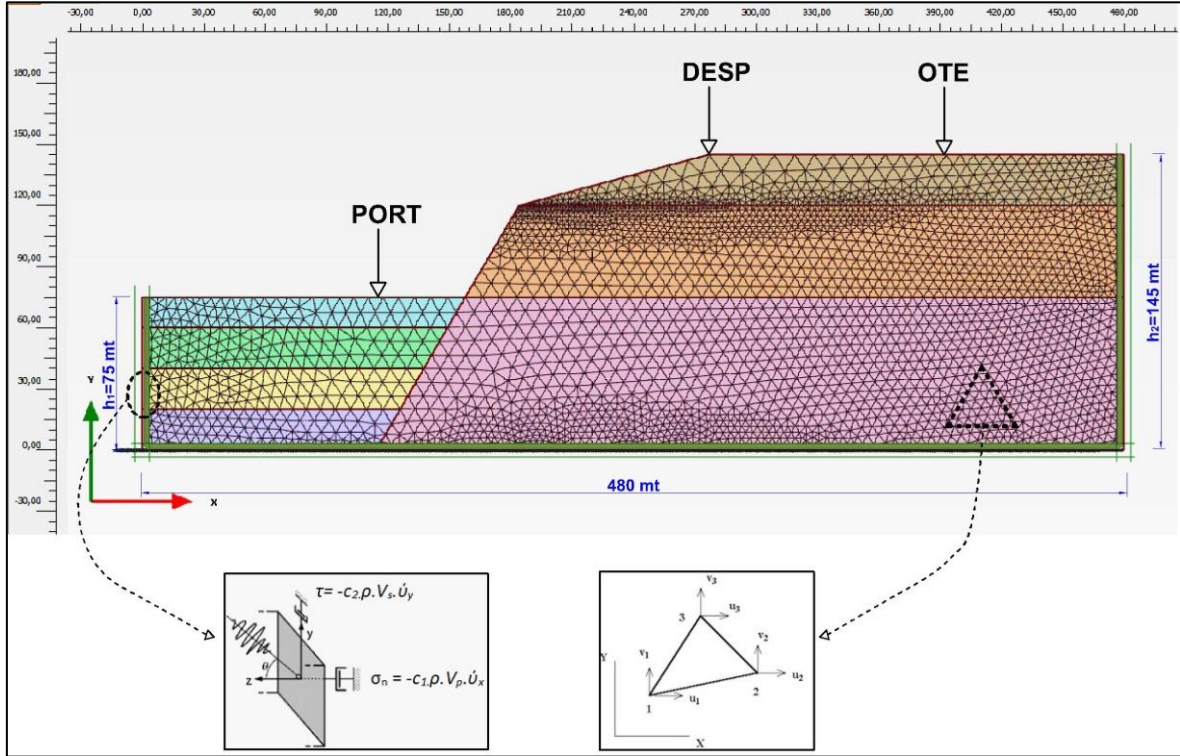
f_{max} : Fourier frekansının max değeri

Δh : model sıklığına göre değişmektedir.

k: çarpanı sonlu eleman modeline göre $5 \leq k \leq 10$ arasında değişmektedir.

Sonsuza uzanan lineer elastik yarı uzay zeminin parçalara ayrılması, yayılan dalga türünün boyu (λ) tarafından kontrol edilen maksimum sonlu eleman boyutları veya nod aralıkları ile sağlanır. Kullanılan sonlu eleman boyutunun, çalışmada ele alınan dalga yayılma hızı ve dış yükün titreşim frekans aralığını belirlemesi nedeniyle, daha az sayıda sonlu eleman

kullanımı, ayırıklaştırılan bölgenin boyutunu kısıtlayacaktır. Bu durumda, modelin kesim noktalarında uygun yapay sınır koşullarının tanımlanması, sınır koşullarının dalga yayılma mekanizmasının doğruluğunu artıracaktır (Çelebi vd., 2012). Bu nedenle k çarpanını maksimum değeri ve frekansın da maksimum değeri alınarak model sıklığı değerini 2,9 m'den daha küçük alınarak analizler yapılmıştır (Tablo 3.8). Çalışma kapsamında modellenen PORT-OTE kesitinin iki boyutlu sonlu eleman ağı gösterimi Şekil 3.50'de sunulmuştur.



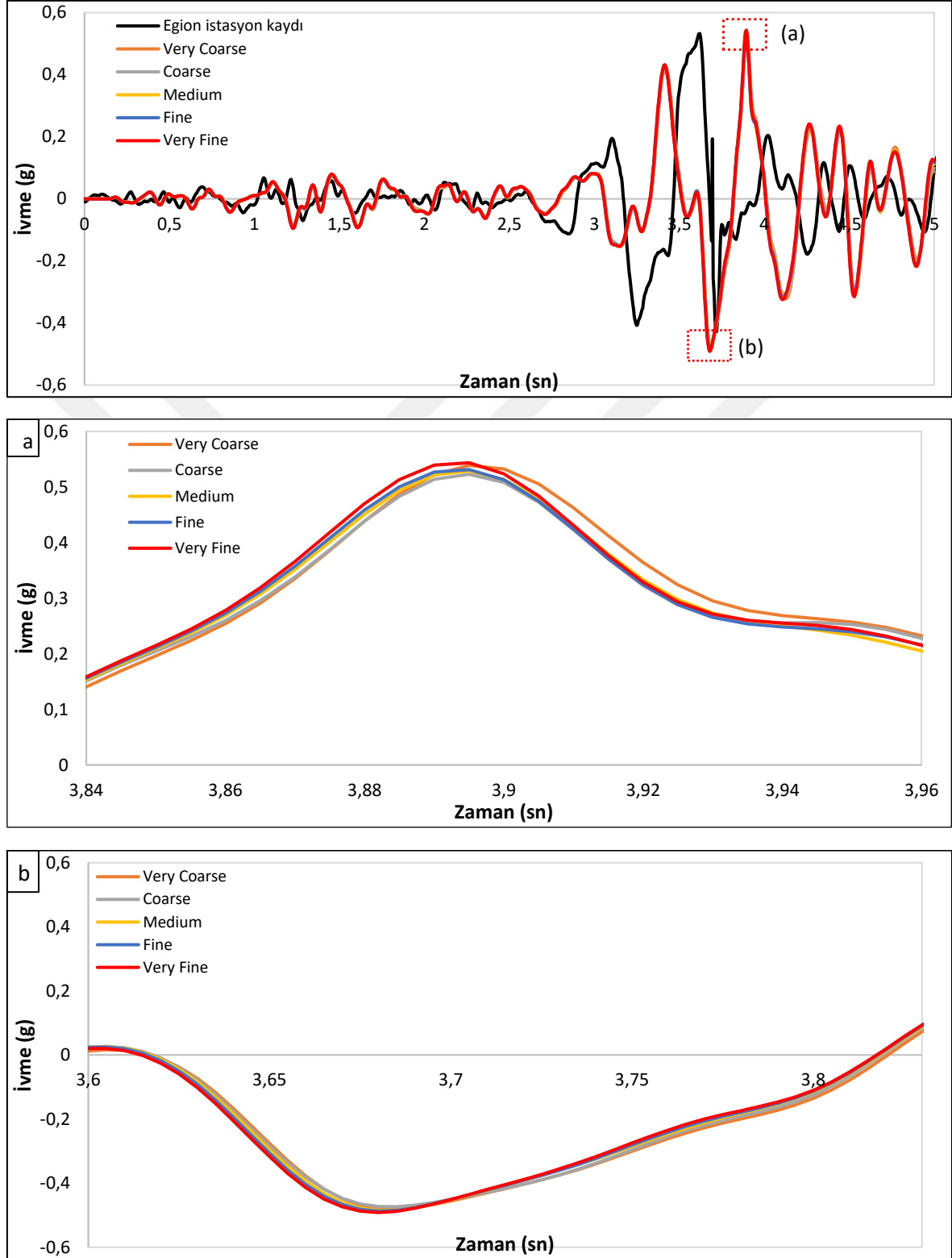
Şekil 3.50 : Ova-tepe modeli için sonlu eleman ağı gösterimi

Tablo.3.8: Sonlu eleman modelindeki farklı mesh sıklıklarına bağlı kullanılan bazı parametreler

Bölgesi	Açıklama	Very Coarse	Coarse	Medium	Fine	Very Fine
PORT	Eleman boyutu (Δh , metre)	15.685	10.348	7.772	5.188	1.661
OTE	Eleman boyutu (Δh , metre)	20.684	14.227	10.594	7.116	2.213
PORT-OTE	Eleman Sayısı	650	1402	2488	5407	48912

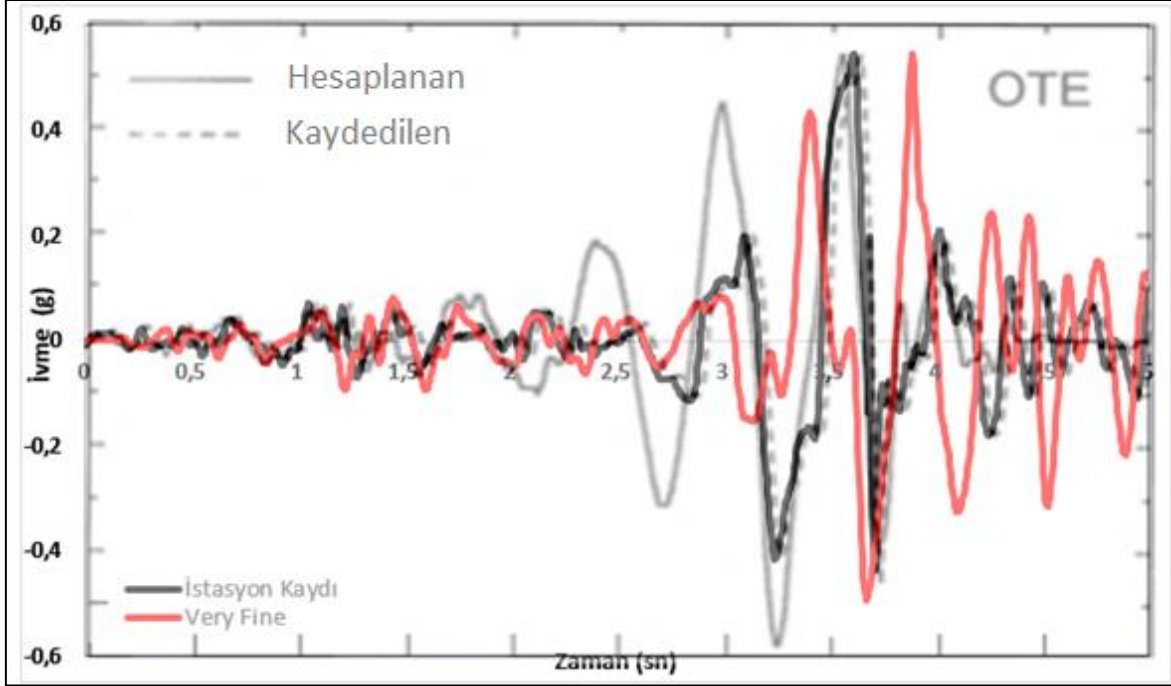
Tablo 3.8'de farklı mesh sıklıklarına göre yapılan analizler sonucunda, very coarse, coarse, medium, fine ve very fine'e göre mesh eleman sayısı ve Δh değerleri ayrı ayrı analiz edilmiş ve bu analizler Şekil 3.51'de karşılaştırmalı olarak grafikte gösterilmiştir. Bu karşılaştırmada

da Athanasopoulos vd. (19j99) tarafından belirtilen ivme kayıt istasyonundan elde edilen değere en uyumlu sonuçlar very fine mesh sıklığında elde edilmiştir.



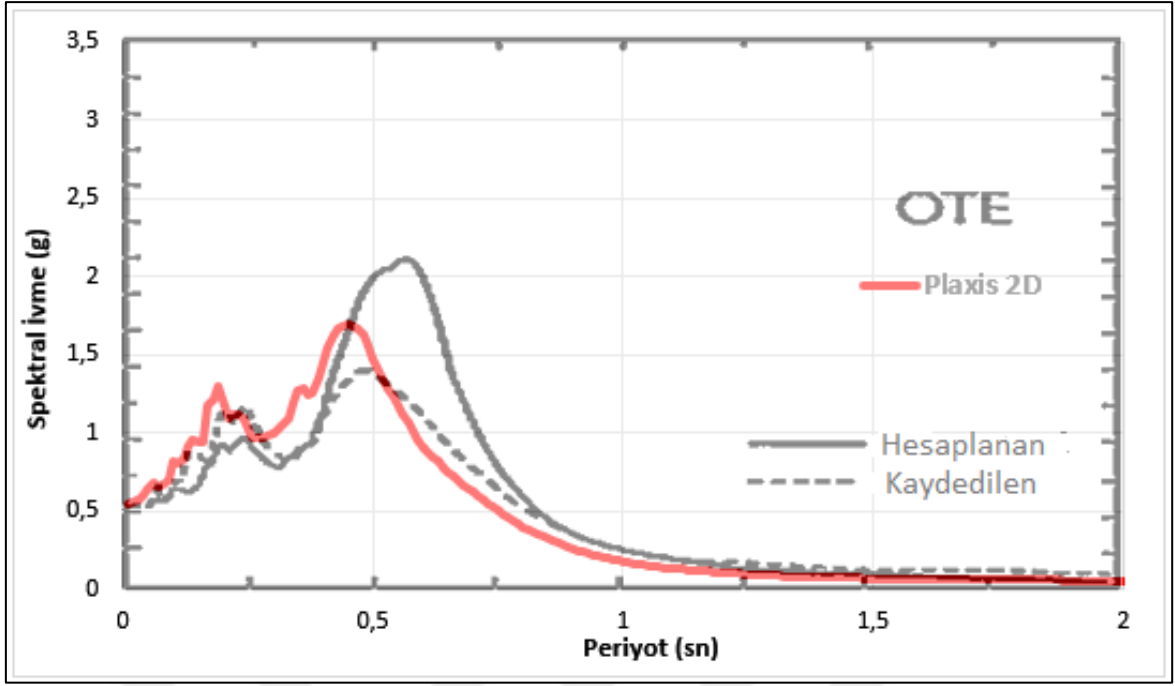
Şekil 3.51 : Farklı mesh sıklıklarına göre kıyaslama

Egion depremi için PLAXIS programında OTE bölgesinde elde ettiğimiz en uyumlu sonuçlar, Athanasopoulos vd. (1999) tarafından oluşturulan grafiğin ivme-zaman karakteristiği ile very fine ağ yoğunluğundaki verilerin karşılaştırılmasıyla elde edilmiştir. Bu bulgular, kayıt istasyonundan elde edilen verilerle de uyumlu sonuçlar göstermektedir (Şekil 3.52).



Şekil 3.52 : OTE bölgesinde kaydedilen ve hesaplanan ivme-zaman analiz sonuçları kıyası

Athanasopoulos vd. (1999) tarafından gerçekleştirilen çalışmada OTE bölgesindeki kayıt istasyonundan alınan ve eşdeğer lineer FLUSHPLUS hesaplanan spektral ivme grafikleri ile 2-D sonlu eleman modeli analizleri sonucunda elde edilen değerler, 1,68 g seviyesinde uyumlu sonuçlar göstermektedir (Şekil 3.53).



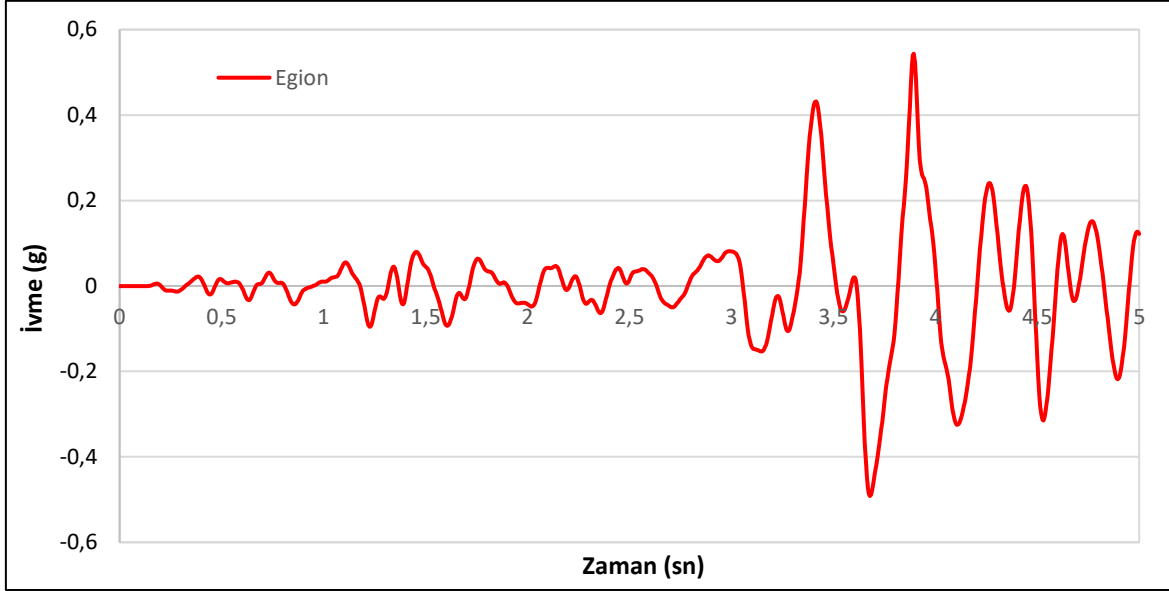
Şekil 3.53 : OTE bölgesinde kaydedilen ve hesaplanan spektral ivme analiz sonuçları

3.2.2. Serbest Zemin Titreşim Hareketlerin Değerlendirilmesi

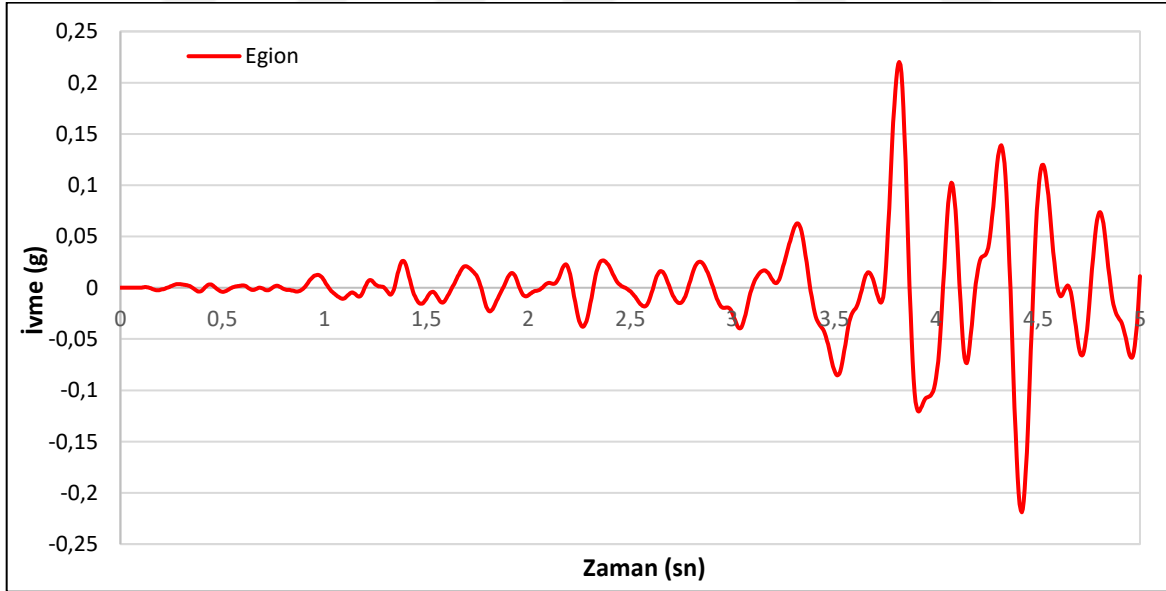
Ülkemizin geniş bir bölümü deprem riski taşıyan bir coğrafyada bulunmaktadır. Bu nedenle, üstyapıdaki titreşim hareketlerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi ve zemin özelliklerine bağlı olarak uygun yapı sistemlerinin tasarlanması, mühendisliğin öncelikli konularından biridir. Günümüzde, dinamik dış etkiler altında kritik yapı sistemlerinin etkileşimini daha iyi anlamak ve tam güvenliğini sağlamak amacıyla sayısal çözüm yaklaşımlarına dayalı simülasyon uygulamaları giderek artan bir önem kazanmaktadır. Bu simülasyonlar, çeşitli bilgisayar programları aracılığıyla gerçekçi sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayarak, çeşitli problemlerin çözümüne katkıda bulunmaktadır.

Zemin titreşim hareketlerinin değerlendirilmesi, genellikle jeofiziksel ve jeoteknik tekniklerle gerçekleştirilen ölçüm ve analizleri içerir. Bu süreç, yer hareketlerinin seviyesini, frekansını, amplifikasyonunu ve diğer özelliklerini belirlemek için kullanılan yöntemleri kapsar. Ayrıca, zeminin sismik davranışının modellenmesi, deprem mühendisliği ve yapısal dinamiklerde kullanılan çeşitli sayısal yöntemlerle birlikte incelenir. Bu çalışmada, dört farklı depremin 2 boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle analizi gerçekleştirilmiş ve yer değiştirmeler ile ivme-zaman geçmişi elde edilmiştir.

Şekil 2.11’de gösterilen Egon depreminin anakayadan 0,14 g alınarak yapılan analizlerde çıkan sonuçlar; OTE bölgesindeki x yönündeki maksimum pik ivmesi 0,543 g (Şekil 3.54), Şekil 3.55’te y yönünde 0,220 g olarak elde edilmiştir. Bu nedenle Athanasopoulos vd. (1999) çalışmasında ivme kayıt istasyonlarından alınan verilerle uyum sağlamıştır.

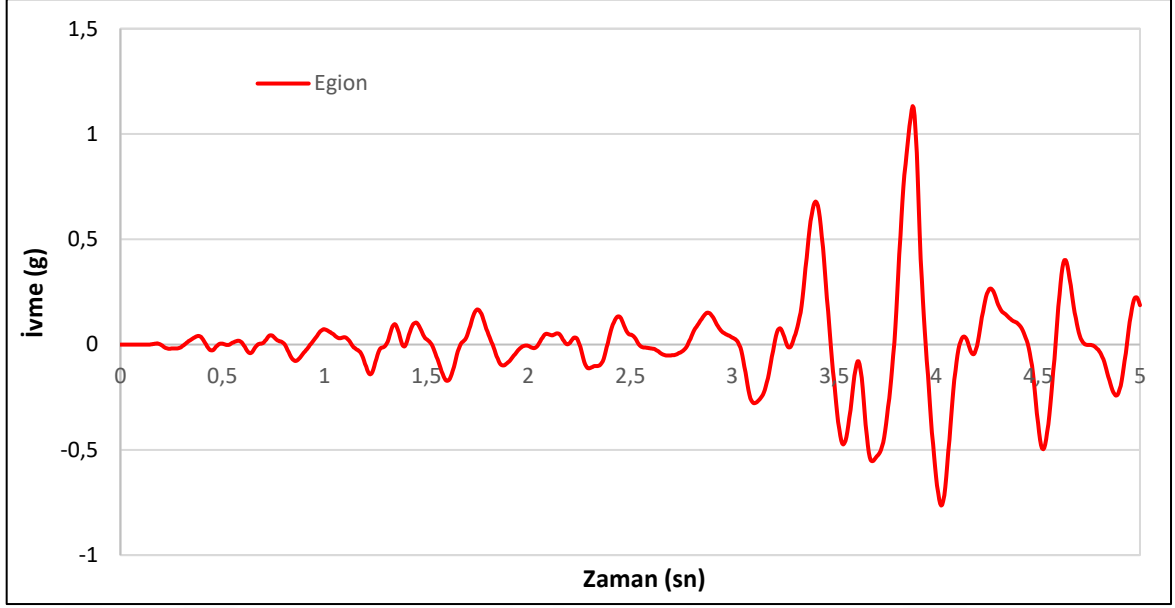


Şekil 3.54 : Egon depremi OTE bölgesi ivme (a_x) grafiği

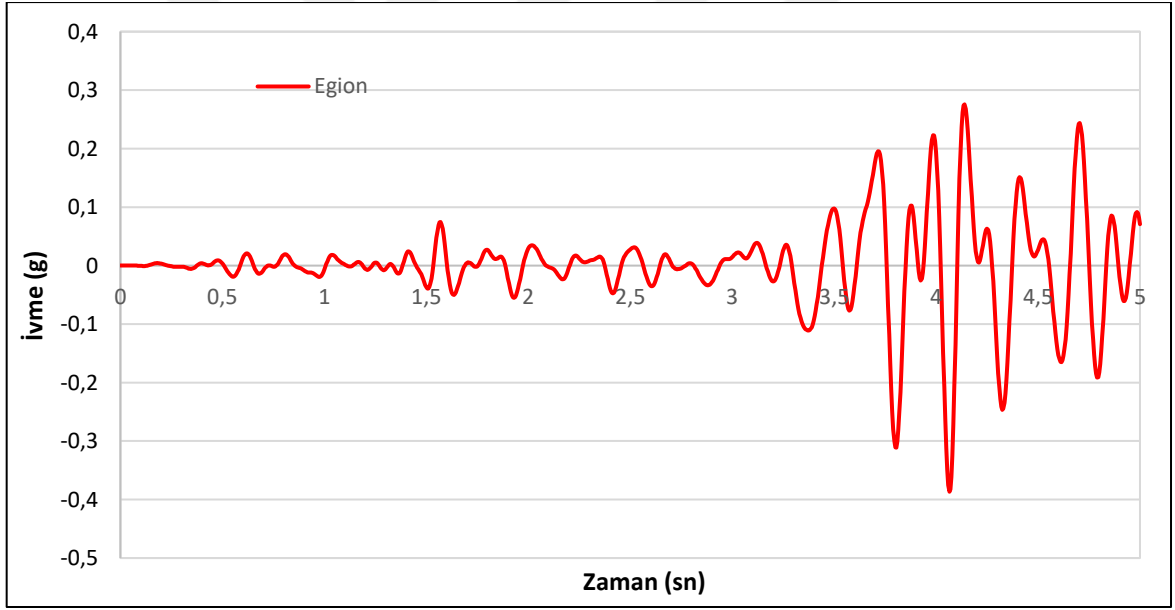


Şekil 3.55 : Egon depremi OTE bölgesi ivme (a_y) grafiği

Şekil 2.11’de gösterilen Egon depreminin anakayadan 0,14 g alınarak yapılan analizlerde çıkan sonuçlar; Şekil 3.56’da DESP bölgesindeki x yönündeki maksimum pik ivmesi 1,133 g, y yönünde 0,386 g olarak elde edilmiştir (Şekil 3.57). Bu da topoğrafya etkisini açıkça göstermektedir.

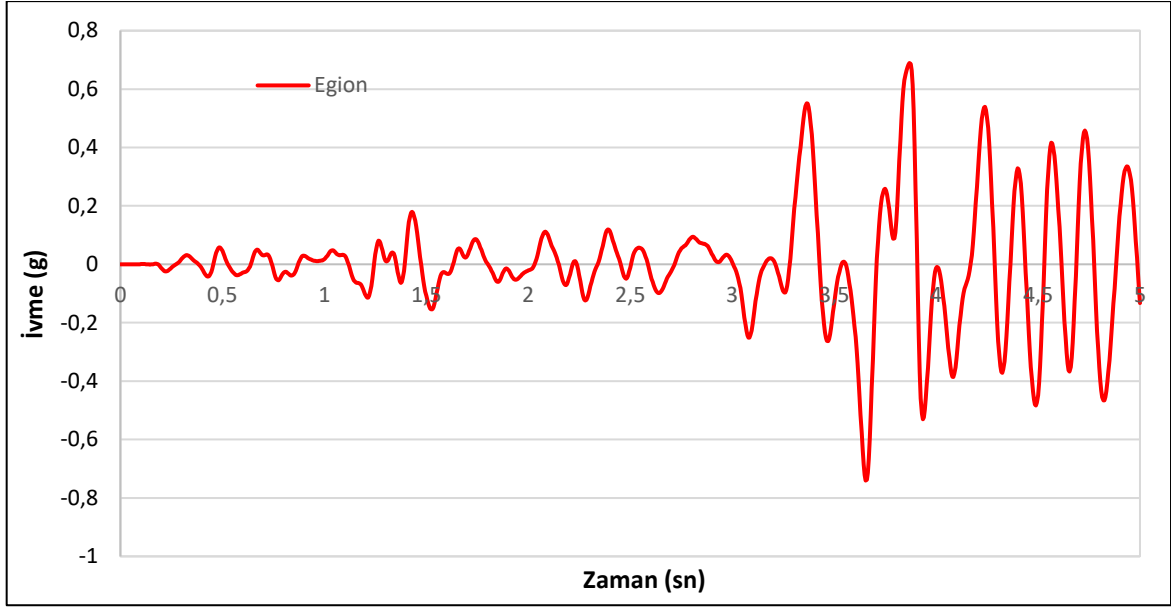


Şekil 3.56 : Egeion depremi DESP bölgesi ivme (a_x) grafiği

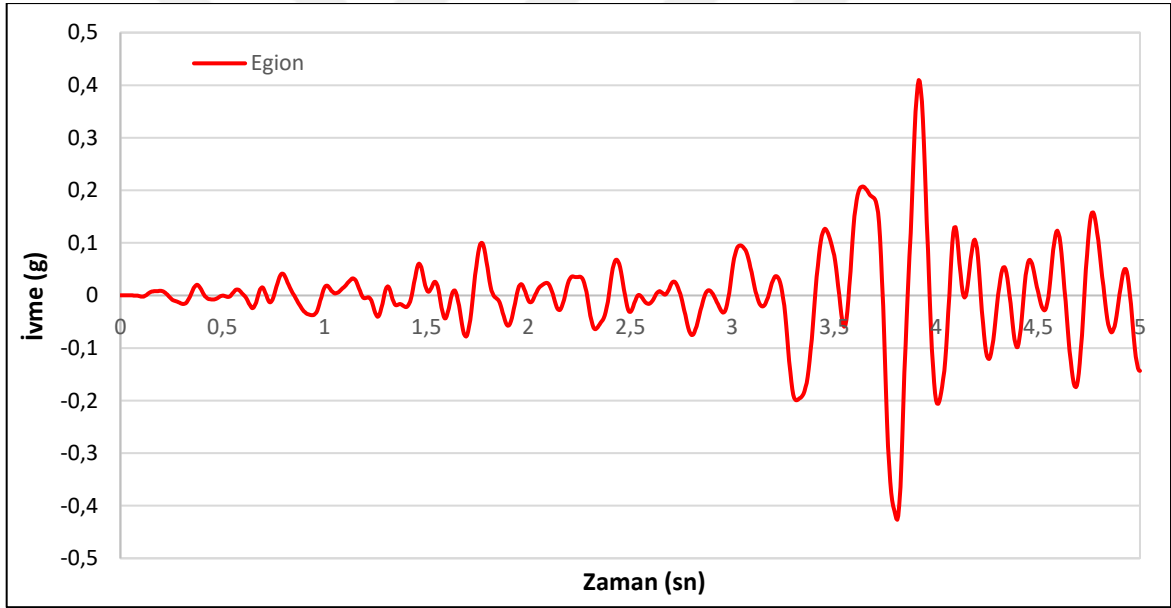


Şekil 3.57 : Egeion depremi DESP bölgesi ivme (a_y) grafiği

Ölçeklendirilmiş Egeion depreminin anakayadan uygulanarak yapılan analizlerde çıkan sonuçlar; Şekil 3.58’de PORT bölgesindeki x yönündeki maksimum pik ivmesi 0,74 g, y yönünde 0,426 g olarak elde edilmiştir (Şekil 3.59). Athanasopoulos vd. (1999) çalışmasında PORT bölgesinde x yönünde çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre 3 kat daha yüksek ivme elde edilmiştir.

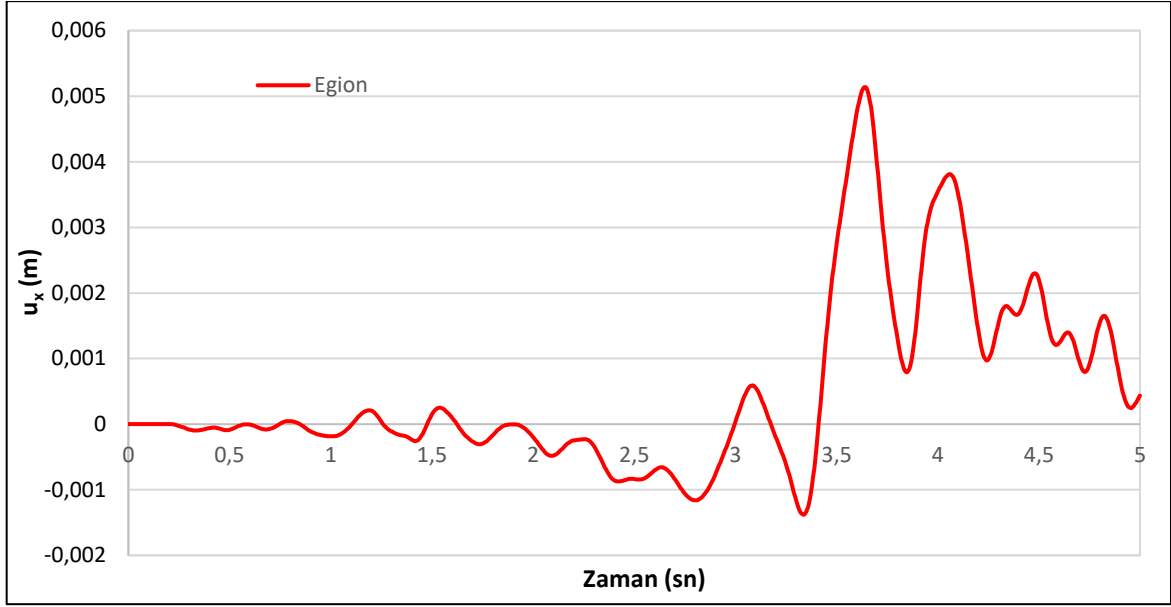


Şekil 3.58 : Egiyon depremi PORT bölgesi ivme (a_x) grafiği

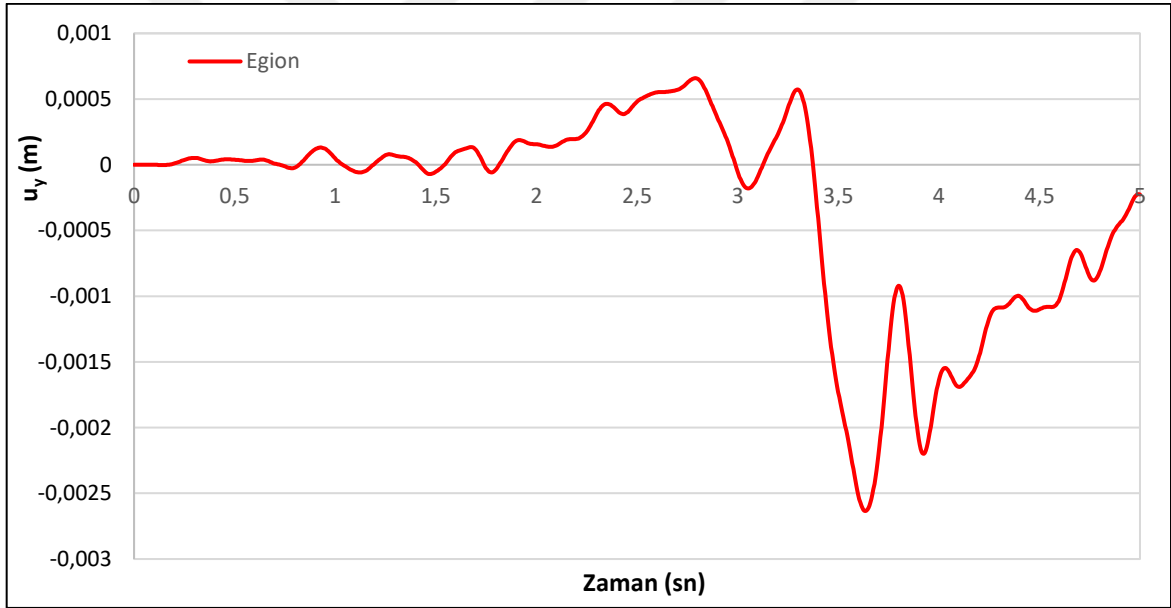


Şekil 3.59 : Egiyon depremi PORT bölgesi ivme (a_y) grafiği

Aşağıda sunulan 2-D sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan Egiyon depremi analizlerinin sonuçları, zemin tepkisi üzerinde önemli bir yüzey topografyası etkisinin olduğunu göstermektedir. Ancak, PORT bölgesindeki zeminde meydana gelen maksimum yer değiştirmeleri, x yönünde 5,141 mm ve y yönünde 2,635 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.60-3.61). Bu, PORT bölgesindeki hasarın azlığını desteklemekte ve yapılan çalışmayı doğrulamaktadır.

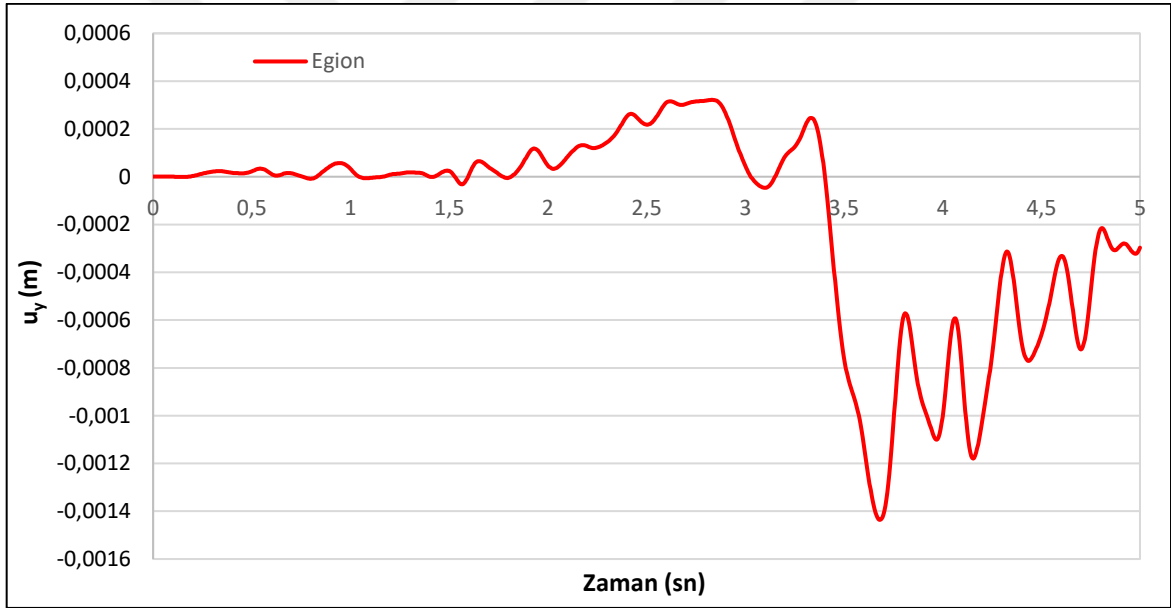
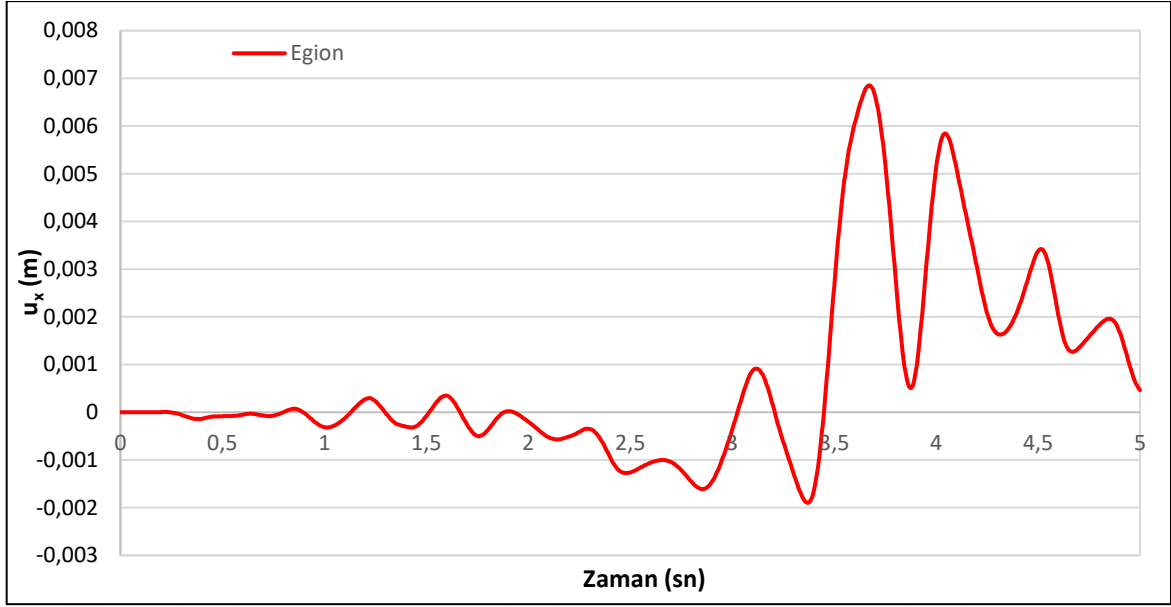


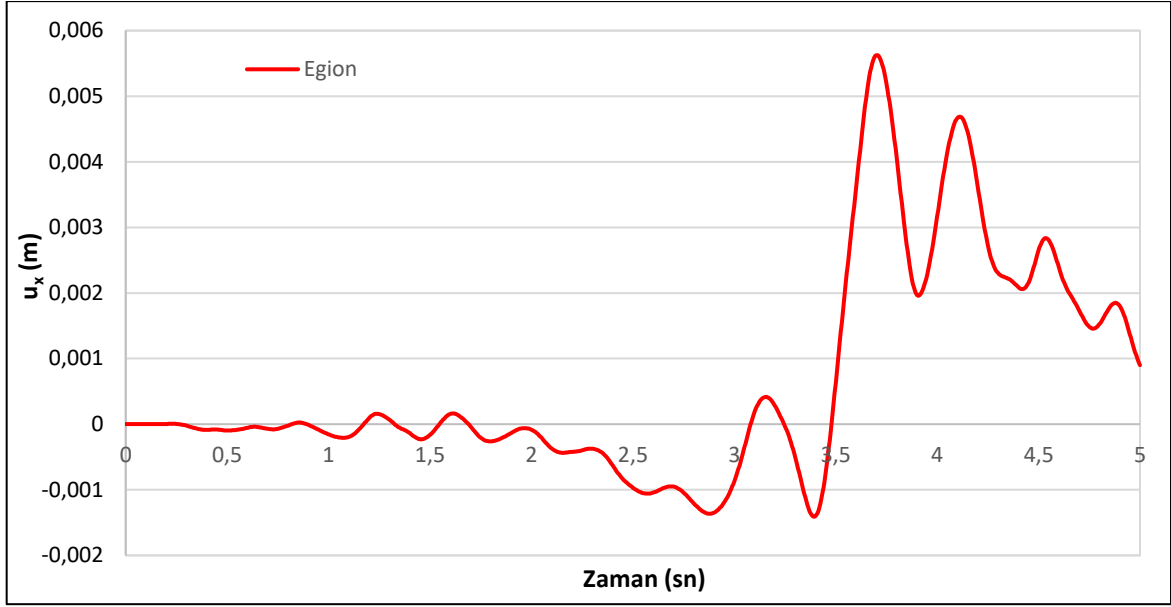
Şekil 3.60 : Ecion depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği



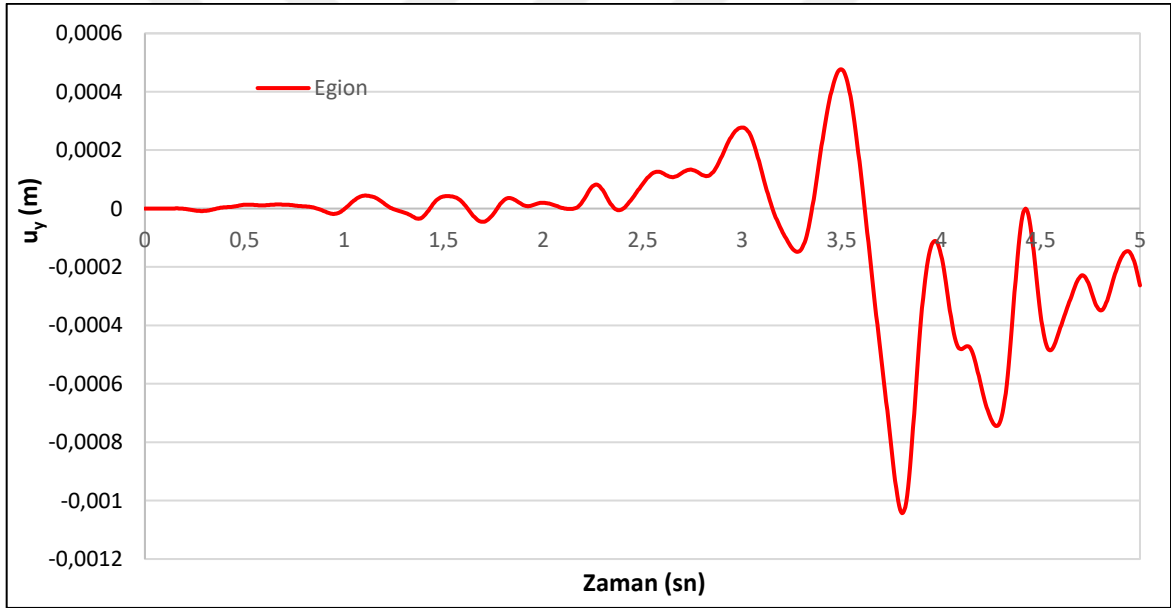
Şekil 3.61 : Ecion depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği

DESP bölgesinde ise x yönündeki maksimum yer değiştirmesi 6,853 mm ve y yönündeki yer değiştirmesi 1,436 mm olarak elde edilmiştir (Şekil 3.62-3.63). OTE bölgesinde ise x yönünde 5,626 mm ve y yönünde 1,403 mm yer değiştirmesi hesaplanmıştır (Şekil 3.64-3.65). Bu hesaplamalara göre, binanın DESP bölgesinde en fazla hasar alan bölgenin etkileneceği görülmektedir.





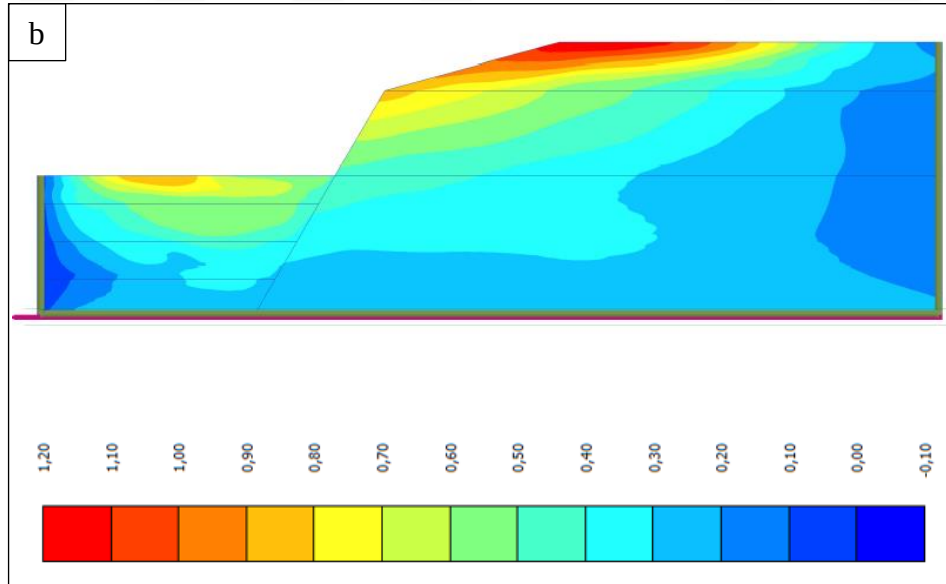
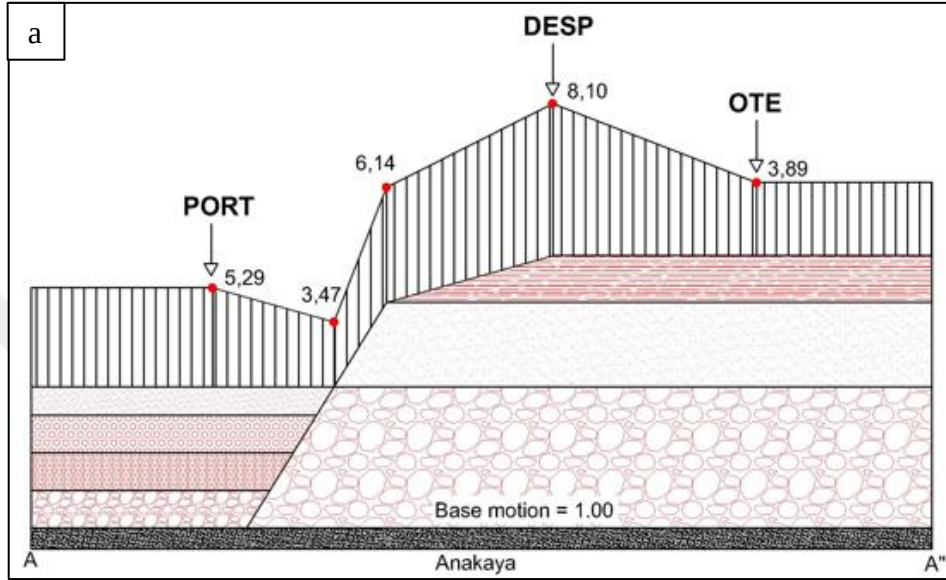
Şekil 3.64 : Egon depremi OTE bölgesi yer değıştirme (u_x) grafiğı



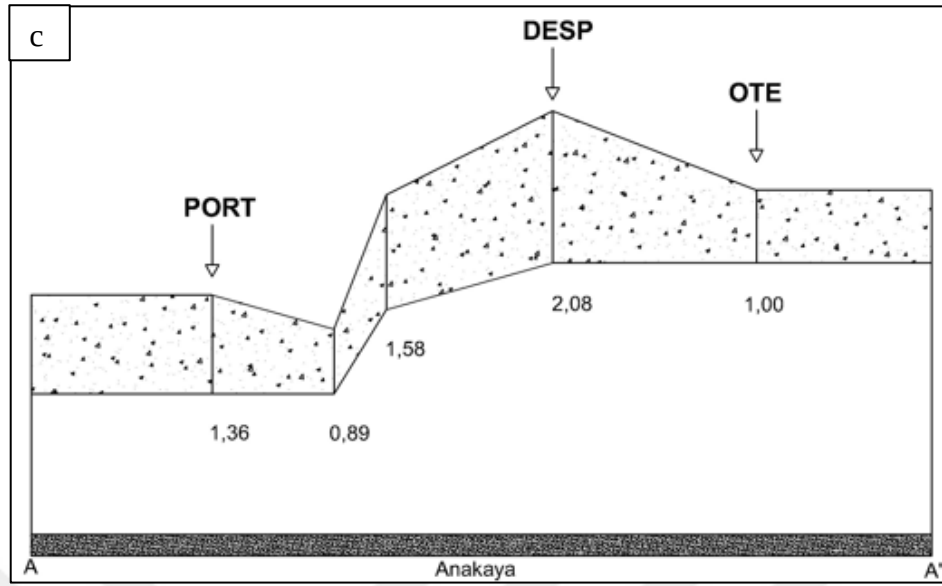
Şekil 3.65 : Egon depremi OTE bölgesi yer değıştirme (u_y) grafiğı

Egon depremine göre topoğrafik zemin yapısını değerlendirdiğimiz çalışmada 2-D analizlerden elde edilen sonuçlar, OTE- DESP ve PORT bölgelerindeki yatay ivme hareketlerinin anakaya ivme hareketi ile zemin büyütme etkilerini karşılaştırması Şekil 3.66'da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlarla, yapılan ölçümlerde ve DESP bölgesindeki oluşan hasarlarla da uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. PORT bölgesinin zemin hâkim periyodunun ve depremin frekansının 2 Hz (0,5 sn) olmasından dolayı rezonans olma durumundan kaynaklı x yönündeki maksimum ivmenin 5,29 kat, DESP bölgesinde 8,10 kat ve OTE bölgesinde 3,89 kat büyüttüğü gözlemlenmektedir. Y yönünde PORT bölgesinde

maksimum büyütmenin 3,04 kat, DESP bölgesinde 2,73 kat ve OTE bölgesinde 1,55 kat artış olarak hesaplanmıştır. En fazla yüzey hareketinin topoğrafik etkisiyle DESP bölgesinde ortaya çıkmıştır (Şekil 3.66b). Yüzey hareketini OTE bölgesinde kaydedilen hareketi baz alındığında, DESP bölgesinde 2,08 oranında arttığı, PORT bölgesinde 1,36 oranında artış olduğu hesaplanmıştır.

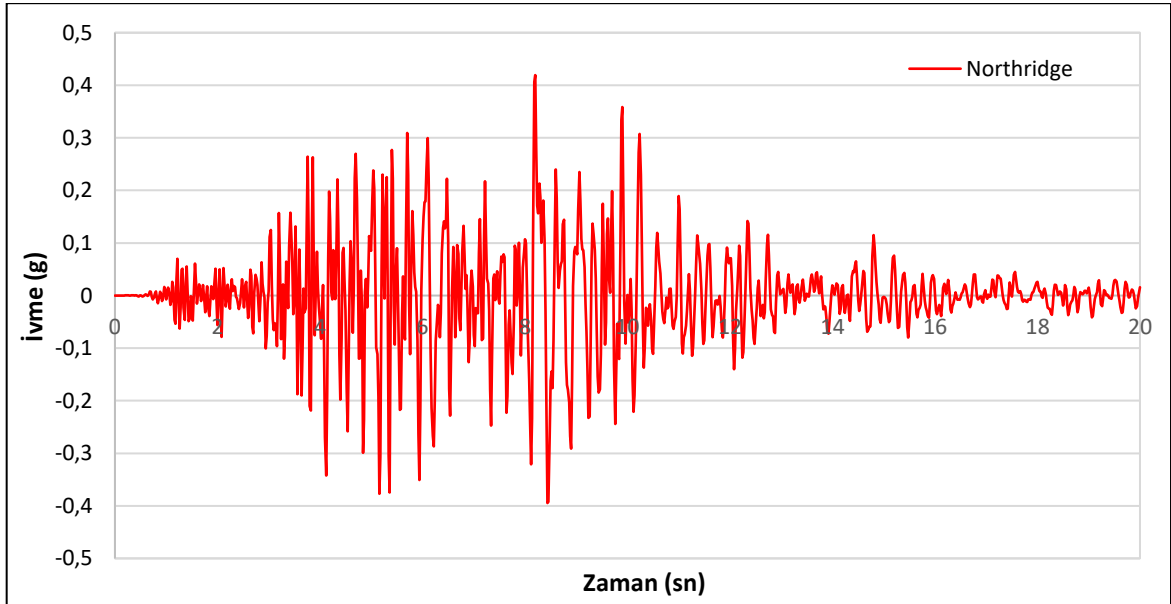


Şekil 3.66: (devam ediyor)

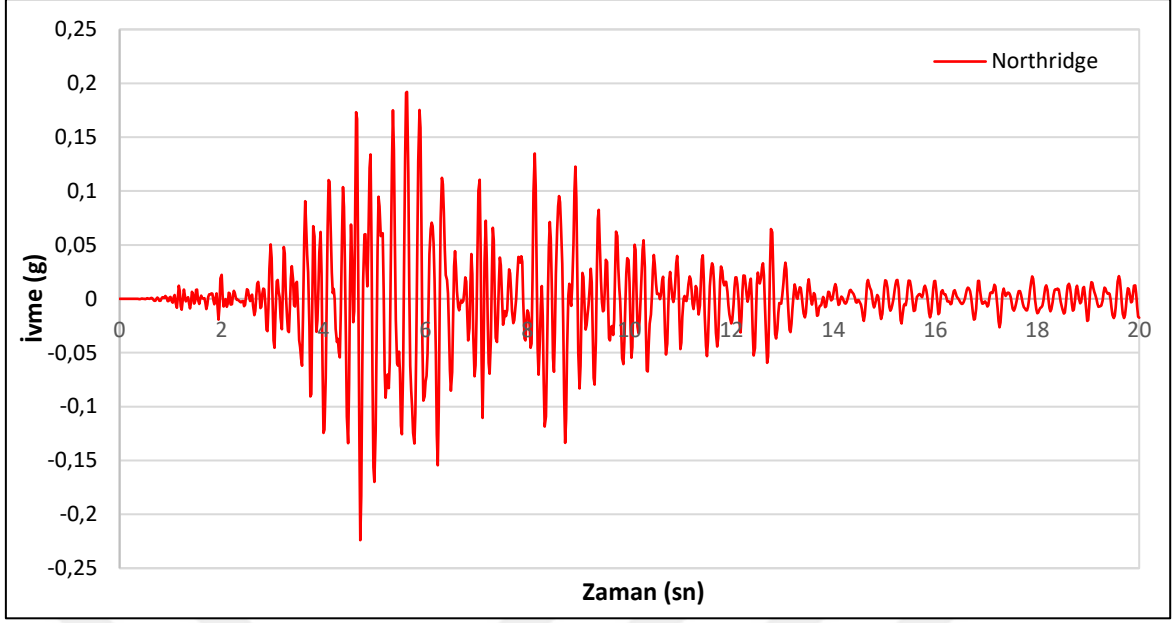


Şekil 3.66 : Yüzey topografyasının, A-A kesiti boyunca zirve yatay ivmelerin değişimine etkisi a) temel harekete göre amplifikasyon, b) Topoğrafik zemindeki amplifikasyonlar, c) OTE bölgesi hareketine göre amplifikasyonları

Şekil 3.67’de gösterilen Northridge depreminin yapılan analizlerde çıkan sonuçlar; OTE bölgesindeki x yönündeki maksimum pik ivmesi 0,427 g, Şekil 3.68’de y yönünde 0,232 g olarak elde edilmiştir.

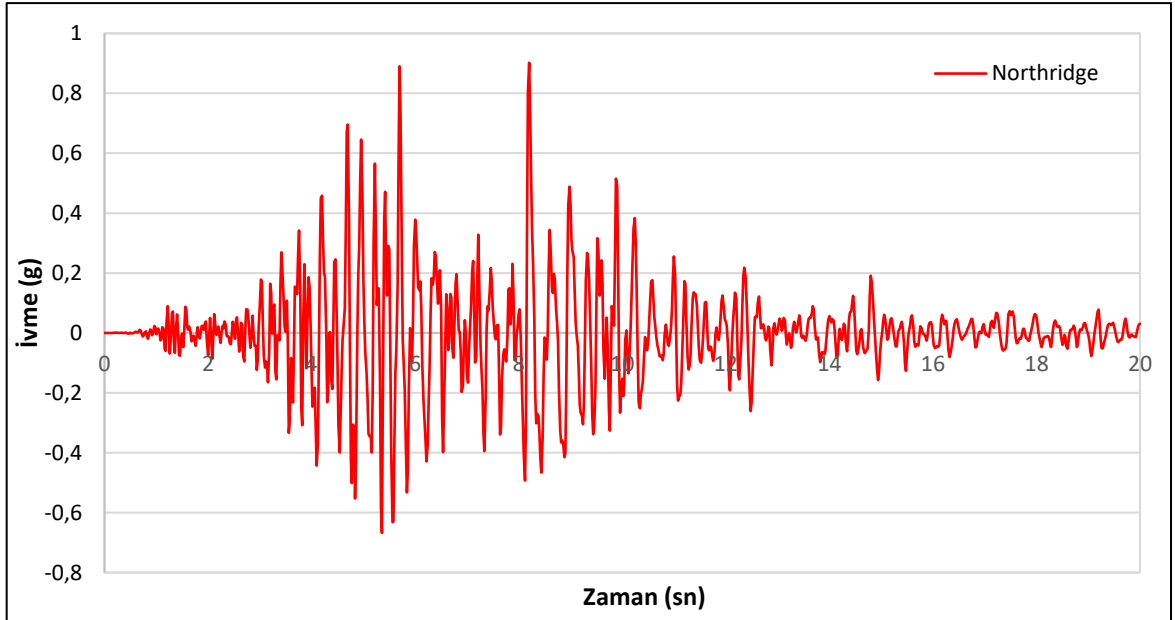


Şekil 3.67 : Northridge depremi OTE bölgesi ivme (a_x) grafiği

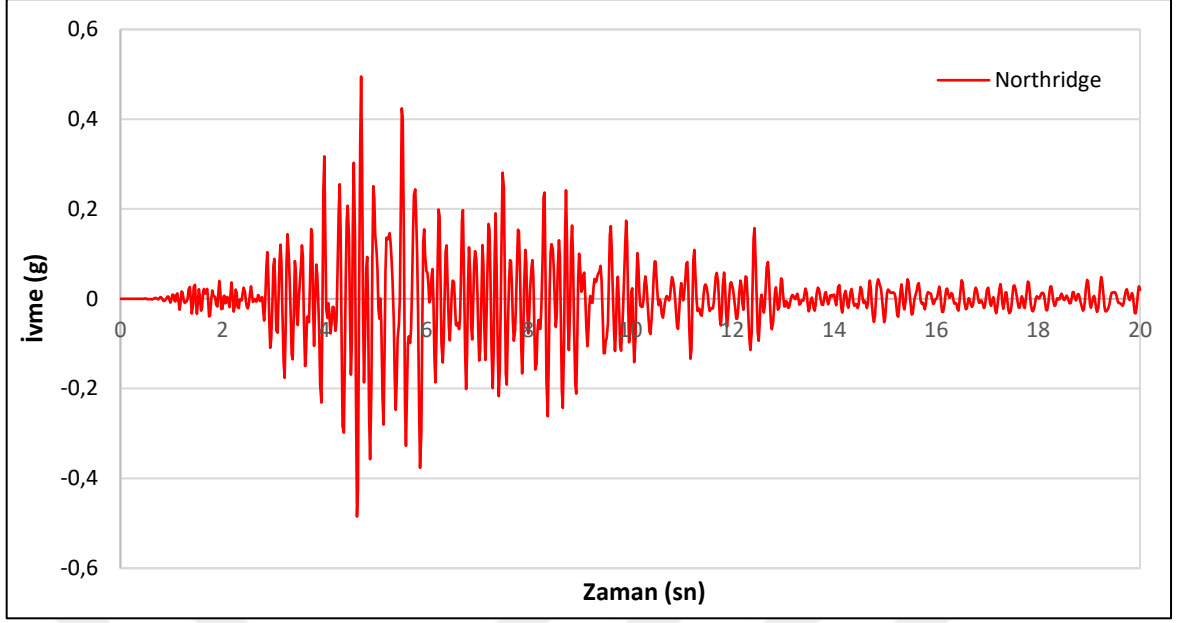


Şekil 3.68 : OTE bölgesi ivme (a_y) grafiği

Şekil 3.69’da gösterilen Northridge depreminin yapılan analizlerde çıkan sonuçlar; DESP bölgesindeki x yönündeki maksimum pik ivmesi 0,901 g, Şekil 3.70’te y yönünde 0,499 g olarak elde edilmiştir.

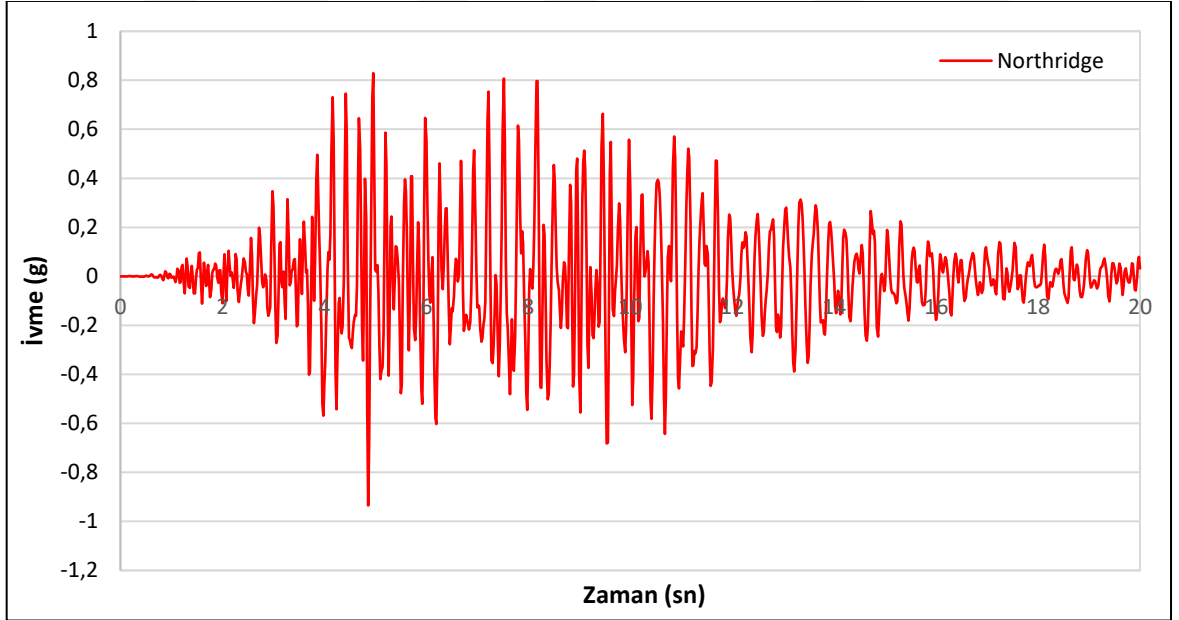


Şekil 3.69 : Northridge depremi DESP bölgesi ivme (a_x) grafiği

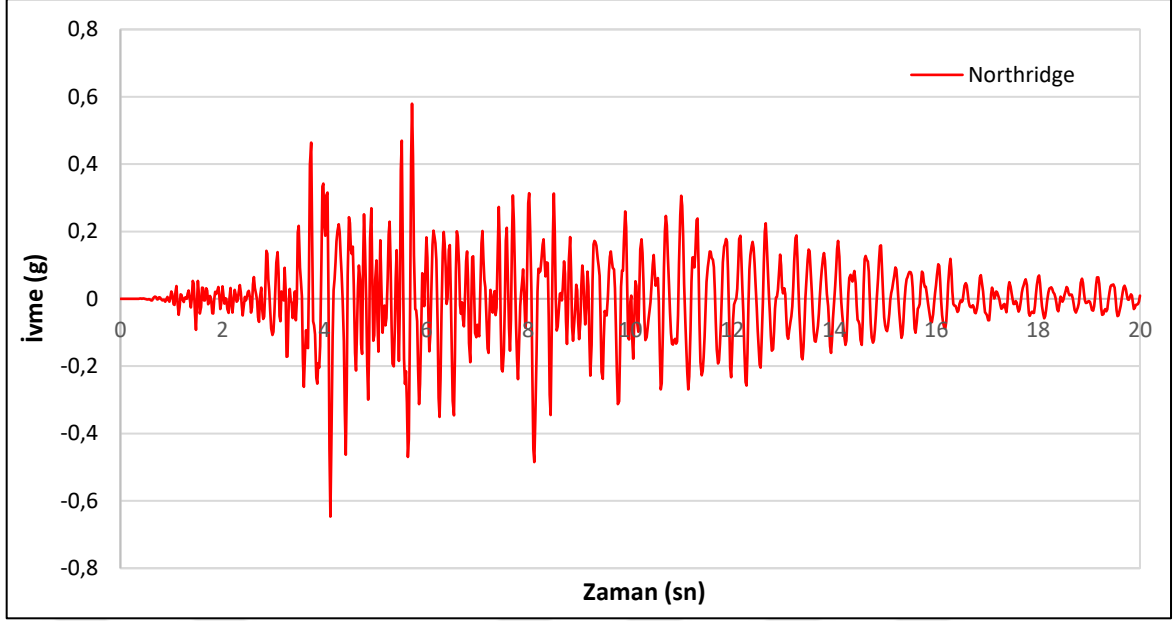


Şekil 3.70 : Northridge depremi DESP bölgesi ivme (a_y) grafiği

Şekil 3.71’de gösterilen Northridge depreminin yapılan analizlerde çıkan sonuçlar; PORT bölgesindeki x yönündeki maksimum pik ivmesi 0,899 g, Şekil 3.72’de y yönünde 0,646 g olarak elde edilmiştir.

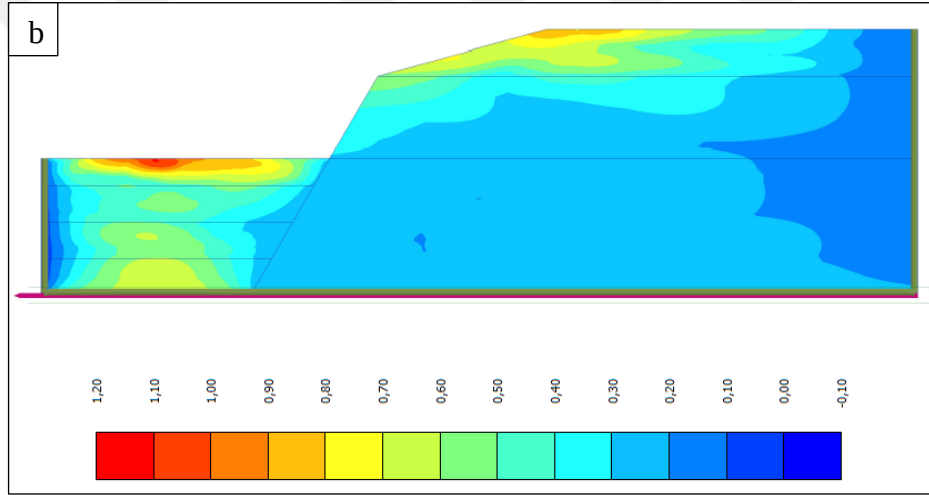
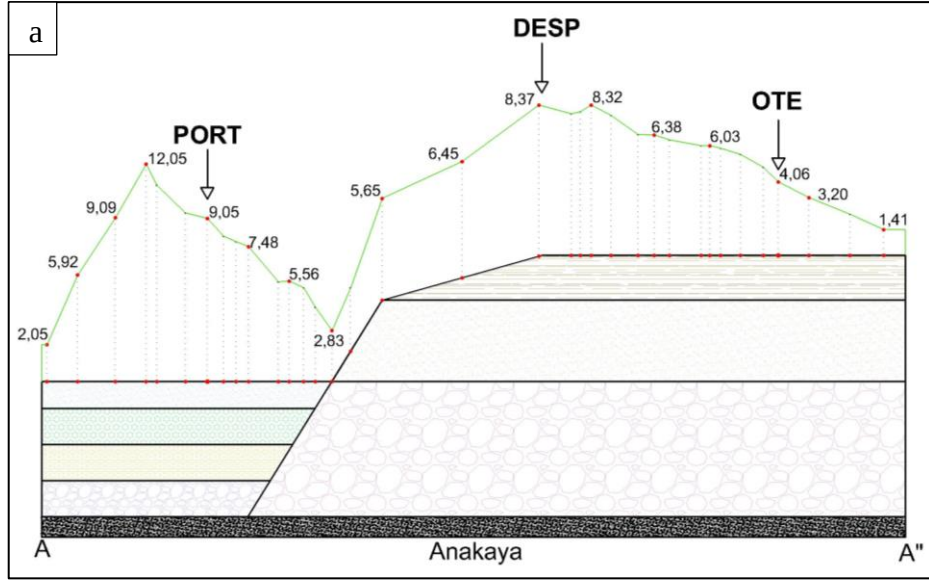


Şekil 3.71 : Northridge depremi PORT bölgesi ivme (a_x) grafiği



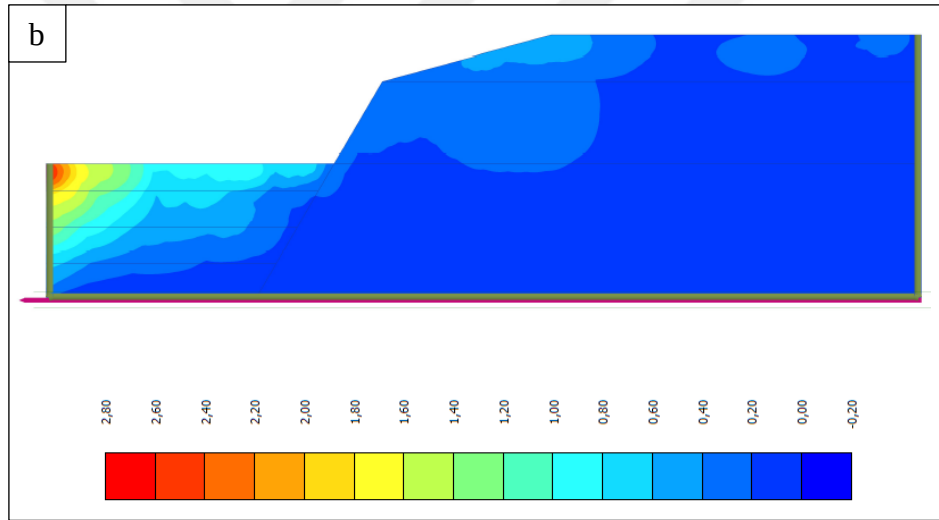
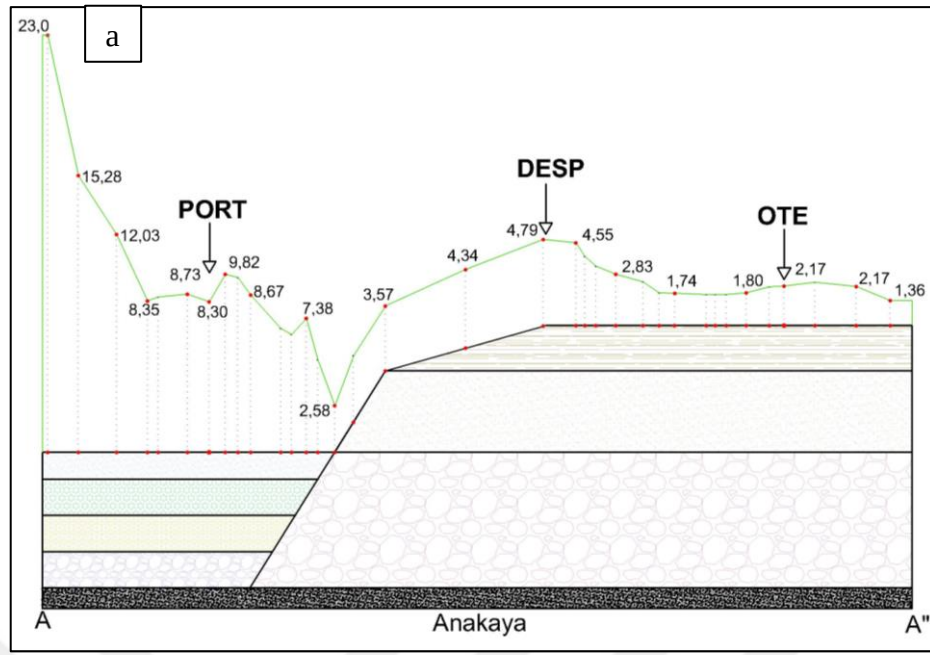
Şekil 3.72 : Northridge depremi PORT bölgesi ivme (a_y) grafiği

Northridge depremine göre topoğrafik zemin etkilerini incelemek üzere yapılan 2-D analizlerinde zemin yüzeyinde belirlenen noktalardaki büyütme oranları, yerel topografyanın deprem etkilerini nasıl etkilediğini göstermektedir. Bu analizler, belirli bölgelerde zemin hareketinin standart deprem etkilerinden farklılaşmasına neden olan topoğrafik özellikleri anlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Deprem dalgalarının etkin frekans aralığı 0,25-7 Hz olarak belirlenmiş ve zemin periyoduna yakın olması açısından zemin yüzeyindeki ivme büyütme oranlarındaki artış, analiz sonuçlarında gözlemlenmektedir. PORT bölgesindeki x yönündeki maksimum ivmesi 12,05 kat, DESP bölgesinde 8,37 kat ve OTE bölgesinde 4,06 kat büyütme oranlarına ulaşmıştır (Şekil 3.73). Serbest zemin yüzeyindeki davranışlarda PORT bölgesi ve DESP bölgesindeki zemin büyütme alanları zemin kesit profilinde gösterilmiştir (Şekil 3.73b).



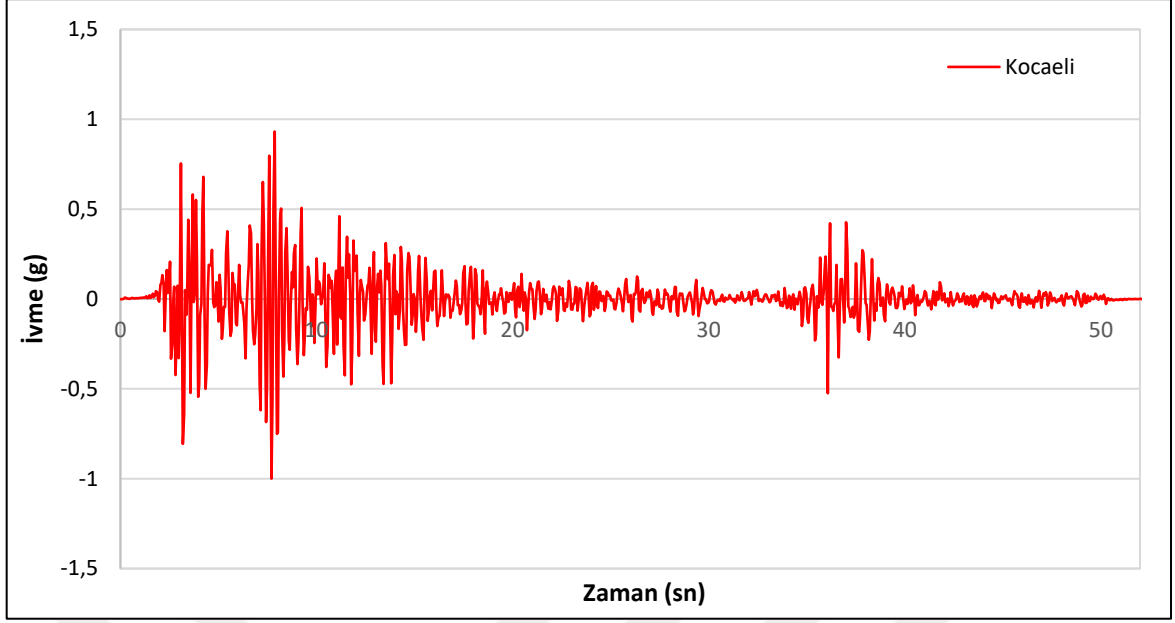
Şekil 3.73 : a) Northridge depremi (a_x) İvme büyütme oranları, b) Topoğrafik zemindeki amplifikasyonlar

Şekil 3.74'te gösterilen ivme büyütme oranları y yönünde ise PORT bölgesinde maksimum büyütme 8,30 kat, DESP bölgesinde 4,79 kat ve OTE bölgesinde 2,17 kat olarak büyütme elde edilmiştir. Serbest zemin yüzeyindeki davranışlarda PORT bölgesi ve DESP bölgesindeki zemin büyütme alanları zemin kesit profilinde gösterilmiştir (Şekil 3.74b).

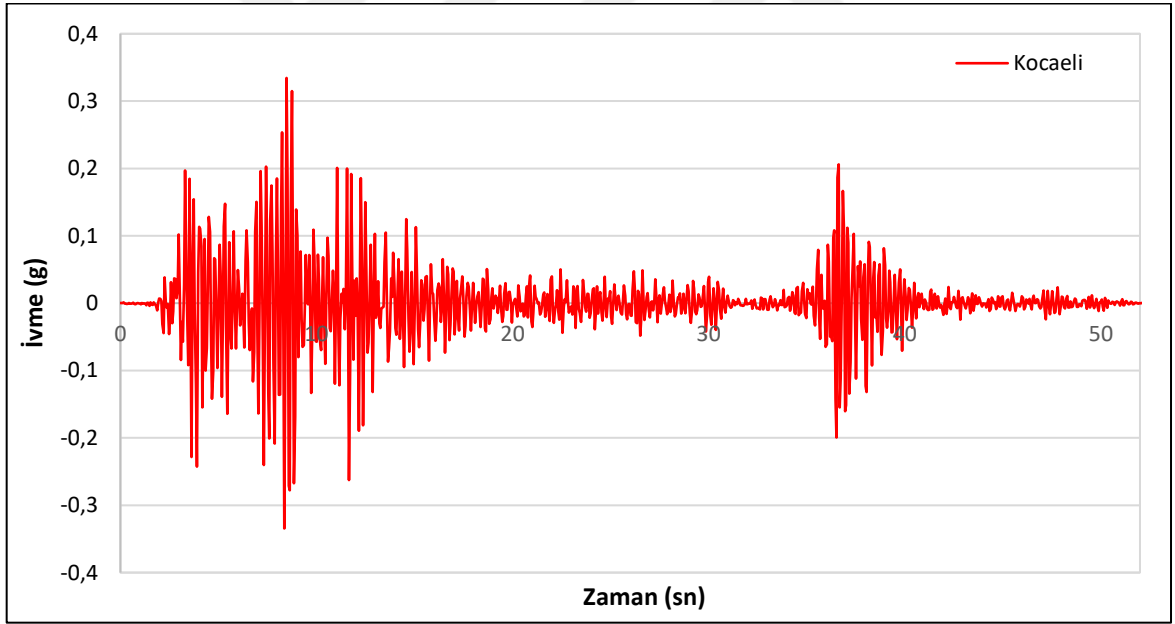


Şekil 3.74 : a) Northridge depremi (a_y) ivme büyütme oranları, b) Topoğrafik zemindeki amplifikasyonlar

Şekil 3.75'te gösterilen Kocaeli depreminin yapılan analizlerinde çıkan sonuçlar; OTE bölgesindeki x yönündeki maksimum pik ivmesi 1,025 g, Şekil 3.76'da y yönünde 0,364 g olarak elde edilmiştir.

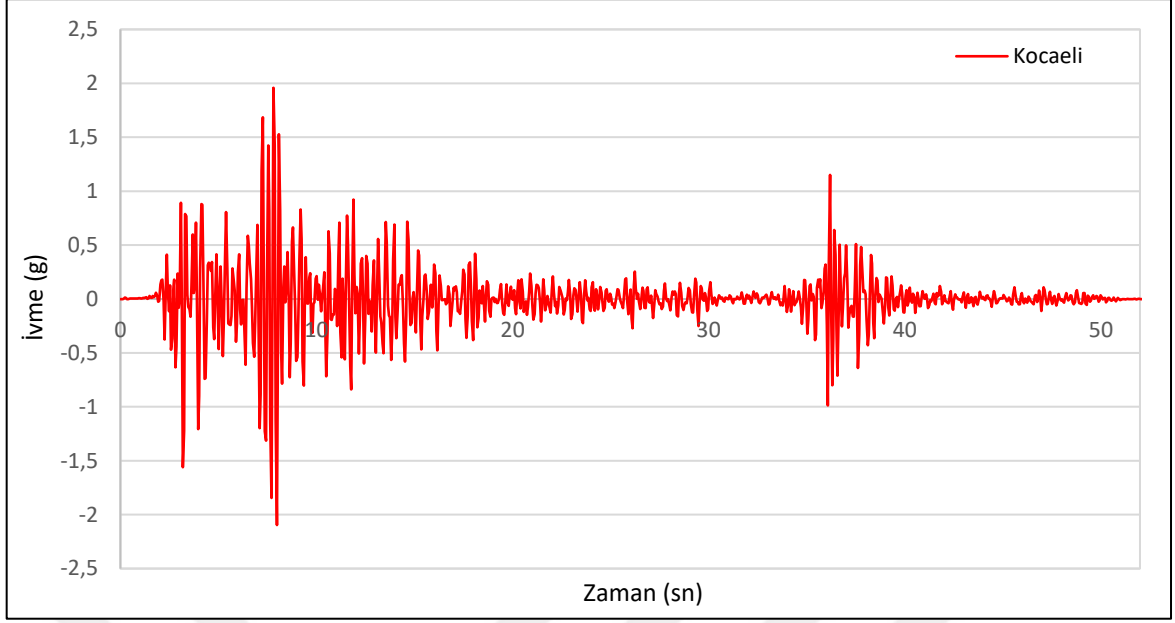


Şekil 3.75 : Kocaeli depremi OTE bölgesi ivme (a_x) grafiği

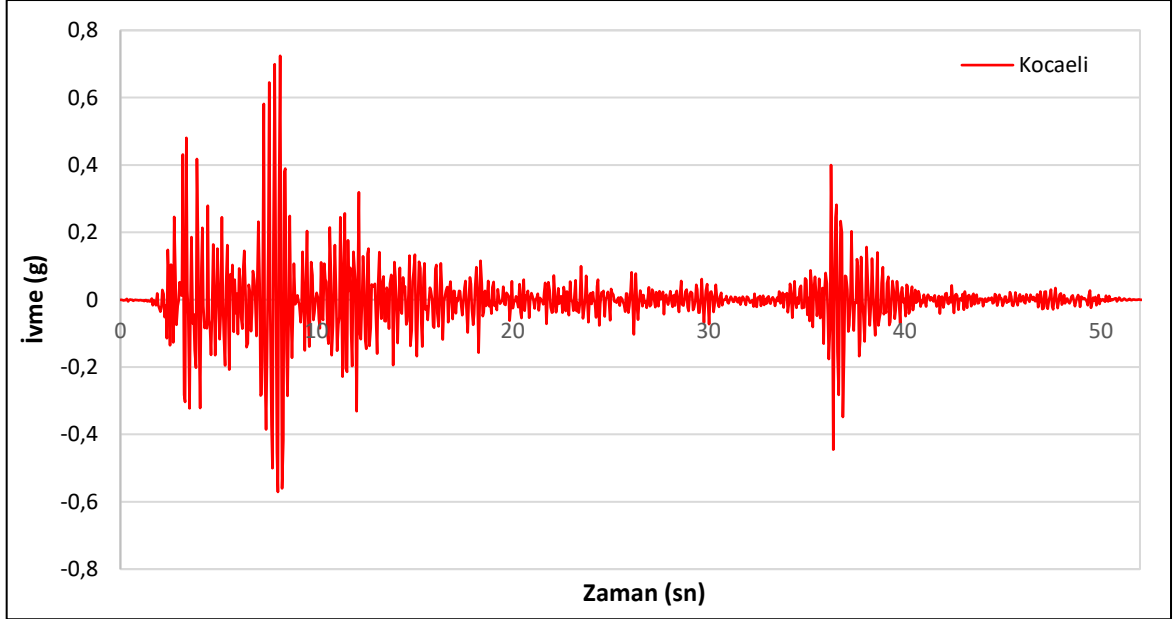


Şekil 3.76 : Kocaeli depremi OTE bölgesi ivme (a_y) grafiği

Şekil 3.77’de gösterilen Kocaeli depreminin yapılan analizlerde çıkan sonuçlar; DESP bölgesindeki x yönündeki maksimum pik ivmesi 2,163 g, Şekil 3.78’de y yönünde 0,747 g olarak elde edilmiştir.

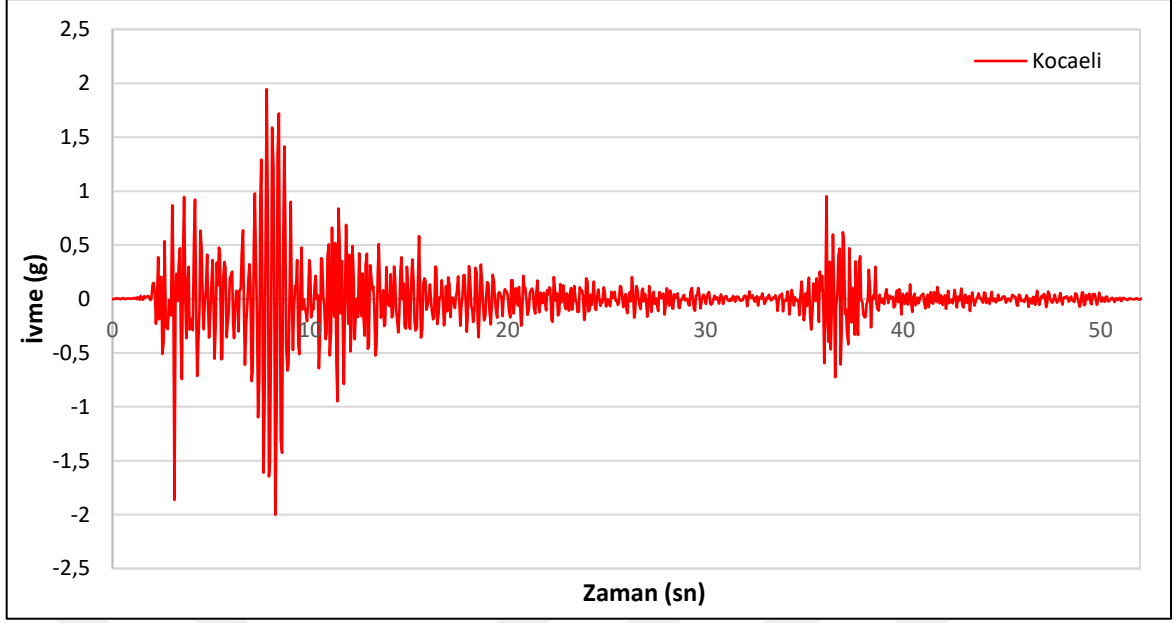


Şekil 3.77 : Kocaeli depremi DESP bölgesi ivme (a_x) grafiği

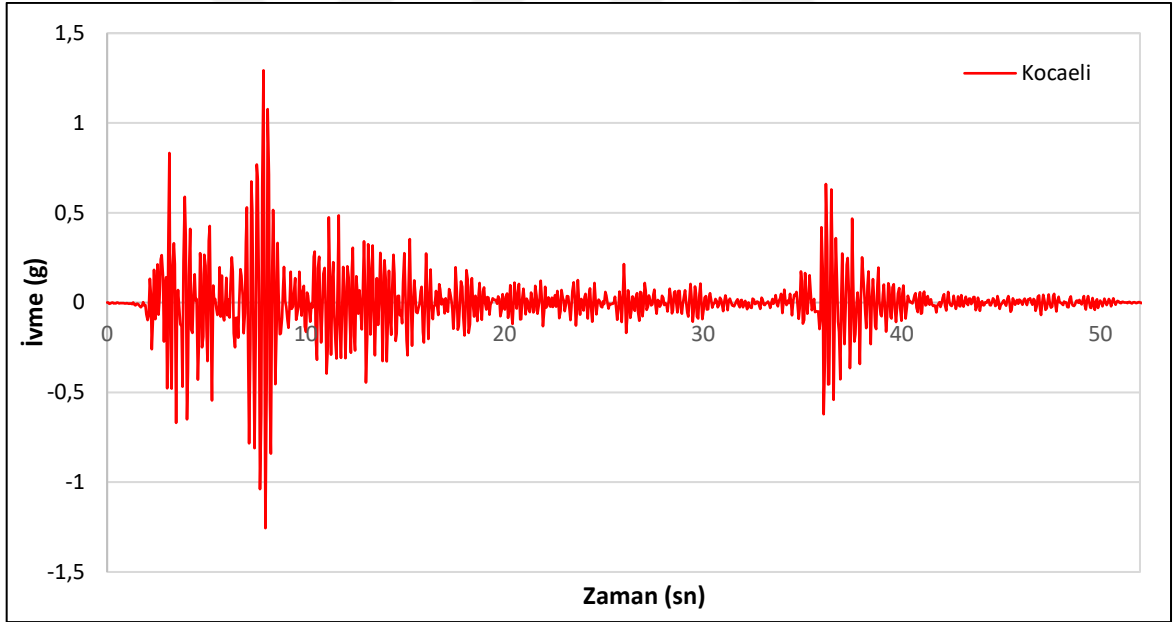


Şekil 3.78 : Kocaeli depremi DESP bölgesi ivme (a_y) grafiği

Şekil 3.79’da gösterilen Kocaeli depreminin yapılan analizlerde çıkan sonuçlar; PORT bölgesindeki x yönündeki maksimum pik ivmesi 1,925 g, Şekil 3.80’de y yönünde 1,257 g olarak elde edilmiştir.



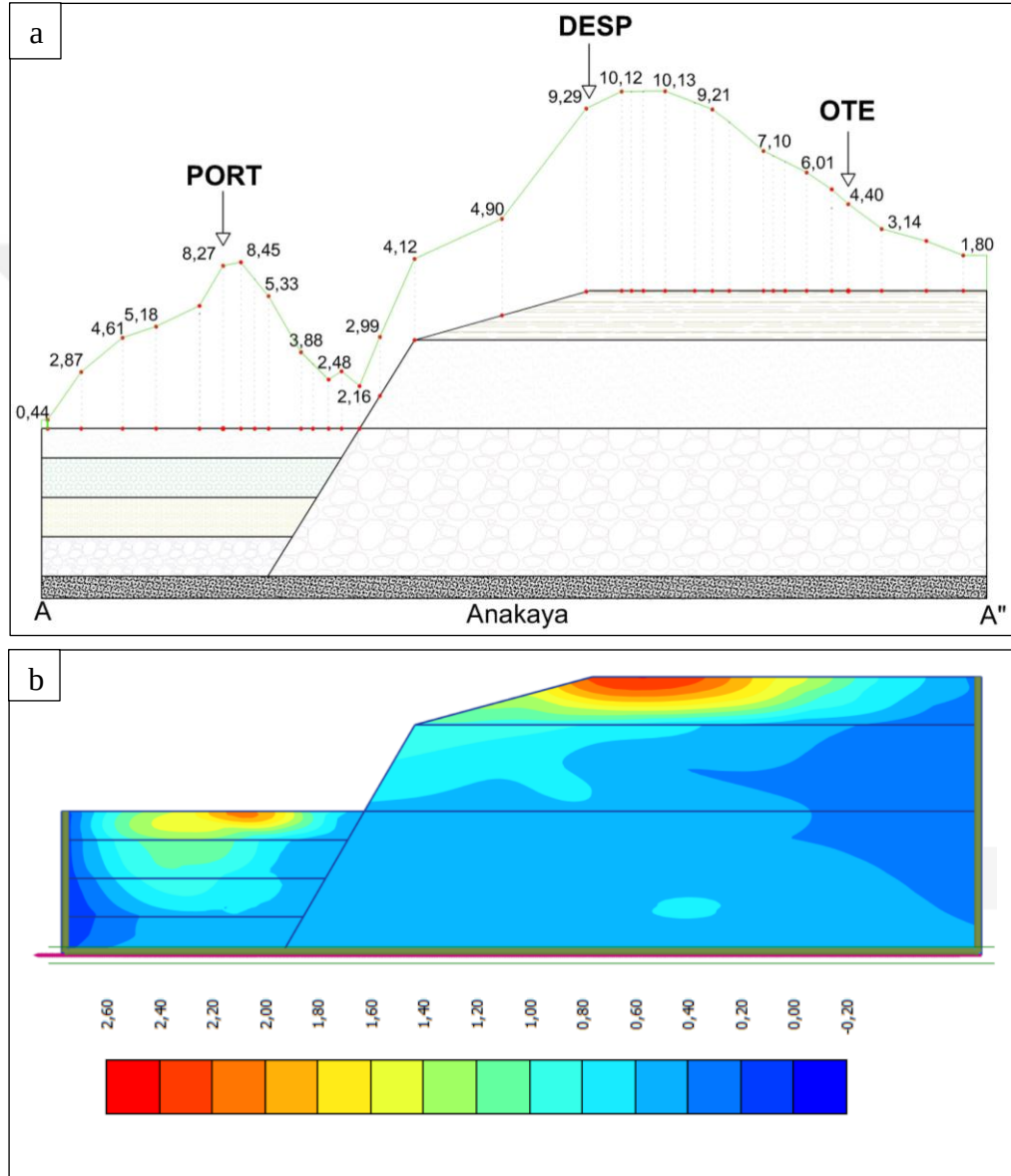
Şekil 3.79 : Kocaeli depremi PORT bölgesi ivme (a_x) grafiği



Şekil 3.80 : Kocaeli depremi PORT bölgesi ivme (a_y) grafiği

Kocaeli depreminin topoğrafik zemin etkilerini incelemek üzere yapılan 2-D analizlerinde zemin yüzeyinde belirlenen noktalardaki büyütme oranları, Şekil 3.81’de gösterilen ivme büyütme oranları PORT bölgesindeki x yönündeki maksimum ivmesi 8,45 kat, DESP bölgesinde 10,12 kat ve OTE bölgesinde 4,40 kat büyütme oranlarına ulaşmıştır.

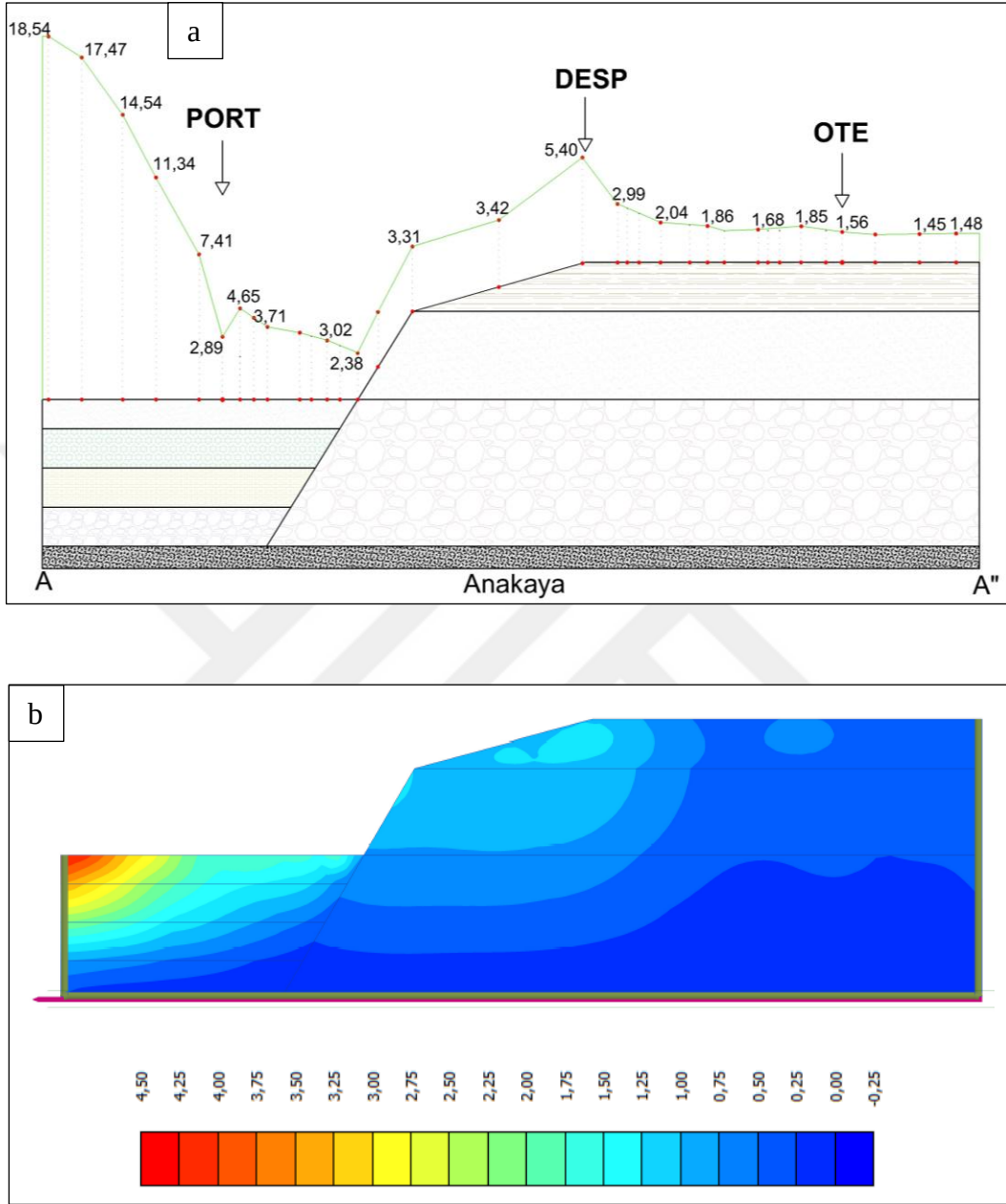
Şekil 3.81(b)'de gösterildiği gibi, PORT ve DESP bölgelerinde depremin frekansının etkilerini de dikkate aldığımızda, topoğrafik etkilerin oldukça belirgin olduğunu görmekteyiz. Bu nedenle, 2 boyutlu analizler sonucunda elde edilen ivme değerleri yüzey topoğrafyasının etkisi artmıştır. Özellikle, ova kenarındaki 0,44 kat büyümesinden PORT bölgesine doğru 8,45 kata kadar artmıştır. Maksimum büyütmenin olduğu DESP bölgesinden OTE bölgesine doğru azalış gözlemlenmektedir.



Şekil 3.81 : a) Kocaeli depremi (a_x) İvme büyütme oranları, b) Topoğrafik zemindeki amplifikasyonlar

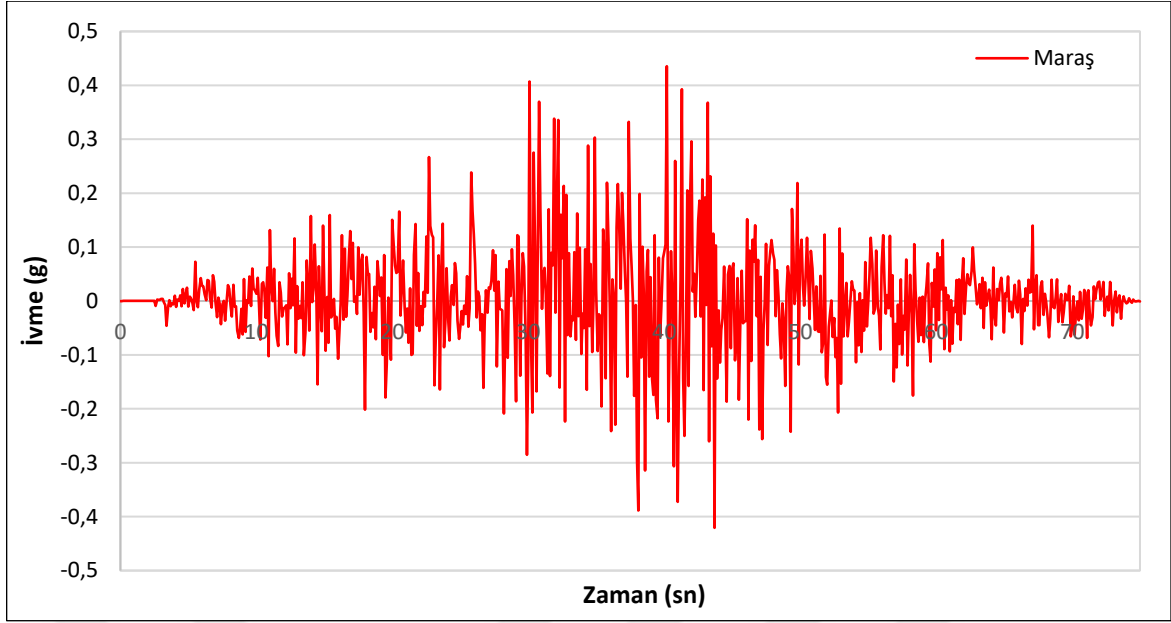
Şekil 3.82’de gösterilen ivme büyütme oranları y yönünde ise PORT bölgesinde maksimum büyütme 4,65 kat, DESP bölgesinde 5,40 kat ve OTE bölgesinde 1,56 kat olarak büyütme

elde edilmiştir. Serbest zemin yüzeyindeki davranışlarda PORT bölgesi ve DESP bölgesindeki zemin büyütme alanları zemin kesit profilinde gösterilmiştir (Şekil 3.82b).

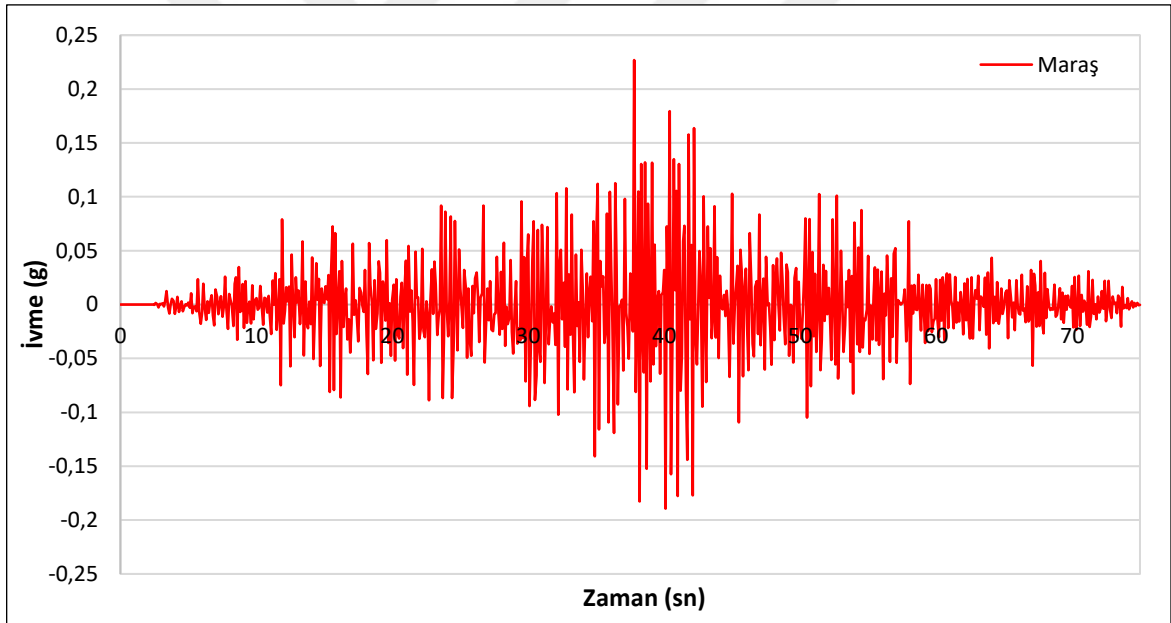


Şekil 3.82 : a) Kocaeli depremi (a_y) İvme büyütme oranları, b) Topoğrafik zemindeki amplifikasyonlar

Şekil 3.83'te gösterilen Kahramanmaraş depreminin yapılan analizlerinde çıkan sonuçlar; OTE bölgesindeki x yönündeki maksimum pik ivmesi 0,435 g, Şekil 3.84'te y yönünde 0,227 g olarak elde edilmiştir.

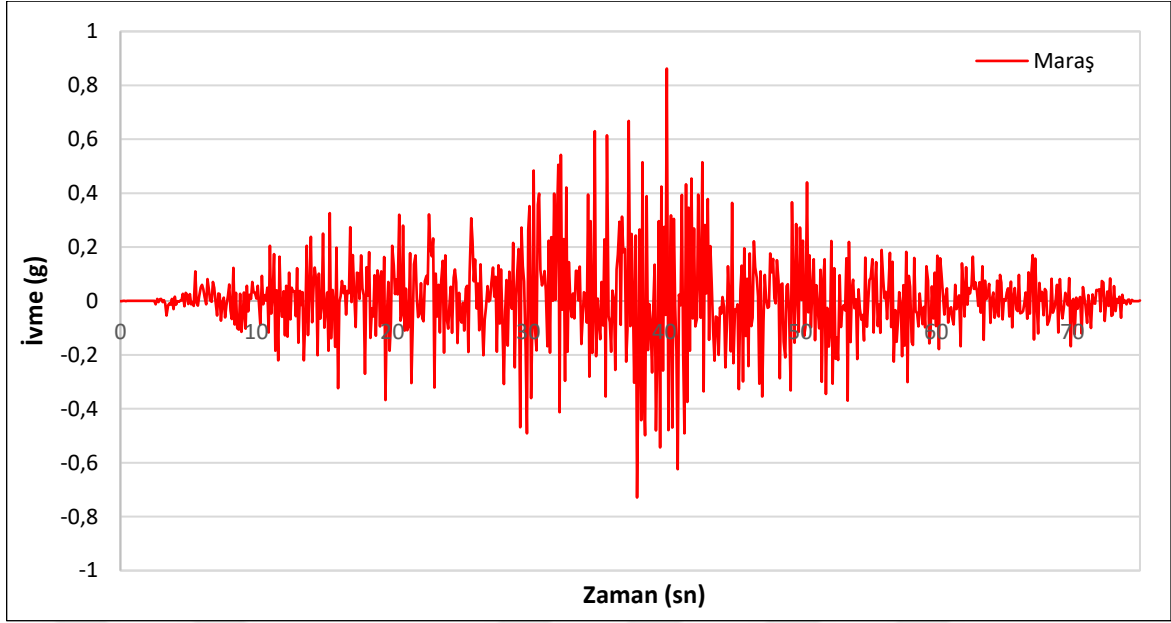


Şekil 3.83 : Kahramanmaraş depremi OTE bölgesi ivme (a_x) grafiği

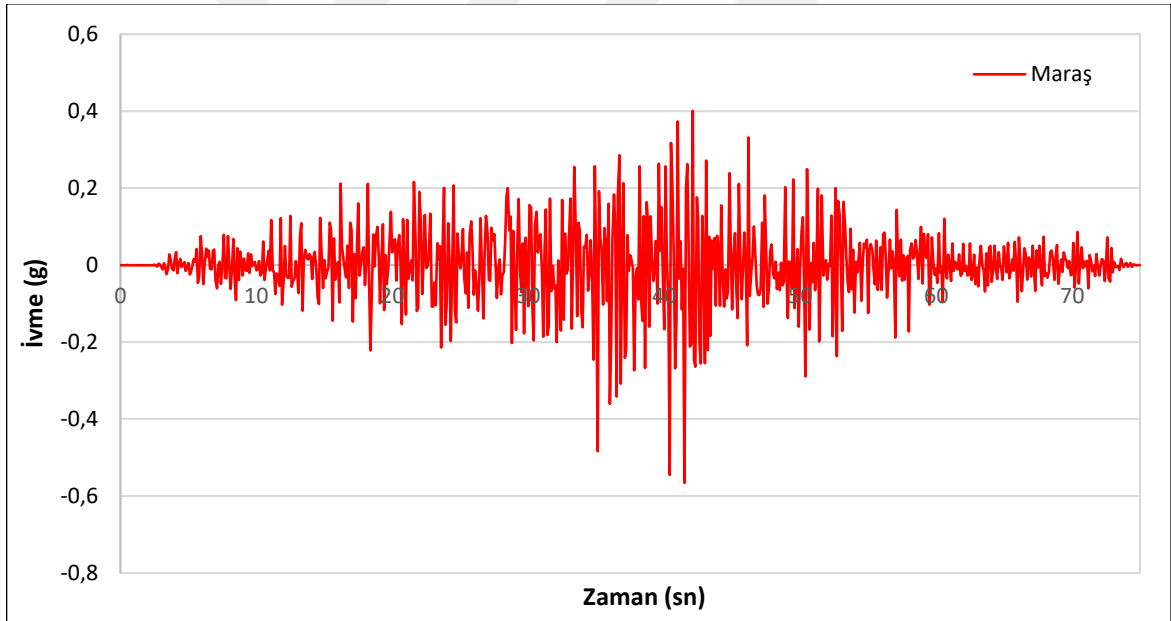


Şekil 3.84 : Kahramanmaraş depremi OTE bölgesi ivme (a_y) grafiği

Şekil 3.85'te gösterilen Kahramanmaraş depreminin yapılan analizlerde çıkan sonuçlar; DESP bölgesindeki x yönündeki maksimum pik ivmesi 0,862 g, Şekil 3.86'da y yönünde 0,565 g olarak elde edilmiştir.

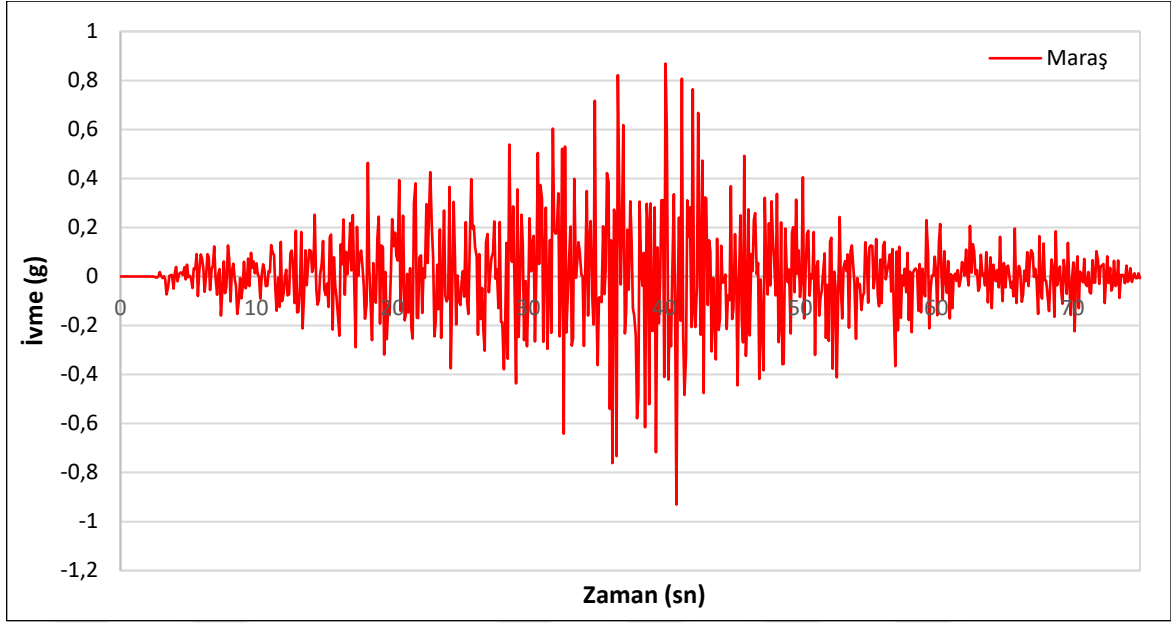


Şekil 3.85 : Kahramanmaraş depremi DESP bölgesi ivme (a_x) grafiği

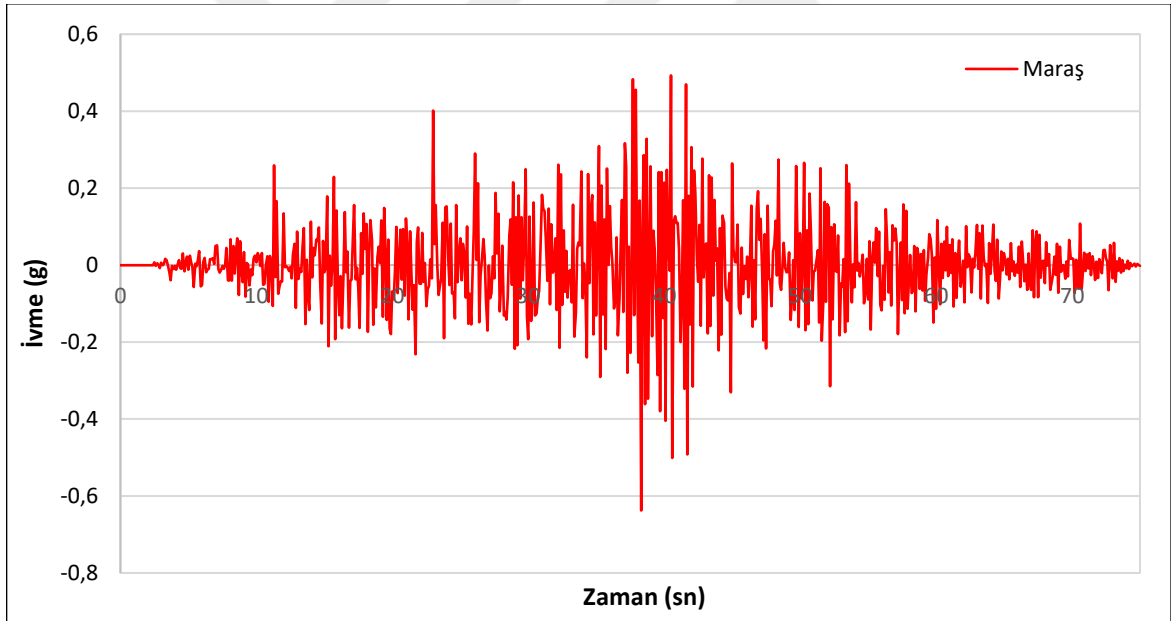


Şekil 3.86 : Kahramanmaraş depremi DESP bölgesi ivme (a_y) grafiği

Şekil 3.87’de gösterilen Kahramanmaraş depreminin yapılan analizlerde çıkan sonuçlar; PORT bölgesindeki x yönündeki maksimum pik ivmesi 0,930 g, Şekil 3.88’de y yönünde 0,637 g olarak elde edilmiştir.



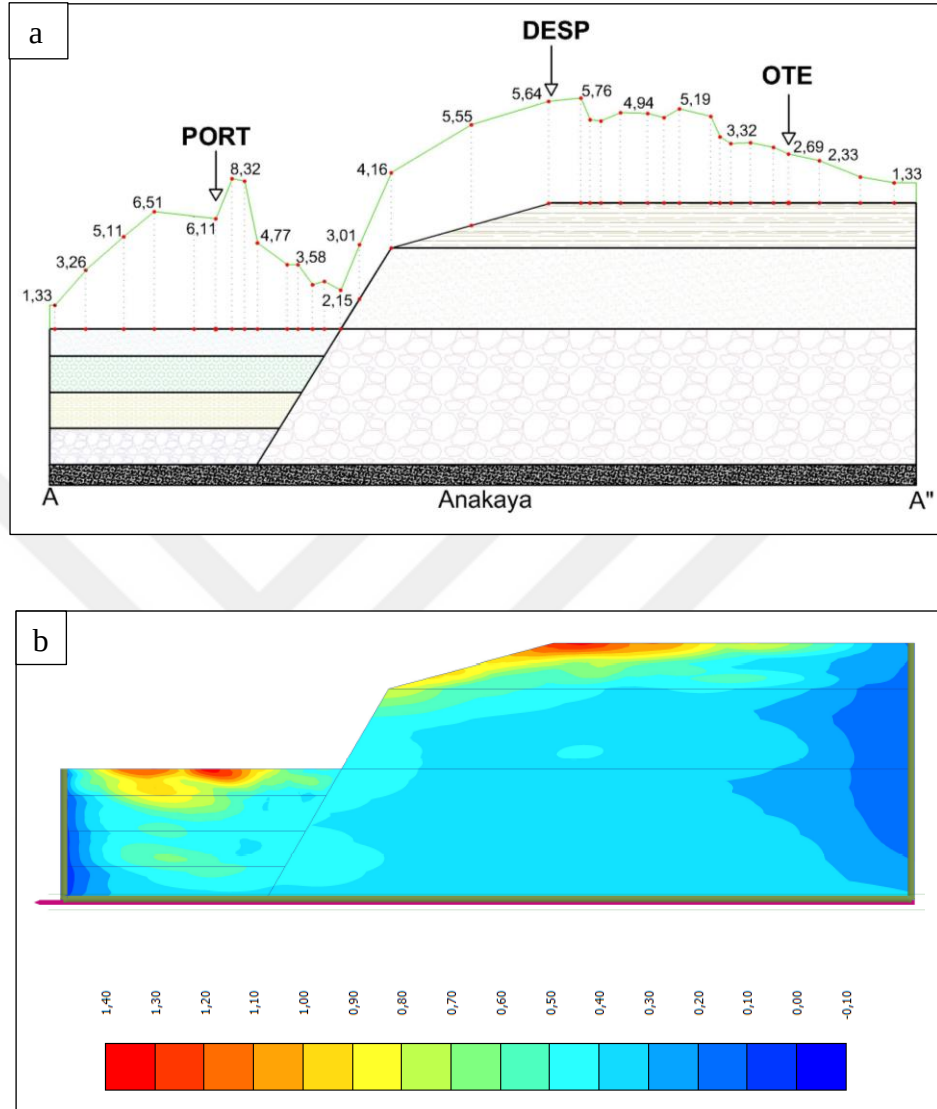
Şekil 3.87 : Kahramanmaraş depremi PORT bölgesi ivme (a_x) grafiği



Şekil 3.88 : Kahramanmaraş depremi PORT bölgesi ivme (a_y) grafiği

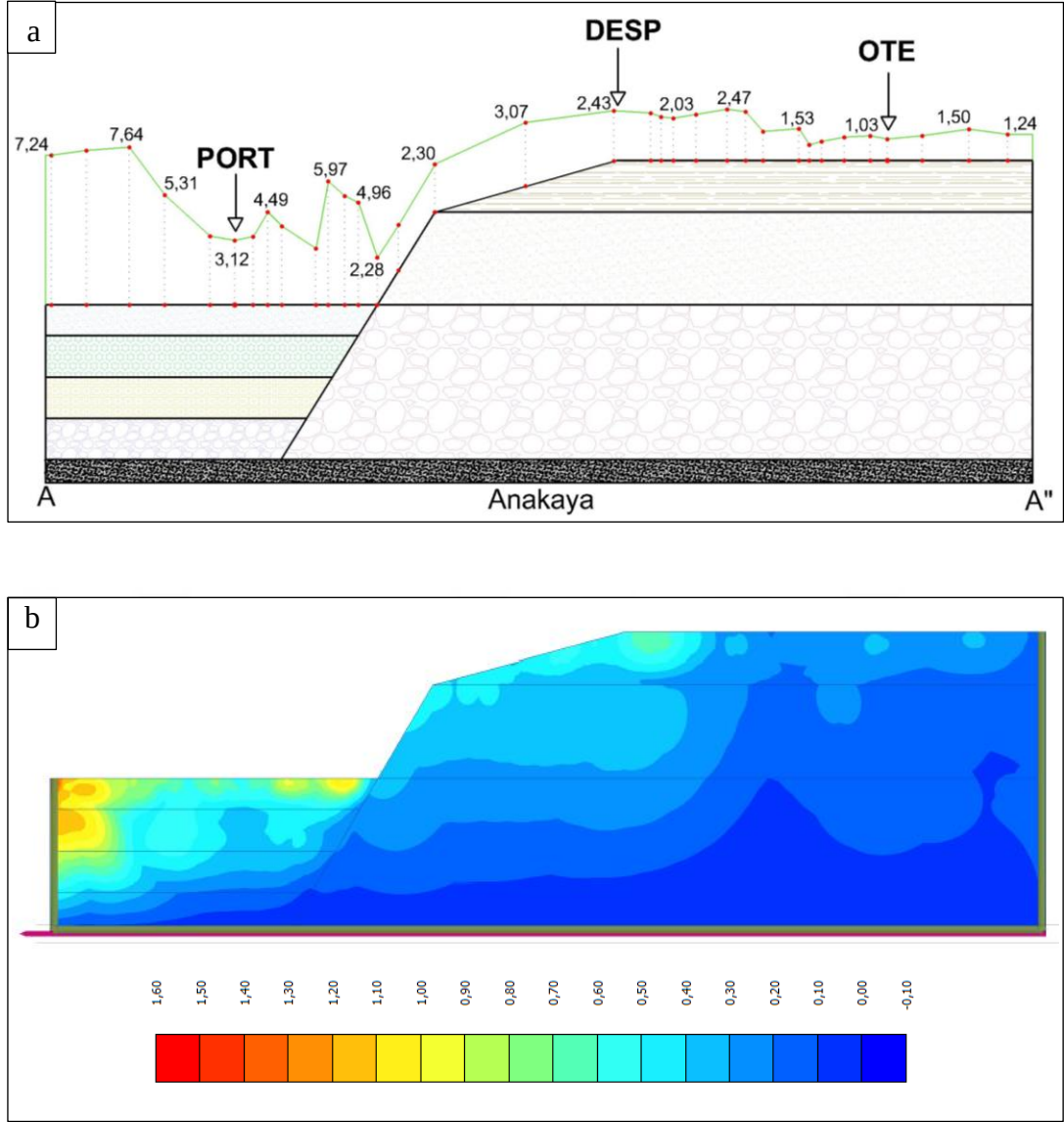
Kahramanmaraş depremine göre topoğrafik zemin etkilerinin serbest zemin titreşimleri üzerindeki etkisini incelemek üzere yapılan 2-D zemin yüzeyi analizlerinde belirlenen büyütme oranları, Şekil 3.89’da gösterilen ivme büyütme oranları PORT bölgesindeki x yönündeki maksimum ivmesi 6,11 kat, DESP bölgesinde 5,64 kat ve OTE bölgesinde 2,69 kat büyütme oranlarına ulaşmıştır. Şekil 3.90’da y yönünde ise PORT bölgesinde maksimum büyütme 3,12 kat, DESP bölgesinde 2,43 kat ve OTE bölgesinde 1,03 kat olarak büyültmeler

elde edilmiştir. Zemin yüzeyindeki ivme değişimleri de Şekil 3.89b’de görüldüğü gibi PORT ve DESP bölgelerinde artışların maksimum olduğu gözükmektedir.



Şekil 3.89 : a) Kahramanmaraş depremi (a_x) İvme büyütme oranları, b) Topoğrafik zemindeki amplifikasyonlar

Şekil 3.90’da gösterilen ivme büyütme oranları y yönünde ise; PORT bölgesinde maksimum büyütme 5,97 kat, DESP bölgesinde 2,47 kat ve OTE bölgesinde 1,03 kat olarak büyütme elde edilmiştir. Serbest zemin yüzeyindeki davranışlarda PORT bölgesi ve DESP bölgesindeki zemin büyütme alanları zemin kesit profilinde gösterilmiştir (Şekil 3.90b).



Şekil 3.90 : a) Kahramanmaraş depremi (a_y) İvme büyütme oranları, b) Topoğrafik zemindeki amplifikasyonlar

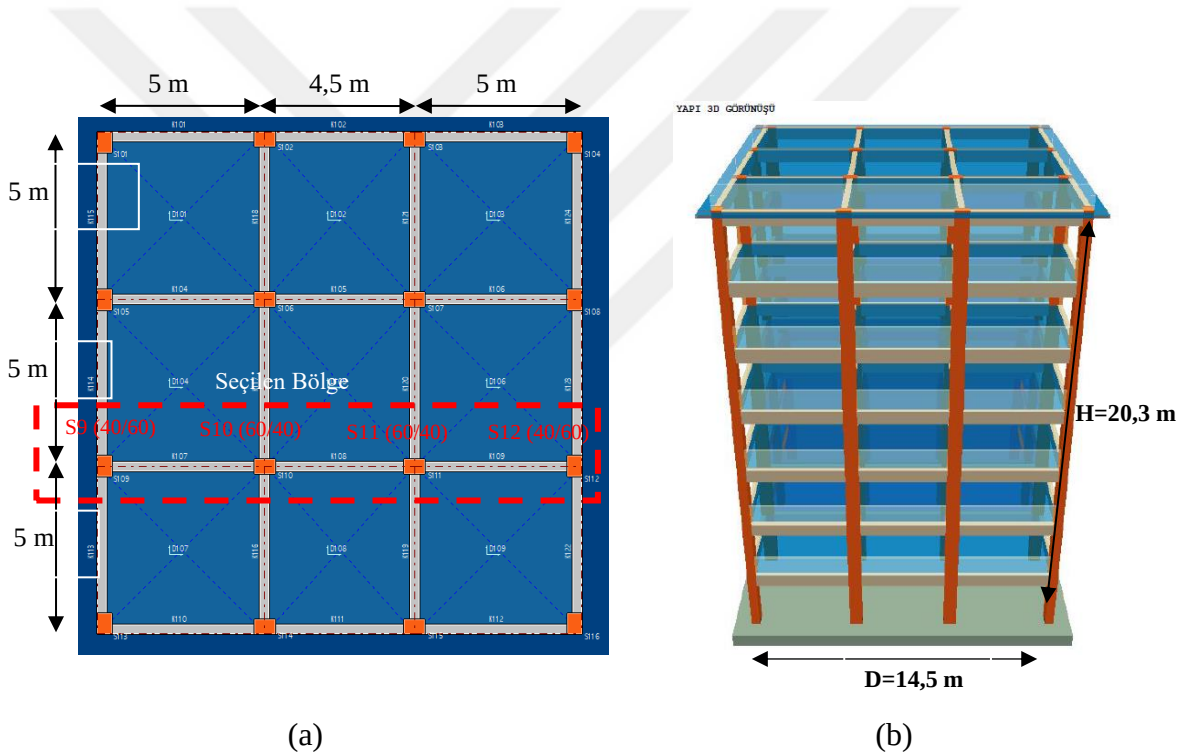
3.2.3. Zemin Davranış Modellerine Bağlı Üstyapı Titreşimleri

Sayısal uygulamaların ardından elde edilen verilere dayanarak, bina zemin etkileşim analizi PLAXIS programında yapılmıştır. Doğruluğu kontrol etmek üzere SAP2000 bilgisayar programı ve Sta4cad statik analiz yazılımı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiş ve her iki program tarafından hesaplanan periyot değerleri tablo halinde verilmiştir. Farklı kat yükseklikteki yapılar için PLAXIS programında gerçekleştirilen analizlerde, zemin parametreleri olarak kayma dalga hızı $V_s = 2980$ m/sn olarak anakaya kabul edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, her iki program tarafından hesaplanan periyot değerlerinin birbirine

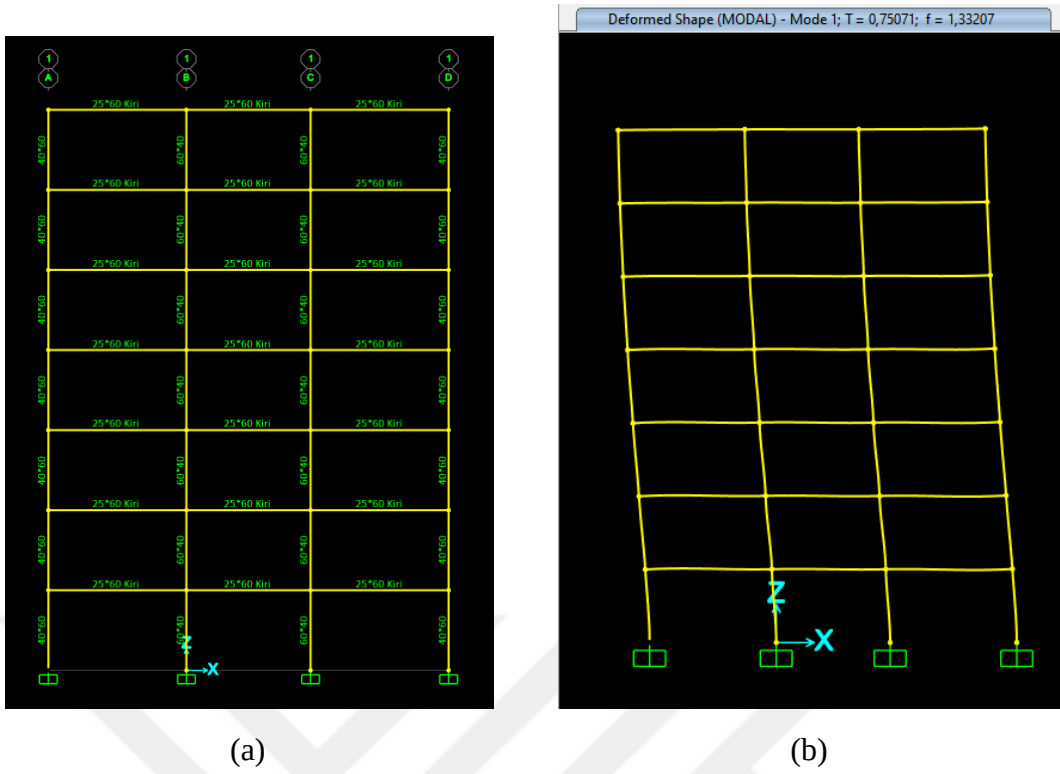
oldukça yakın olduğu gözlemlenmiş ve bu durum, üstyapı modelinin PLAXIS programına entegre edilip yapılan nümerik analizlerin yeterli olduğunu ortaya koymuştur (Tablo 3.10).

Model yapımız 7 katlı ve kat yüksekliği 2,90 m, x ve y yönünde 4 akstan oluşan yapımızda orta kolonlar 60x40 cm, kenar kolonlar 40x60 cm, kirişler 25x60 cm ölçülerinde, döşeme kalınlığı 12 cm ve 60 cm kalınlığında radye temelli çerçevesli taşıyıcı sistem kullanılarak konut binası inşa edilmiştir. Bu yapıda C25/30 sınıfı beton kullanılmıştır (Şekil 3.91).

Sap2000 programıyla yapılan modal analizde elde edilen değerler, önceki sınırlama koşulları için elde edilen sonuçlarla tutarlılık göstermektedir. Diğer programlara göre az da olsa düşük periyodu çıkmıştır (Şekil 3.92).



Şekil 3.91 : Model binanın a) Kat planı, b) 3D görünüşü



Şekil 3.92 : Sap 2000'deki bina modeli a) Kesiti b) 1. Mod şekli

Binanın kolon, kiriş ve temel için atalet momenti hesaplanırken 3.1, 3.2 ve 3.3 bağıntı formüllerinden yararlanıldı.

$$I_{rijit\ eleman} = \frac{bxd^3}{12} \quad (3.1)$$

$$I_{üst\ yapı\ eleman} = \frac{bxh^3}{12} \quad (3.2)$$

$$A = bxd \quad (3.3)$$

Bu iki bağıntı eşitlenip düzlemsel eleman kalınlığı (d) hesaplanır. Daha sonra rijit elemanın alanı(A), normal rijitliği (EA) ve eğilme rijitliği (EI) hesaplanıp Tablo 3.9' da verilmiştir. Binaya ait veriler kullanılan sonlu elemanlar programında girişi yapılarak analizlerde kullanılmıştır.

Tablo 3.9: Binaya ait mekanik özellikleri

	En (cm)	Boy (cm)	I_{rijit} (m ⁴)	A (m ²)	EI (kNm ²)	EA (kN)	W (kN/m ²)
S9-S12	40	60	0,00320	0,3373731	96000	10121192	50
S10-S11	60	40	0,00720	0,4420838	216000	13262513	
Kiriş	25	60	0,00849	0,2040000	255000	6120216	
Temel	60	100	0,01800	0,6000000	540000	18000000	

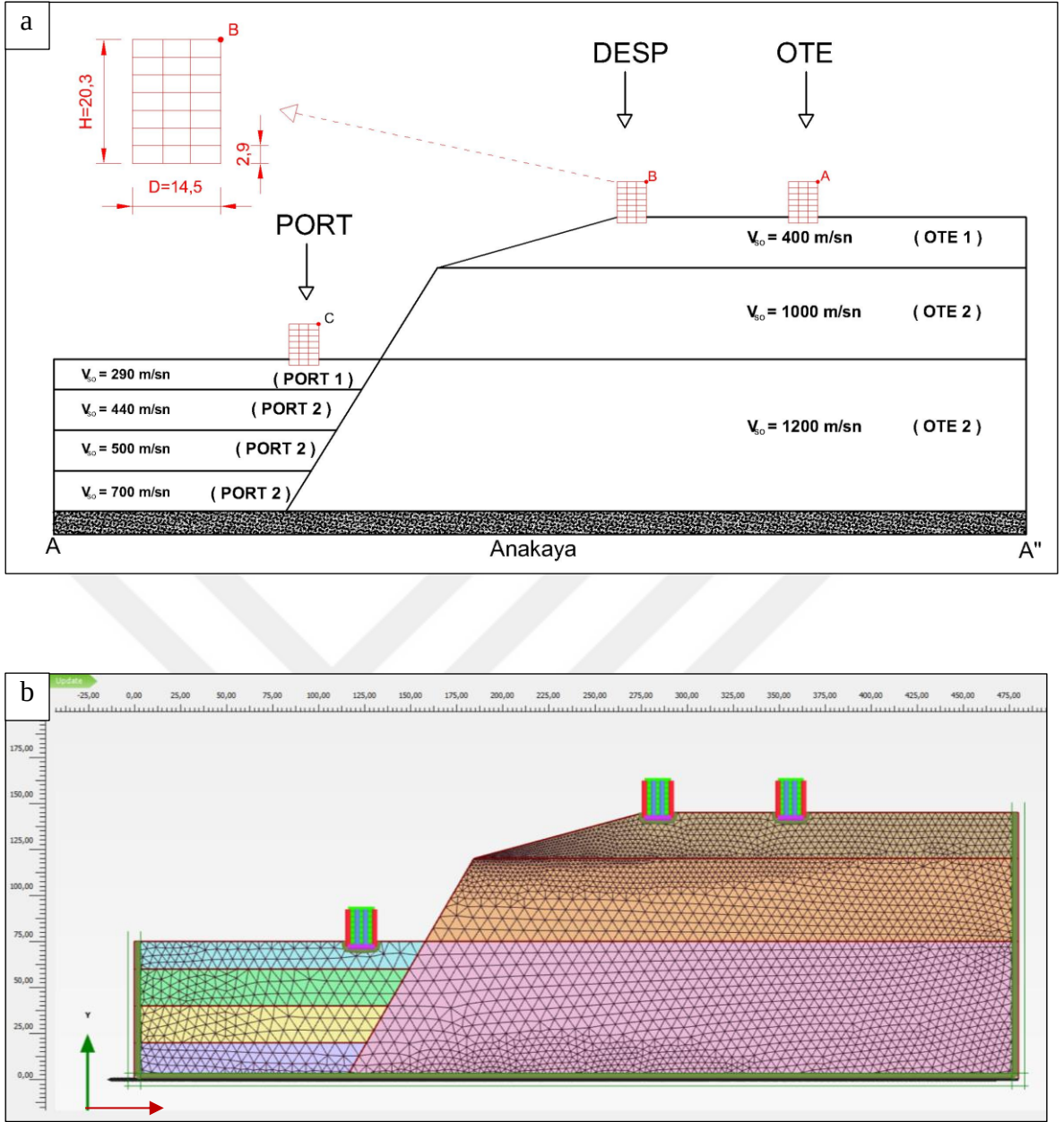
Her üç programla yapılan bina kat sayısına bağlı periyot değişiminin analizlerde elde edilen sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu sonucu, analizlerin güvenilir ve tutarlı olduğunu göstermektedir (Tablo 3.10).

Tablo 3.10: Binaya ait periyot kıyaslama

<i>Bina Kat Sayısı</i>	<i>SAP 2000</i>	<i>PLAXIS</i>	<i>STA4CAD</i>
1	0,119	0,102	0,128
2	0,218	0,192	0,251
3	0,322	0,313	0,380
4	0,427	0,417	0,512
5	0,534	0,556	0,629
6	0,640	0,715	0,764
7	0,750	0,833	0,857

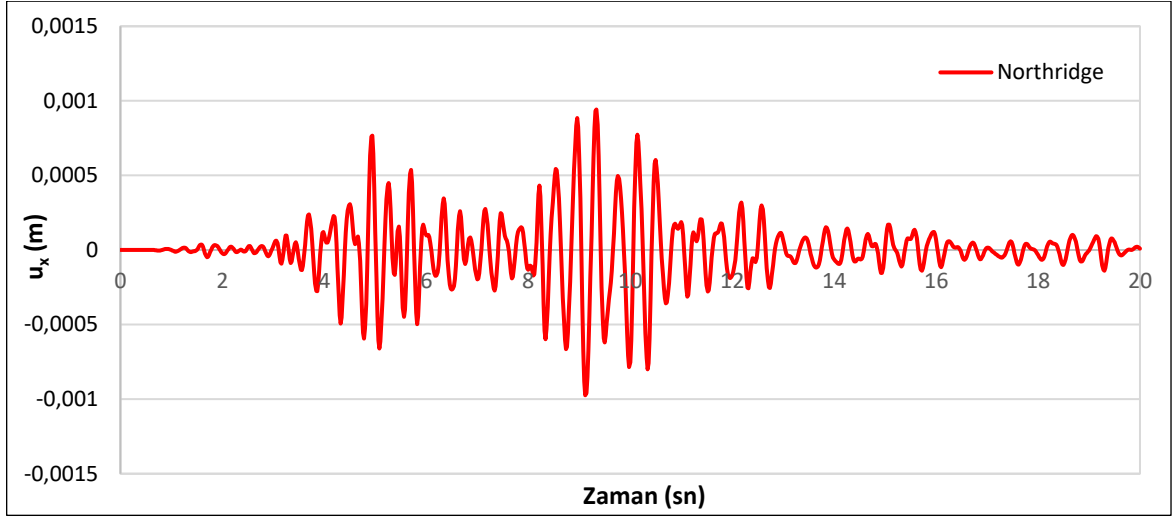
3.2.4. Farklı Sismik Titreşimlere Bağlı Yapısal Davranış

Çalışma kapsamında PORT-DESP-OTE bölgesindeki 7 katlı (Bodrum + Zemin + 5 kat) bir binayı modelleyerek, her üç bölgede 3 farklı depremin yapıda meydana getirdiği sismik davranışın zamanla değişen maksimum yatay ve düşey yer değişimlerini incelenmiştir. Bu sonuçlar, yapısal mühendislik ve sismolojide, binaların depremlere karşı davranışını değerlendirmek için önemlidir. Farklı frekans içeriklerine sahip kuvvetli yer hareketlerinin yapılarda oluşturduğu titreşim davranışının değerlendirilmesi için gözlem noktaları olarak bina tepe noktaları seçilmiştir. Basamaklı topoğrafyaya sahip olan tepe-ova kesitinin OTE, DESP ve PORT bölgelerinde bina narinlik oranı 1.4 olan çok serbestlik dereceli yapıların dinamik davranışı, Şekil 3.93-a’de görüldüğü gibi sırasıyla A, B ve C noktaları ve temelinde alınan noktalarda meydana gelen yapısal titreşimler değerlendirilerek ele alınmıştır. Burada değinilmesi gereken önemli bir diğer husus, sismik yüklemeler etkisi altındaki yapı-zemin etkileşim problemi için geliştirilen sonlu eleman modelinin sınırlarında kullanılacak olan yapay sönümleyicilerin uygun mesafelerde konumlandırılması gerekliliğidir. Konuyla alakalı literatürde yapılan çalışmalar (Dasgupta, 1982; Çelebi vd. 2012) temel taban genişliğinin 8-10 katı oranında model sınırlarından binanın uzakta olması gerektiğini ifade etmektedir. Bu bağlamda sayısal modelde analiz edilen üç açıklıklı düzlem çerçeve sistemi hem OTE hem de PORT bölgesi için binanın 116 m uzağında olacak şekilde yapay sönümleyiciler yerleştirilmiştir (Şekil 3.93-b).

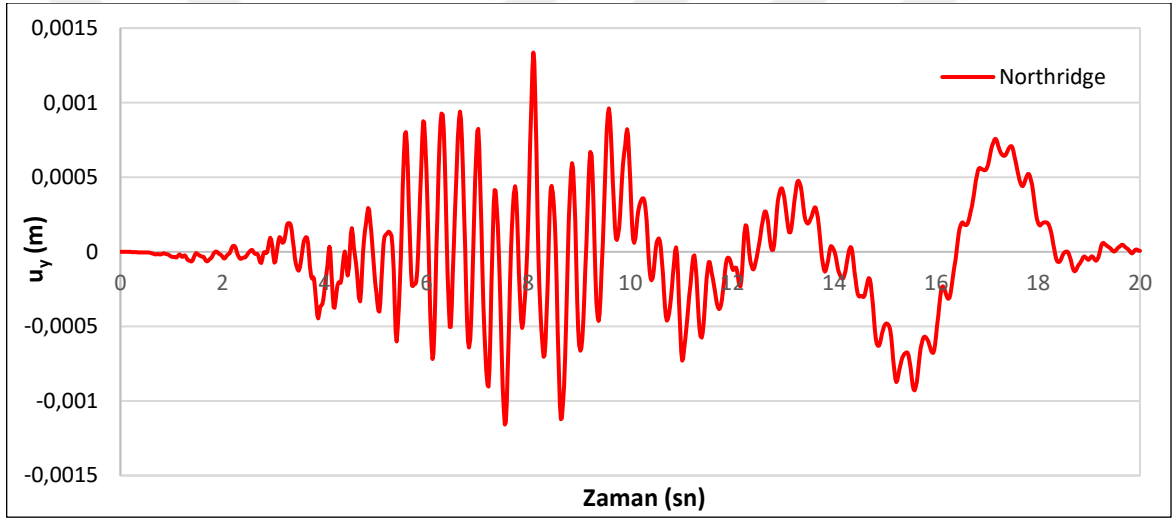


Şekil 3.93 : Üstyapı titreşimlerinin değerlendirilmesi için kullanılan dalga yayılım problemi
a) Şematik görünüm b) Sonlu eleman modeli

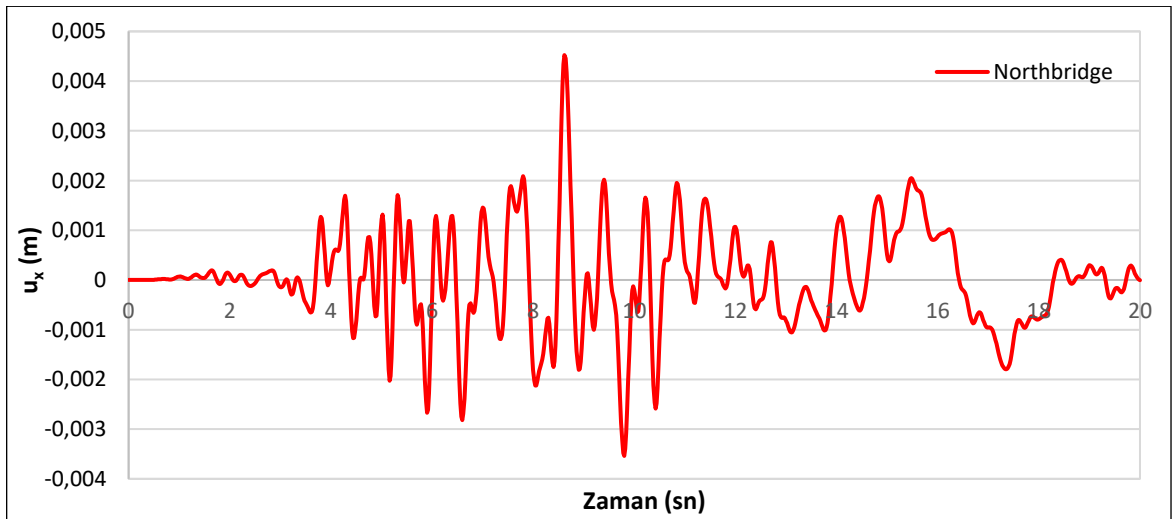
Northridge depremine göre sonlu elemanlar yöntemi kullanan PLAXIS programında yapılan analizler yapı-zemin etkileşimi sonucunda binanın çatı katının köşesinde seçilen noktadaki maksimum yer değiştirmesi PORT bölgesi x yönünde 0,974 mm, y yönünde 1,336 mm elde edilmiştir (Şekil 3.94-3.95). DESP bölgesinde x yönündeki maksimum yer değiştirmesi 4,523 mm ve y yönündeki yer değiştirmesi de 1,116 mm elde edilmiştir (Şekil 3.89-3.90). OTE bölgesinde de x yönünde 6,015 mm ve y yönünde 0,761 mm yer değiştirmesi hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre binanın OTE bölgesinde en fazla titreşime maruz kalacağı anlaşılmaktadır (Şekil 3.96-3.99).



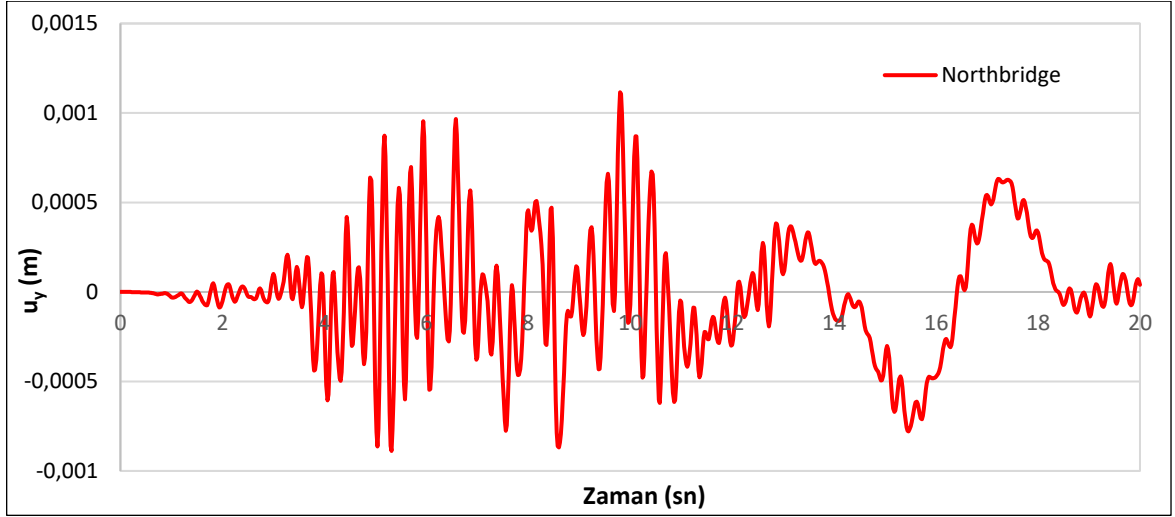
Şekil 3.94 : Northridge depremi PORT bölgesi yer değıştirme (u_x) grafiğı



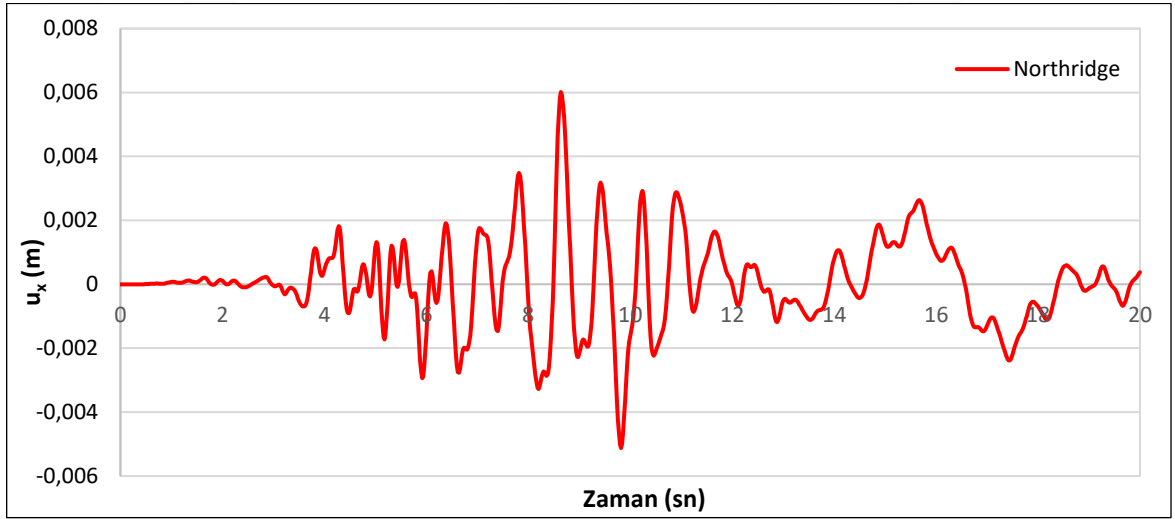
Şekil 3.95 : Northridge depremi PORT bölgesi yer değıştirme (u_y) grafiğı



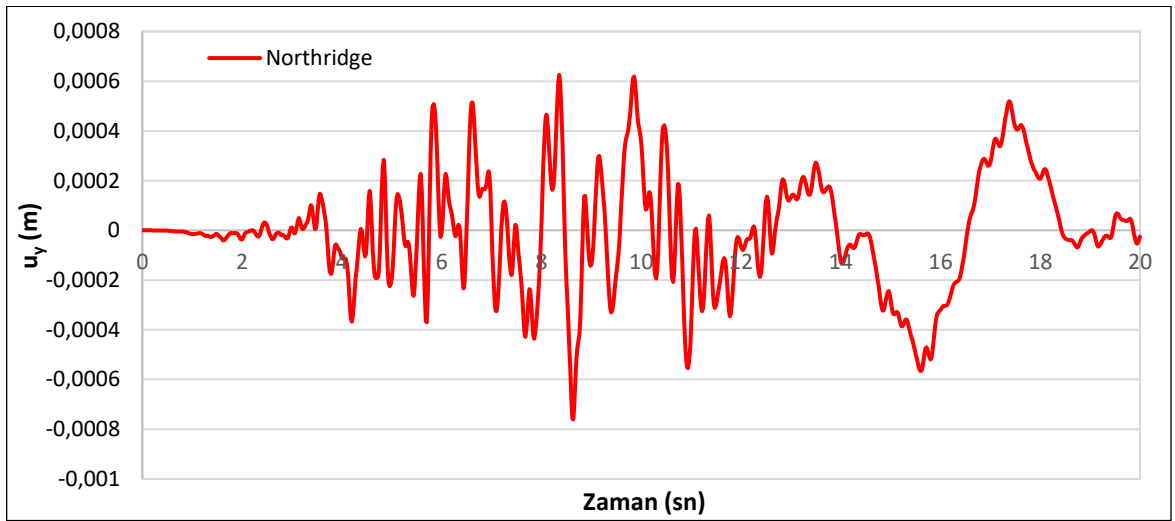
Şekil 3.96 : Northridge depremi DESP bölgesi yer değıştirme (u_x) grafiğı



Şekil 3.97 : Northridge depremi DESP bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği

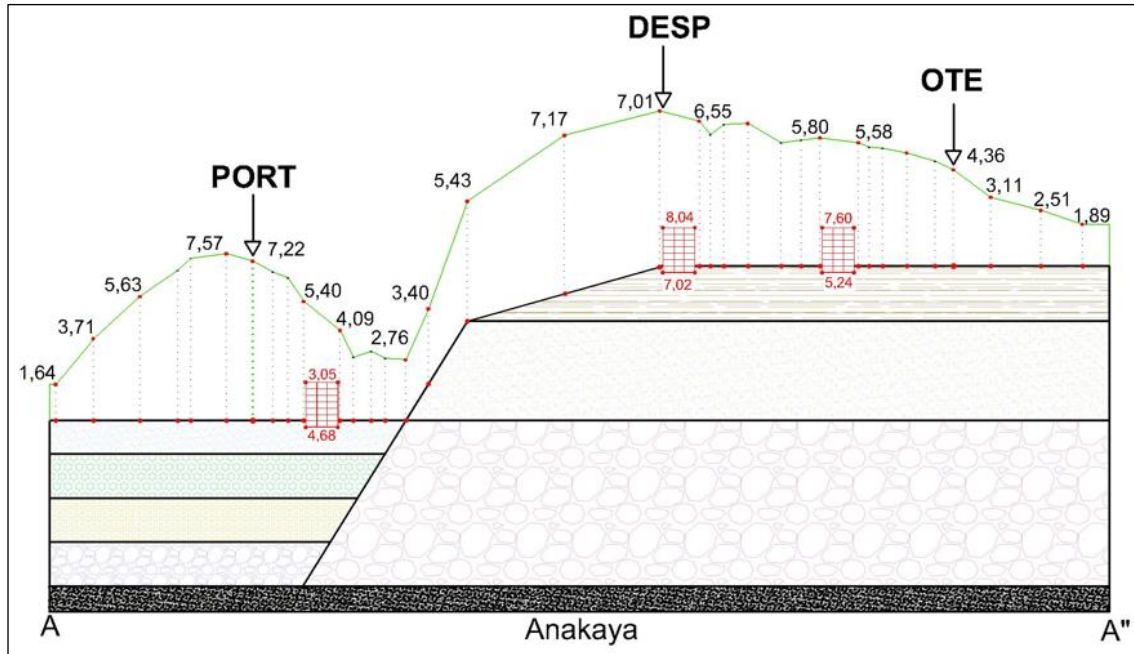


Şekil 3.98 : Northridge depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği

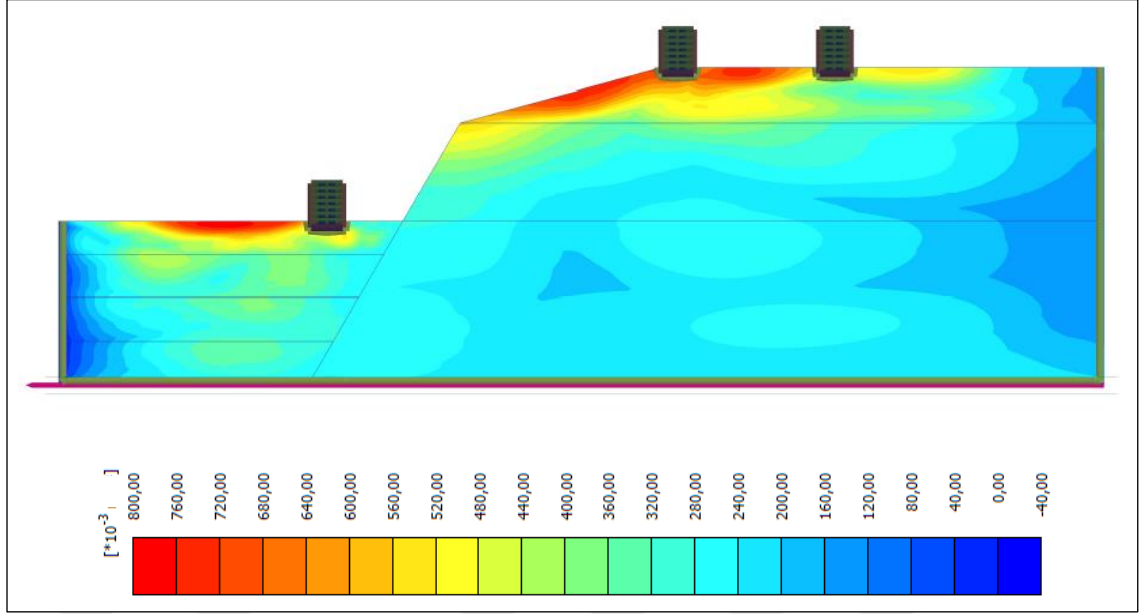


Şekil 3.99 : Northridge depremi OTE bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği

Northridge depreminin a_x ivme bileşeni OTE, DESP ve PORT bölgesindeki topoğrafik etkisiyle yerel zemindeki büyütme etkisi DESP ve PORT bölgesinde 7 kat civarında bir artışla birbirine yakın değerlere ulaşmıştır. OTE bölgesinde de 4,36 kat civarlarında büyütme etkisi göstermiştir. Serbest zemin koşulları ile yapı-zemin etkileşimini anlamak için 2 boyutlu zemin profilinde PORT- DESP ve OTE bölgesinde belirlenen yerlerdeki tanımlanan 7 katlı bina üzerinde belirlenen noktalarındaki ivme ve yer değiştirmeler incelemek üzere analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde elde edilen yapı-zemin etkileşim sonuçlarına göre PORT bölgesinde serbest zemin yüzeyinde ivme büyütme değeri 5,40 kat artarken bodrum katın temel seviyesinde 4,68 kat ve bina tepe noktasında sönümlenerek 3,05 kat artmıştır. DESP bölgesinde serbest zemin yüzeyindeki ivme büyütme oranı 7 kat büyütürken temel noktasındaki değer de 7,02 kat artış görülürken, bina tepe noktasında 8,04 kat artış değeriyle yapı zemin etkileşiminde 1,04 kat artış olmuştur. OTE bölgesinde serbest zemin yüzeyindeki ivme büyütme oranı 5,80 kat artarken, temel noktasındaki değer de 5,24 kat artış gösterirken, bina tepe noktasında 7,60 kat artış değeriyle yapı-zemin etkileşiminde 1,80 kat artış olmuştur. En fazla artışında DESP bölgesinde olduğu gözlenmektedir (Şekil 3.100). Buradan da anlaşıyor ki yapı-zemin etkileşiminde, bina periyodu ve sönüm değerlerine bağlı olarak büyütme oranları, binaya etkileyen ivme değerlerini önemli ölçüde artırmaktadır. Bina tasarımında da bu zemin büyütme etkilerini dikkate almak gerekmektedir. 2-D zemin kesitinde bina civarındaki zemin yüzey ivme hareketlerini Şekil 3.101 de gösterilmiştir.

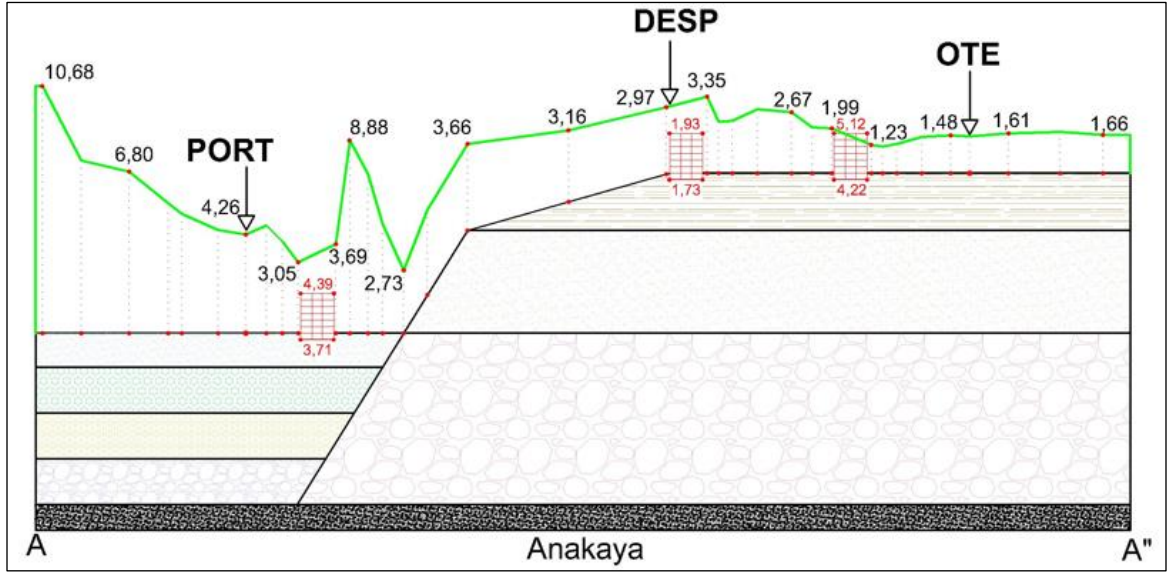


Şekil 3.100 : Northridge depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_x) ivme büyütme oranları

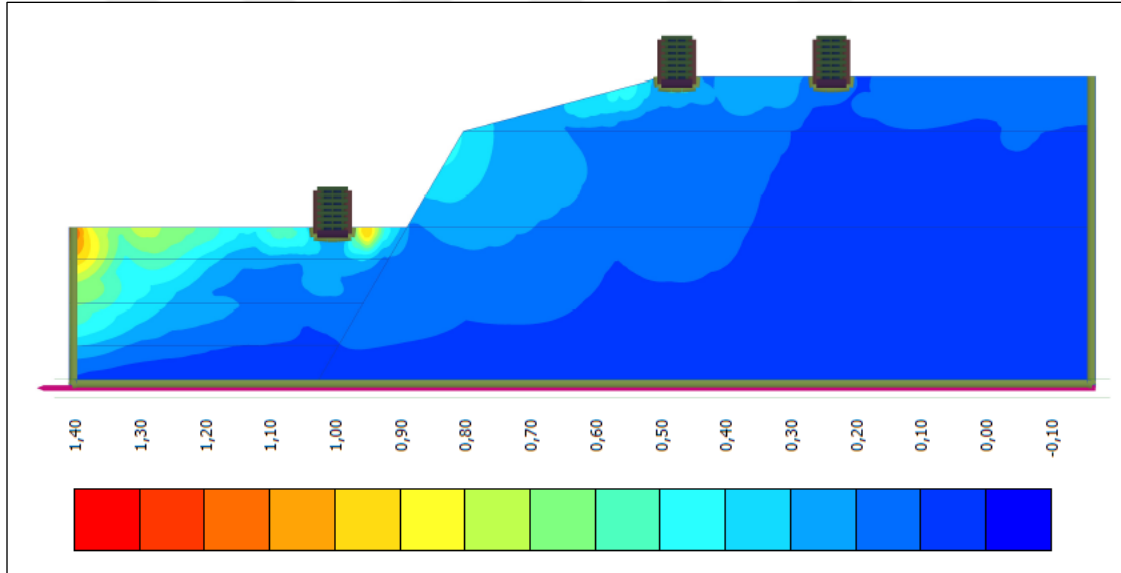


Şekil 3.101 : Northridge depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_x) pik ivmeleri

Düşey yönde analizlerde elde edilen yapı-zemin etkileşim sonuçlarına göre PORT bölgesinde serbest zemin yüzeyinde ivme büyütme değeri 3,05 kat artarken bodrum katın temel seviyesinde 3,71 kat ve bina tepe noktasında sönümlenerek 4,39 kat artmıştır. DESP bölgesinde serbest zemin yüzeyindeki ivme büyütme oranı 2,97 kat büyütürken temel noktasındaki değer de 1,73 kat artış görülürken, bina tepe noktasında 1,93 kat artış değeriyle yapı zemin etkileşiminde 1,04 kat azalış olmuştur. OTE bölgesinde serbest zemin yüzeyindeki ivme büyütme oranı 1,99 kat artarken, temel noktasındaki değer de 4,22 kat artış gösterirken, bina tepe noktasında 5,12 kat artış değeriyle yapı-zemin etkileşiminde 3,13 kat artış olmuştur (Şekil 3.102). 2-D zemin kesitindeki bina civarındaki zemin yüzey ivme hareketlerini Şekil 3.103 de gösterilmiştir.



Şekil 3.102 : Northridge depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_y) ivme büyütme oranları



Şekil 3.103 : Northridge depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_y) pik ivmeleri

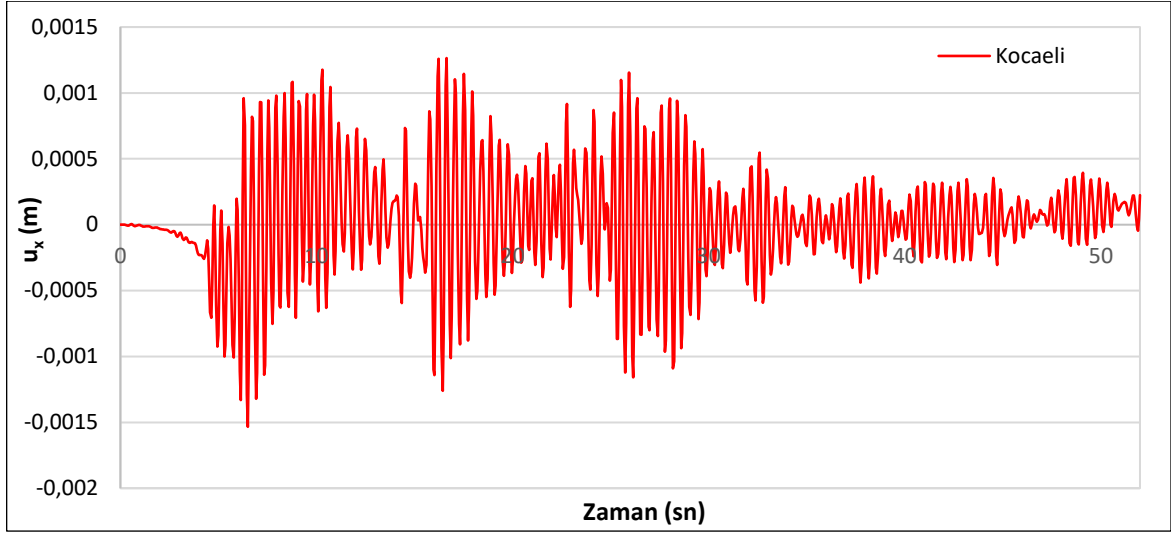
Northridge depreminin neden olduğu titreşim hareketlerinin üstyapı üzerindeki etkilerini değerlendirebilmek amacıyla, yapı ile zeminin birlikte davranışını doğrudan ele alan bir sonlu eleman modeli kullanılarak dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. 7 katlı model binanın tepe noktasında ve temelinde belirlenen noktadaki yer değiştirmeleri ve ivmesel davranışlarını zemin kattan başlayarak 7 katlı yapıya kadar kat kat modellenerek analizleri yapılmıştır. Her bir katındaki yapı-zemin etkileşim durumlarına göre ayrı ayrı elde edilerek karşılaştırmalı bir şekilde Tablo 3.11’de sunulmuştur. Analizler sonucunda genel olarak PORT-DESP ve OTE bölgesinde zemin kattan 5.kata kadar tepe noktasında yatay yöndeki ivmelerde bir azalış, düşey yönde artış görülmektedir. PORT bölgesinde yatay yöndeki yer

değiştirmeler zemin kattan 5.kata tepe noktasına doğru azalırken, DESP ve OTE bölgesinde artmaktadır. Düşey yönde genel olarak artmaktadır. Binanın temel noktasındaki yatay yöndeki ivme değışimleri genel olarak artarken, PORT ve DESP bölgesinde düşey yönde azalırken OTE bölgesinde artmıştır. Yatay yöndeki yer değıştirmeler PORT ve DESP bölgesinde artarken, OTE bölgesinde azalmıştır. Düşey yönde yer değıştirmeler genel olarak artış göstermiştir.

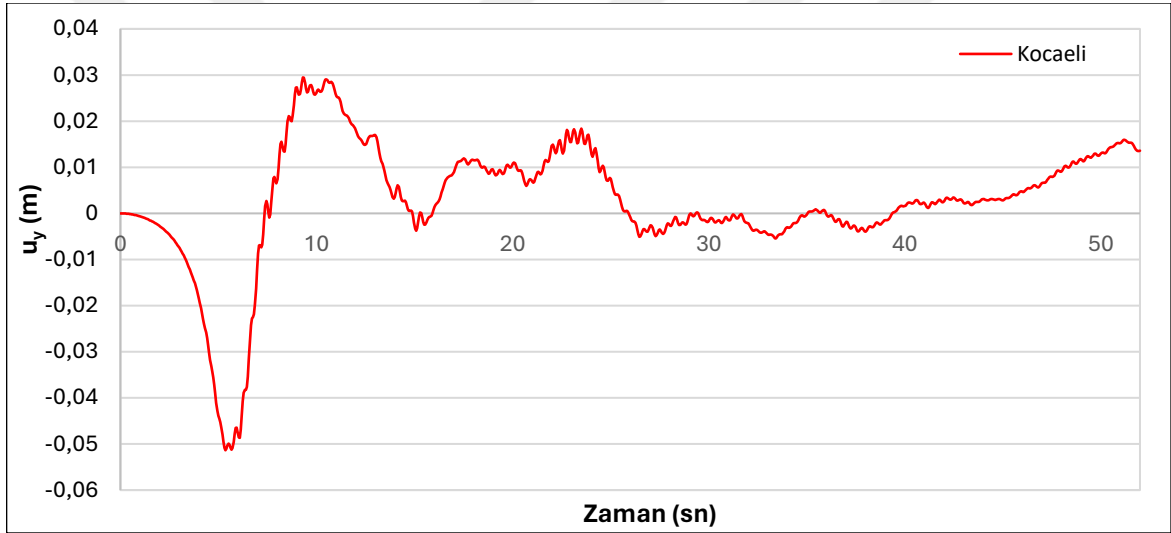
Tablo 3.11: Northridge depremine göre binadaki yer değıştirmeler ve ivmeler

Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	PORT -Ç	0,002142	0,000986	0,621	0,395
1	PORT -Ç	0,001559	0,000949	0,596	0,457
2	PORT -Ç	0,001670	0,00093	0,497	0,412
3	PORT -Ç	0,001007	0,000899	0,381	0,390
4	PORT -Ç	0,001159	0,001021	0,413	0,452
5	PORT -Ç	0,000926	0,001254	0,314	0,452
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	DESP-Ç	0,003108	0,000739	1,306	0,420
1	DESP-Ç	0,003927	0,000772	1,364	0,467
2	DESP-Ç	0,005484	0,000768	1,358	0,437
3	DESP-Ç	0,005725	0,000968	0,773	0,337
4	DESP-Ç	0,004735	0,001053	0,943	0,482
5	DESP-Ç	0,00453	0,001127	0,83	0,199
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	OTE-Ç	0,003212	0,000592	1,036	0,142
1	OTE-Ç	0,003645	0,000578	1,156	0,170
2	OTE-Ç	0,005578	0,000633	1,220	0,252
3	OTE-Ç	0,006071	0,000765	0,752	0,292
4	OTE-Ç	0,004664	0,000688	0,614	0,256
5	OTE-Ç	0,006250	0,000798	0,785	0,528
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	PORT -B	0,002846	0,000990	0,303	0,388
1	PORT -B	0,002795	0,000959	0,319	0,425
2	PORT -B	0,002813	0,000934	0,362	0,377
3	PORT -B	0,002818	0,000912	0,384	0,340
4	PORT -B	0,002845	0,000983	0,526	0,38
5	PORT -B	0,002871	0,001205	0,483	0,383
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	DESP-B	0,003305	0,00074	0,657	0,413
1	DESP-B	0,003289	0,000771	0,713	0,467
2	DESP-B	0,003334	0,000773	0,710	0,409
3	DESP-B	0,003345	0,000919	0,712	0,304
4	DESP-B	0,00342	0,000982	0,719	0,419
5	DESP-B	0,003422	0,001019	0,725	0,178
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	OTE-B	0,003329	0,000592	0,499	0,139
1	OTE-B	0,003320	0,000579	0,457	0,167
2	OTE-B	0,003325	0,000582	0,469	0,229
3	OTE-B	0,003277	0,000682	0,485	0,270
4	OTE-B	0,003319	0,000621	0,61	0,225
5	OTE-B	0,003318	0,00067	0,541	0,435

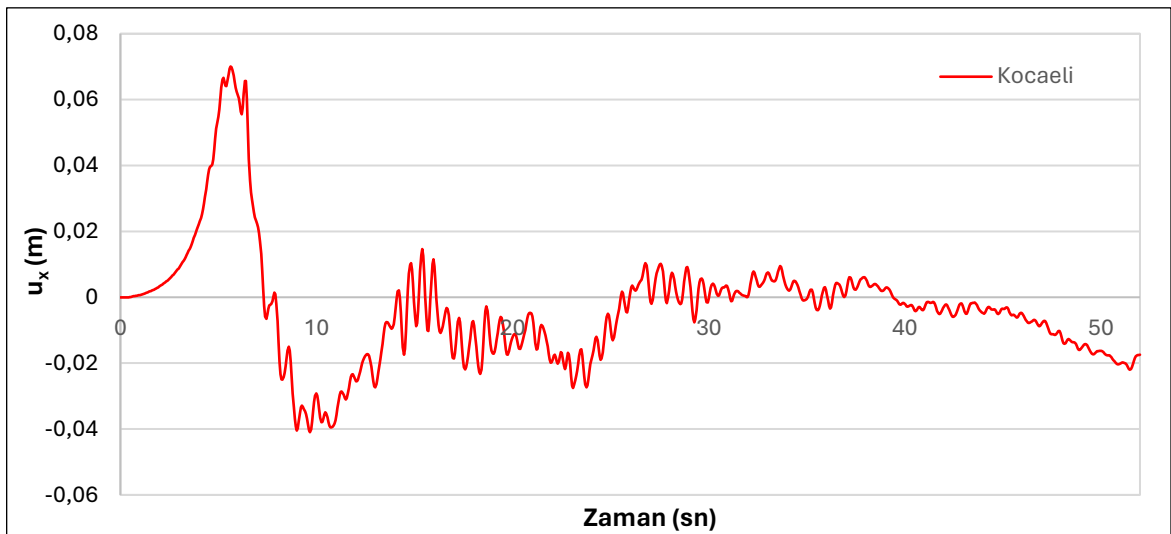
Kocaeli depremine göre maksimum yer değıştirmesi PORT bölgesi x yönünde 1,534 mm, y yönünde 51,36 mm elde edilmiştir (Şekil 3.104-3.105). DESP bölgesinde x yönündeki maksimum yer değıştirmesi 70,06 mm ve y yönündeki yer değıştirmesi de 32,14 mm elde edilmiştir (Şekil 3.106-3.107). OTE bölgesinde de x yönünde 90,54 mm ve y yönünde 23,02 mm yer değıştirmesi hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre binanın OTE bölgesinde en fazla titreşime maruz kalacağı anlaşılmaktadır (Şekil 3.108-3.109).



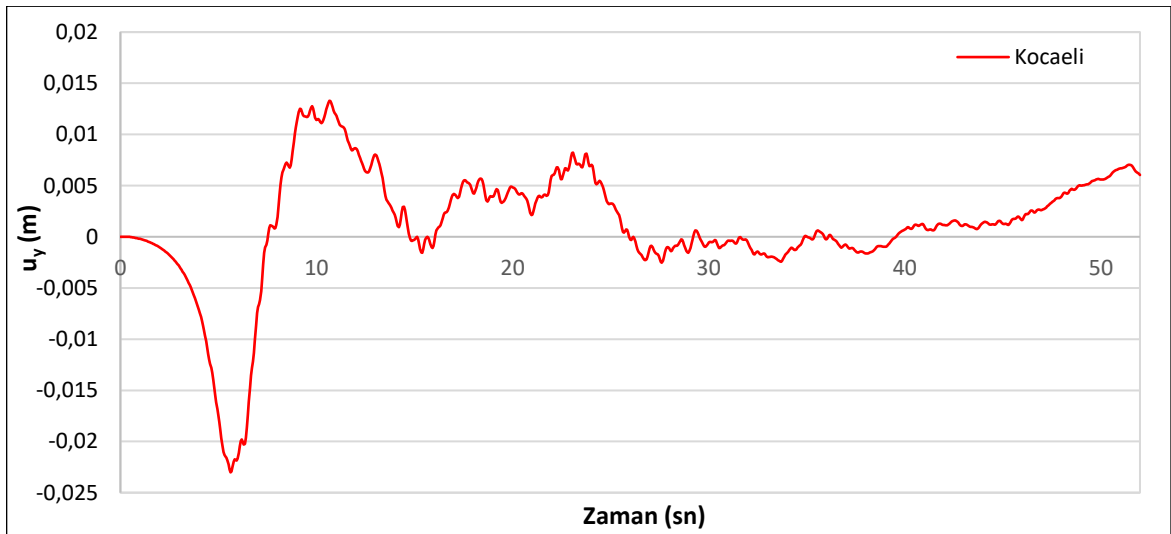
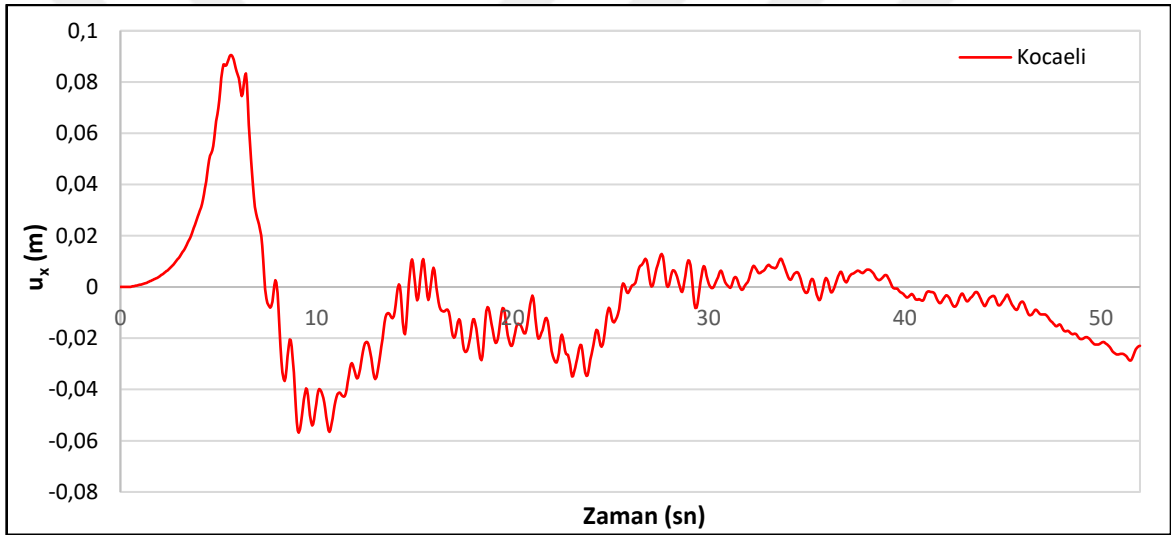
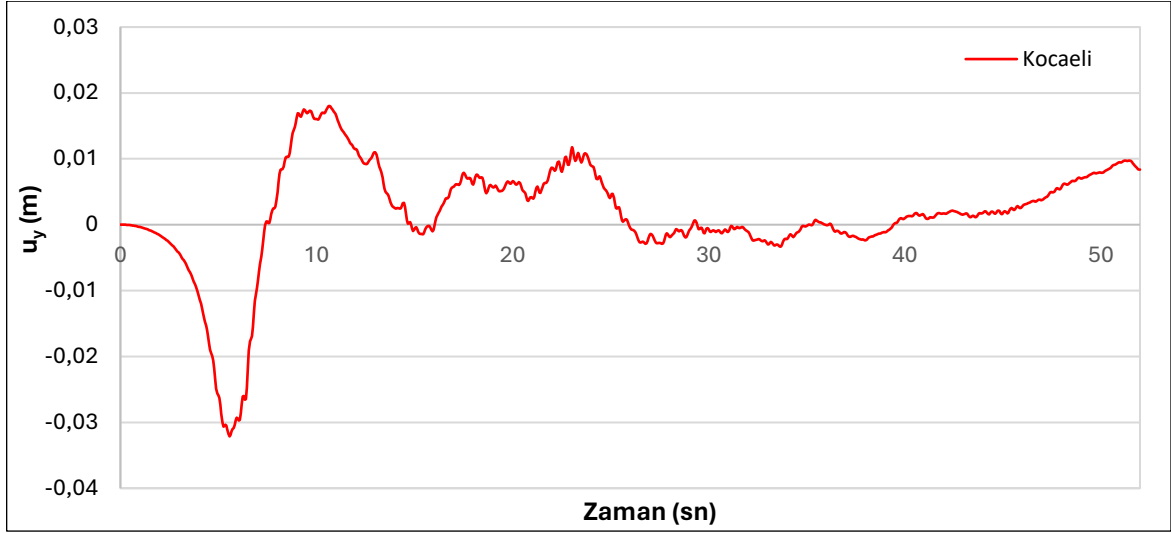
Şekil 3.104 : Kocaeli depremi PORT bölgesi yer değıştirme (u_x) grafiğı



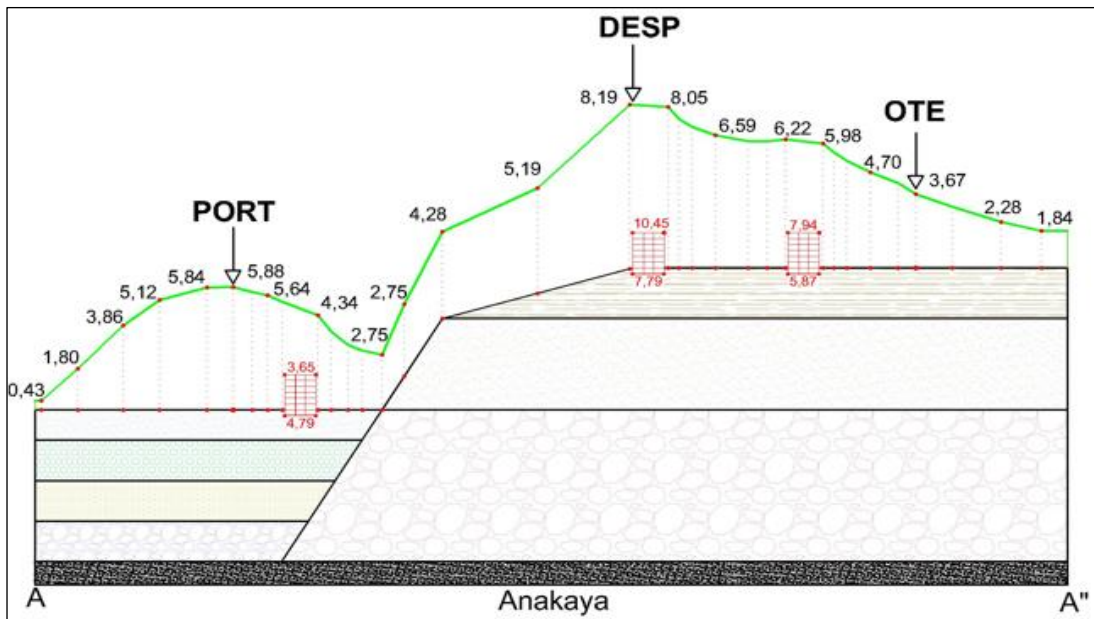
Şekil 3.105 : Kocaeli depremi PORT bölgesi yer değıştirme (u_y) grafiğı



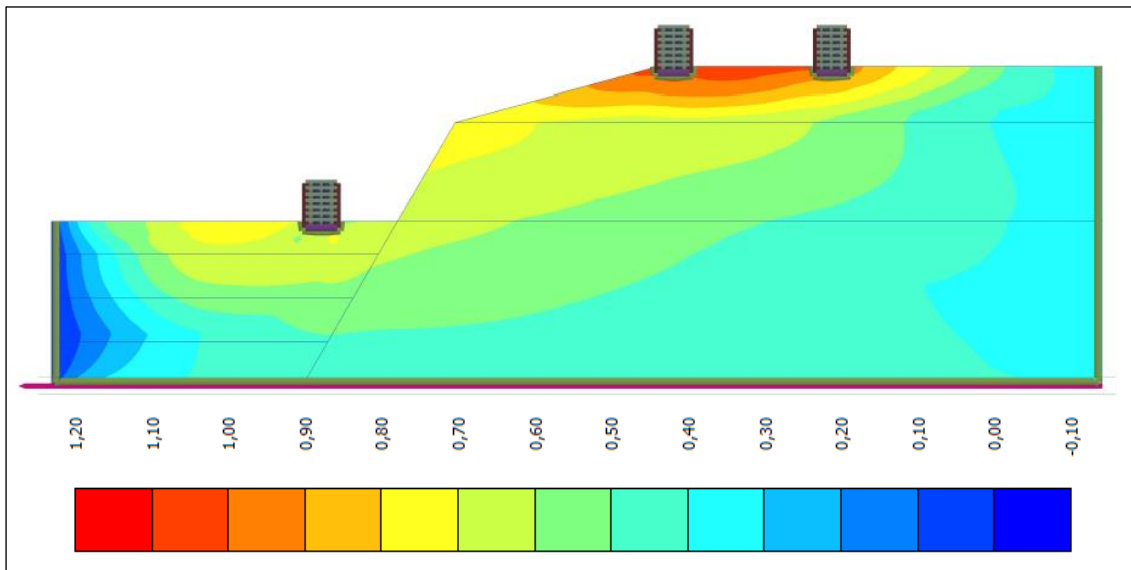
Şekil 3.106 : Kocaeli depremi DESP bölgesi yer değıştirme (u_x) grafiğı



Kocaeli depremine göre yapılan analizlerde yatay yönde elde edilen yapı-zemin etkileşim sonuçlarına göre PORT bölgesinde serbest zemin yüzeyinde ivme büyütme değeri 5,64 kat artarken bodrum katın temel seviyesinde 4,79 kat ve bina tepe noktasında sönümlenerek 3,65 kat artmıştır. DESP bölgesinde serbest zemin yüzeyindeki ivme büyütme oranı 8,19 kat büyütürken temel noktasındaki değer de 7,79 kat artış görülürken, bina tepe noktasında 10,45 kat artış değeriyle yapı zemin etkileşiminde 2,26 kat artış olmuştur. OTE bölgesinde serbest zemin yüzeyindeki ivme büyütme oranı 6,22 kat artarken, temel noktasındaki değer de 5,87 kat artış gösterirken, bina tepe noktasında 7,94 kat artış değeriyle yapı-zemin etkileşiminde 1,72 kat artış olmuştur (Şekil 3.110). İki boyutlu zemin kesitindeki topoğrafik etkilerden bina civarındaki zemin yüzey ivme hareketlerini Şekil 3.111’de gösterilmiştir.

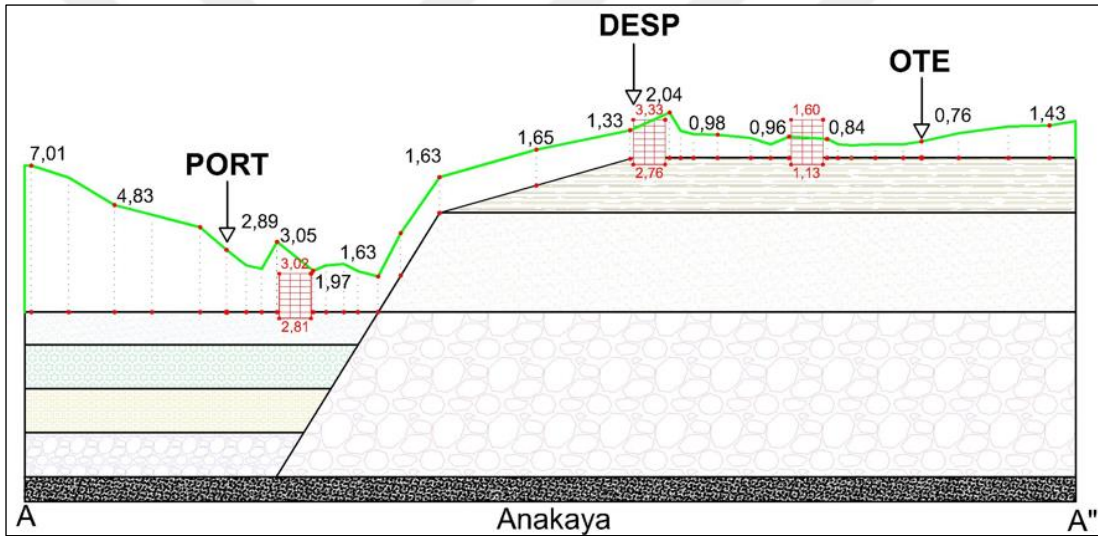


Şekil 3.110 : Kocaeli depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_x) ivme büyütme oranları

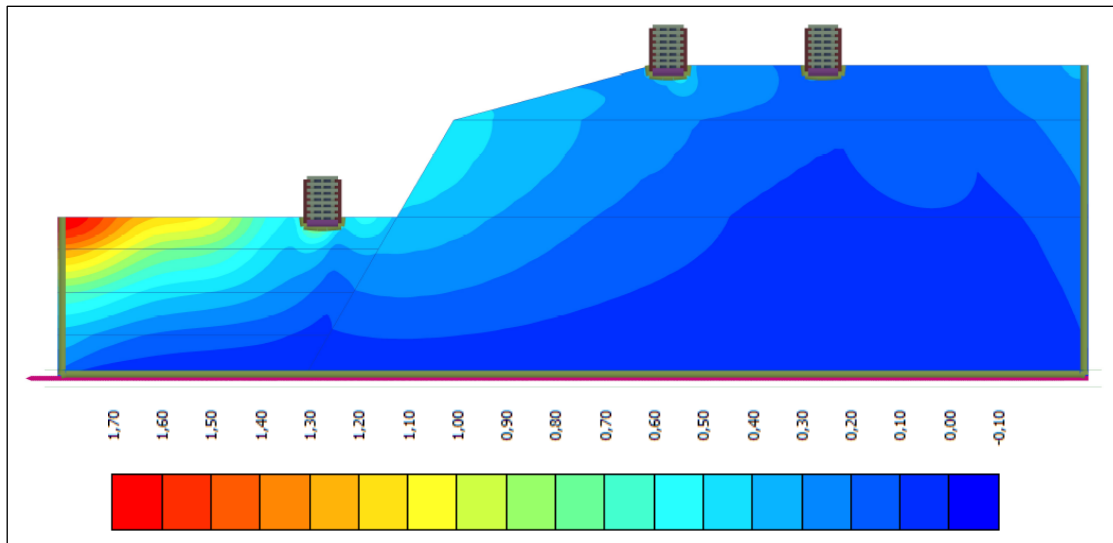


Şekil 3.111 : Kocaeli depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_x) pik ivmeleri

Kocaeli depremine göre yapılan analizlerde düşey yönde elde edilen yapı-zemin etkileşim sonuçlarına göre PORT bölgesinde serbest zemin yüzeyinde ivme büyütme değeri 3,05 kat artarken bodrum katın temel seviyesinde 2,81 kat ve bina tepe noktasında artarak 3,02 kat artmıştır. DESP bölgesinde serbest zemin yüzeyindeki ivme büyütme oranı 2,04 kat büyütürken temel noktasındaki değer de 2,76 kat artış görülürken, bina tepe noktasında 3,33 kat artış değeriyle yapı zemin etkileşiminde 0,57 kat artış olmuştur. OTE bölgesinde serbest zemin yüzeyindeki ivme büyütme oranı 0,96 kat artarken, temel noktasındaki değer de 1,13 kat artış gösterirken, bina tepe noktasında 1,60 kat artış değeriyle yapı-zemin etkileşiminde 0,64 kat artış olmuştur (Şekil 3.112). PORT bölgesinde değişmezken, DESP ve OTE bölgesinde yapı-zemin etkileşiminden dolayı 2 kat civarında bir artış olmuştur. İki boyutlu zemin kesitindeki düşey yöndeki topoğrafik etkilerden zemin yüzey ivme hareketlerini Şekil 3.113'te gösterilmiştir.



Şekil 3.112 : Kocaeli depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_y) ivme büyütme oranları



Şekil 3.113 : Kocaeli depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_y) pik ivmeleri

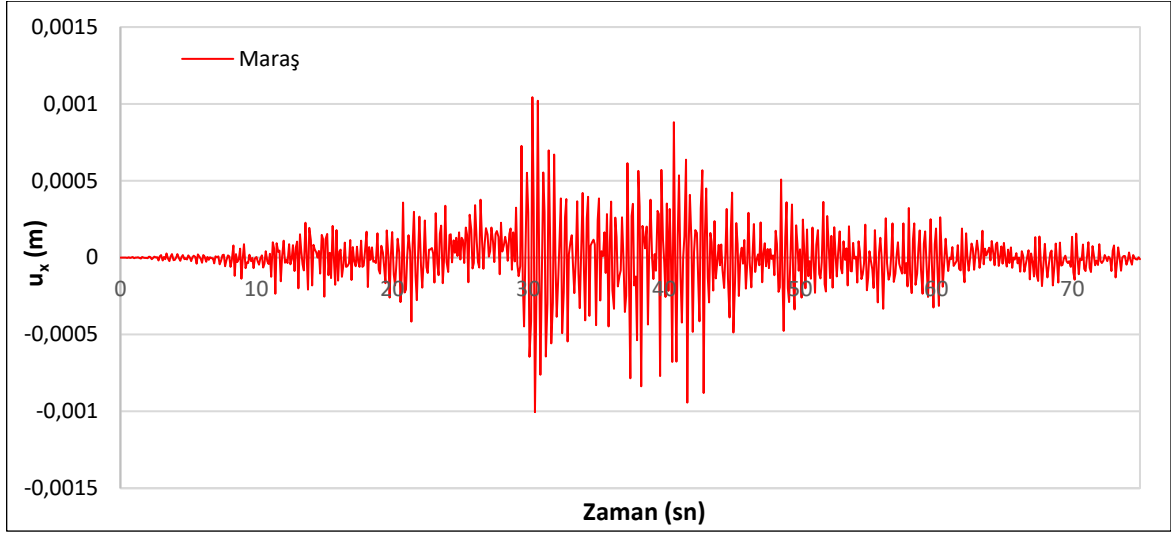
Analizler sonucunda genel olarak PORT-DESP ve OTE bölgesinde zemin kattan 5.kata kadar tepe noktasında yatay yöndeki ivmelerde bir azalış, düşey yönde artış görülmektedir. PORT bölgesinde yatay yöndeki yer değiştirmeler zemin kattan 5.kata tepe noktasına doğru azalırken, DESP ve OTE bölgesinde de azalma eğilimi göstermiştir. Düşey yönde genel olarak azalmıştır, fakat DESP ve OTE bölgesinde zemin kattan 5.kata doğru binanın tepe noktasında artış göstermektedir. Binanın yatay yöndeki ivme değişimleri genel olarak azalış eğilimi gösterirken, düşey yönde ivme hareketi genel olarak artış eğilimi göstermiş, PORT bölgesinde temel noktasında azalış göstermiştir. Yatay yöndeki yer değiştirmeler azalmıştır. Düşey yönde yer değiştirmeler genel olarak azalış göstermiştir (Tablo 3.12).

Tablo 3.12: Kocaeli depremine göre binadaki yer değiştirme ve ivme değerleri

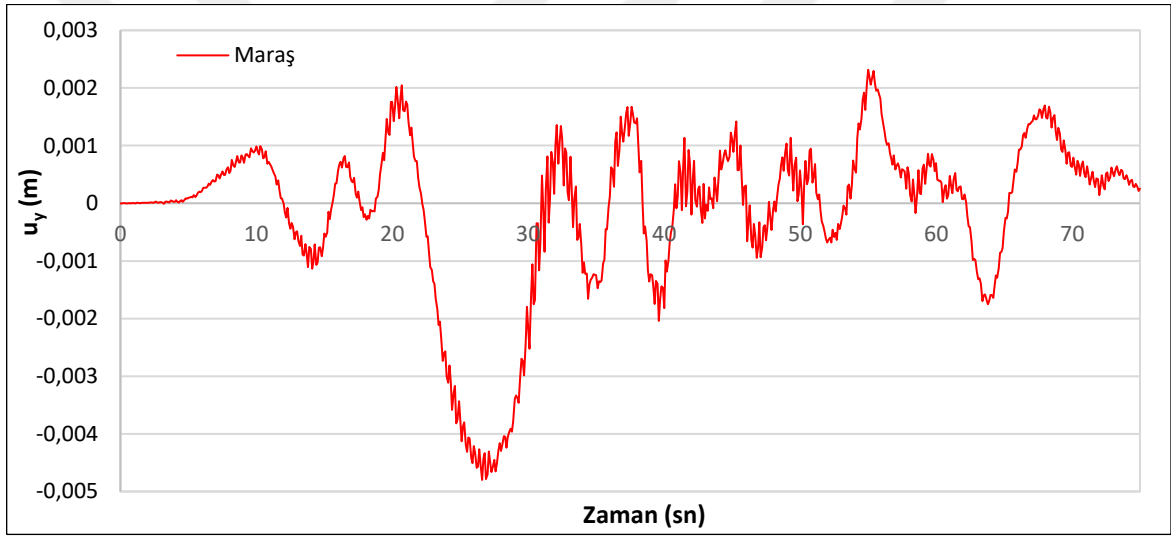
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	PORT -Ç	0,09348	0,06574	1,207	0,699
1	PORT -Ç	0,06173	0,06296	1,225	0,602
2	PORT -Ç	0,03728	0,06071	1,040	0,583
3	PORT -Ç	0,01959	0,05964	1,010	0,719
4	PORT -Ç	0,00856	0,05922	0,864	0,791
5	PORT -Ç	0,00257	0,05914	0,849	0,730
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	DESP-Ç	0,14823	0,03641	2,543	0,436
1	DESP-Ç	0,13852	0,03581	4,130	0,444
2	DESP-Ç	0,12536	0,03499	3,266	0,564
3	DESP-Ç	0,10752	0,03378	3,619	0,488
4	DESP-Ç	0,09006	0,03268	3,140	0,716
5	DESP-Ç	0,07151	0,06008	2,432	0,774
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	OTE-Ç	0,14792	0,02874	2,203	0,184
1	OTE-Ç	0,14283	0,02625	3,433	0,402
2	OTE-Ç	0,13407	0,02600	2,880	0,460
3	OTE-Ç	0,12177	0,02519	3,920	0,435
4	OTE-Ç	0,10685	0,02409	2,374	0,423
5	OTE-Ç	0,08983	0,03253	1,849	0,373

Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	PORT -B	0,12479	0,06589	1,083	0,694
1	PORT -B	0,12264	0,06337	0,911	0,597
2	PORT -B	0,12212	0,06137	1,071	0,578
3	PORT -B	0,12215	0,06044	0,968	0,652
4	PORT -B	0,12222	0,06015	0,972	0,721
5	PORT -B	0,12230	0,06008	0,651	0,654
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	DESP-B	0,15462	0,03644	1,863	0,431
1	DESP-B	0,15416	0,03592	1,619	0,417
2	DESP-B	0,15266	0,03525	1,523	0,519
3	DESP-B	0,15208	0,03429	1,741	0,444
4	DESP-B	0,15158	0,03339	1,810	0,619
5	DESP-B	0,15142	0,03144	1,814	0,641
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	OTE-B	0,15211	0,02676	1,439	0,181
1	OTE-B	0,15179	0,02634	1,158	0,370
2	OTE-B	0,15085	0,02415	1,159	0,420
3	OTE-B	0,15040	0,02550	1,336	0,375
4	OTE-B	0,14988	0,02463	1,384	0,353
5	OTE-B	0,14967	0,02297	1,367	0,263

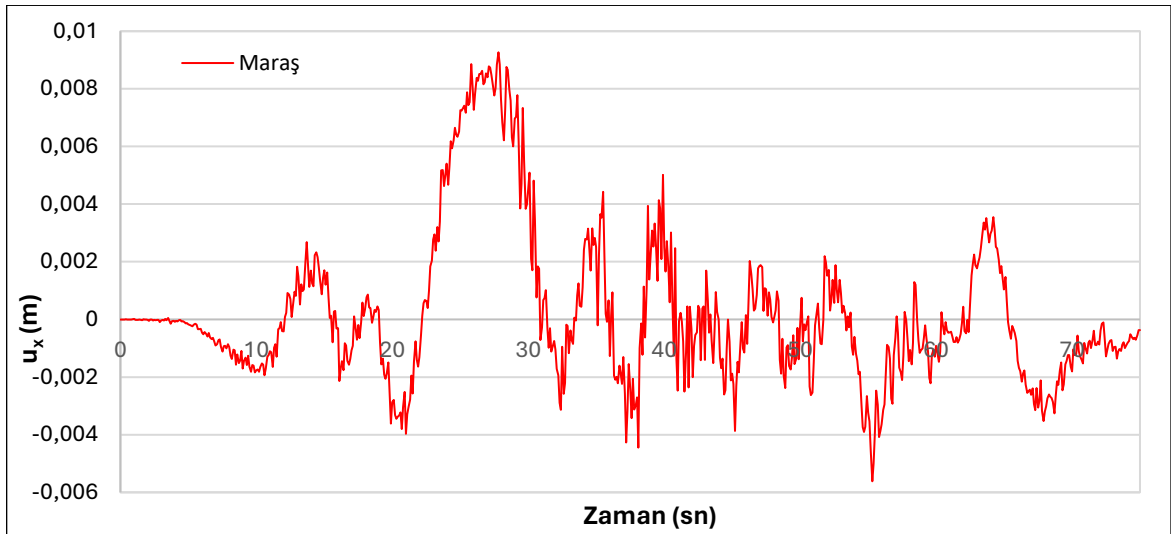
Kahramanmaraş depremine göre maksimum yer değiştirmesi PORT bölgesi x yönünde 1,04 mm, y yönünde 4,80 mm elde edilmiştir (Şekil 3.114-3.115). DESP bölgesinde x yönündeki maksimum yer değiştirmesi 9,27 mm ve y yönündeki yer değiştirmesi de 3,99 mm elde edilmiştir (Şekil 3.116-3.117). OTE bölgesinde de x yönünde 11,65 mm ve y yönünde 2,86 mm yer değiştirmesi hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre binanın OTE bölgesinde en fazla titreşime maruz kalacağı anlaşılmaktadır (Şekil 3.118-3.119).



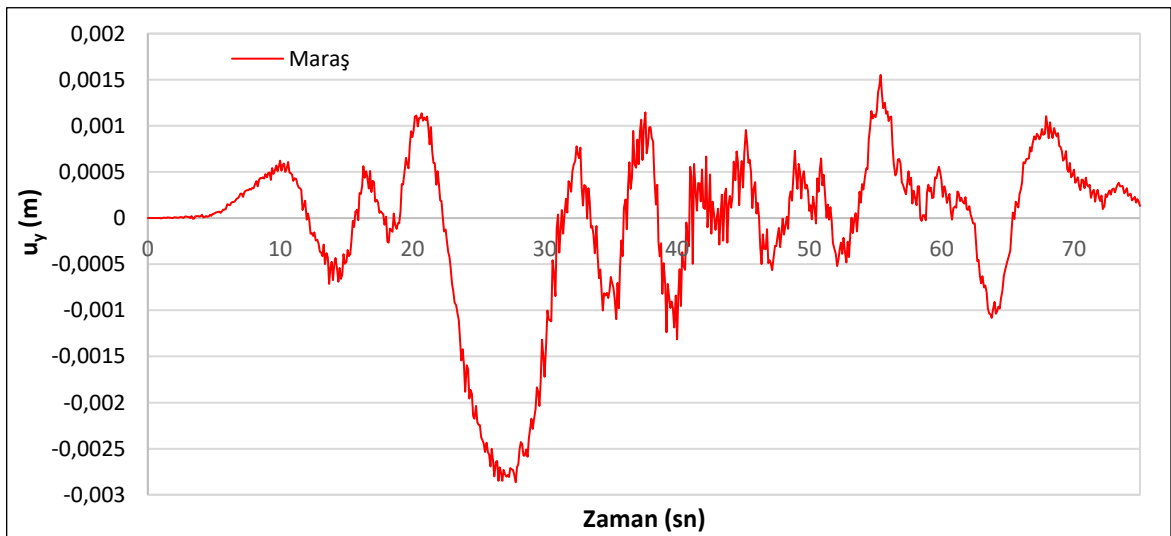
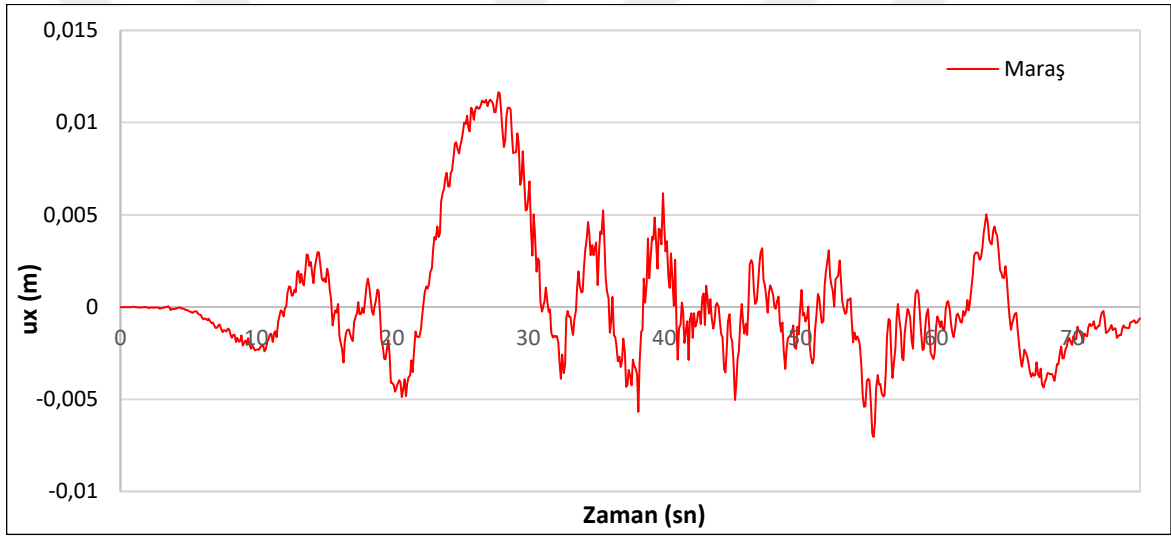
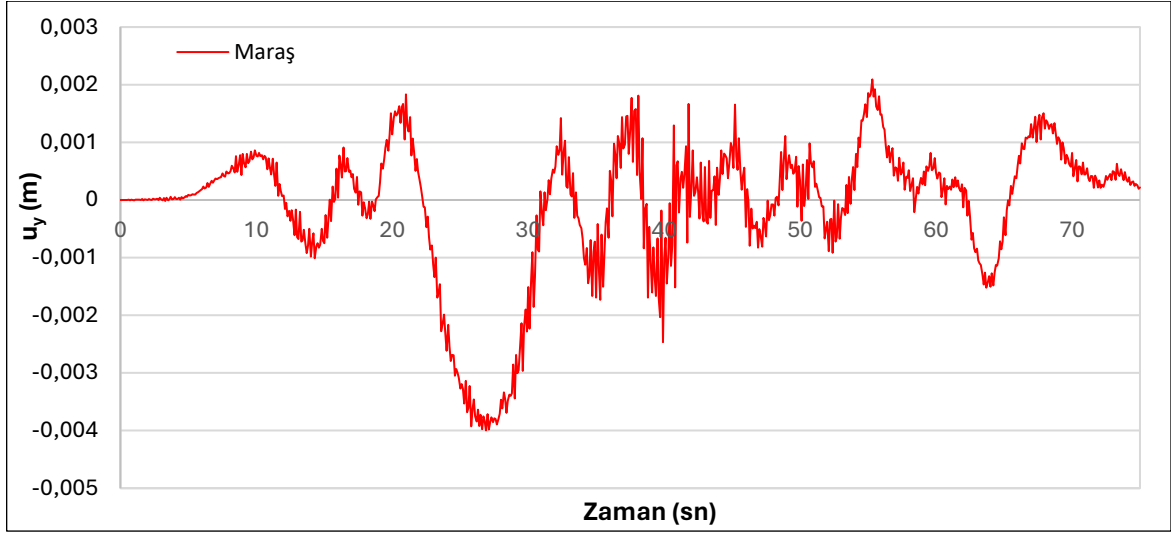
Şekil 3.114 : Kahramanmaraş depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği



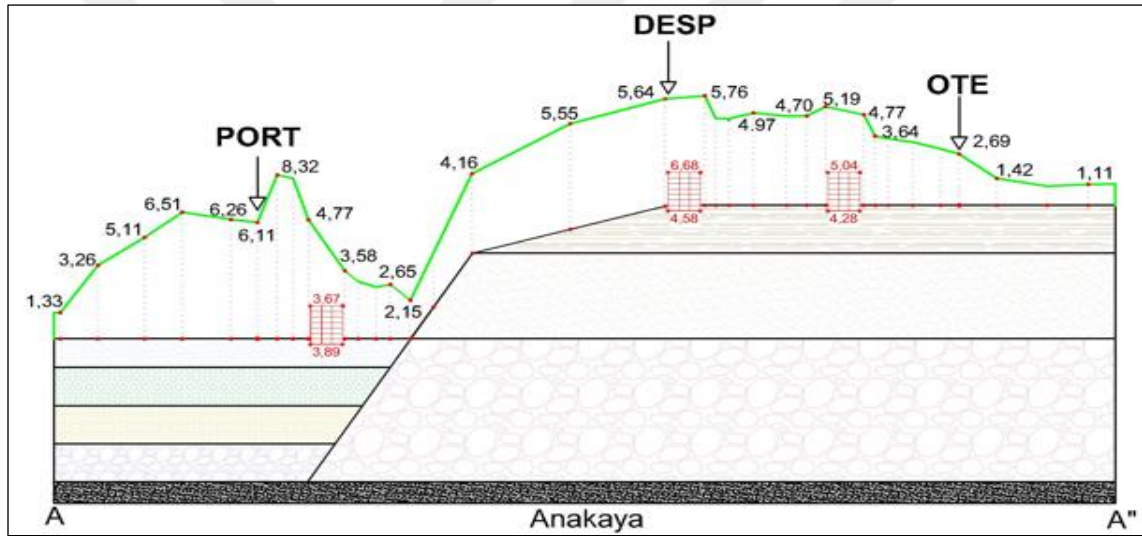
Şekil 3.115 : Kahramanmaraş depremi PORT bölgesi yer değiştirme (u_y) grafiği



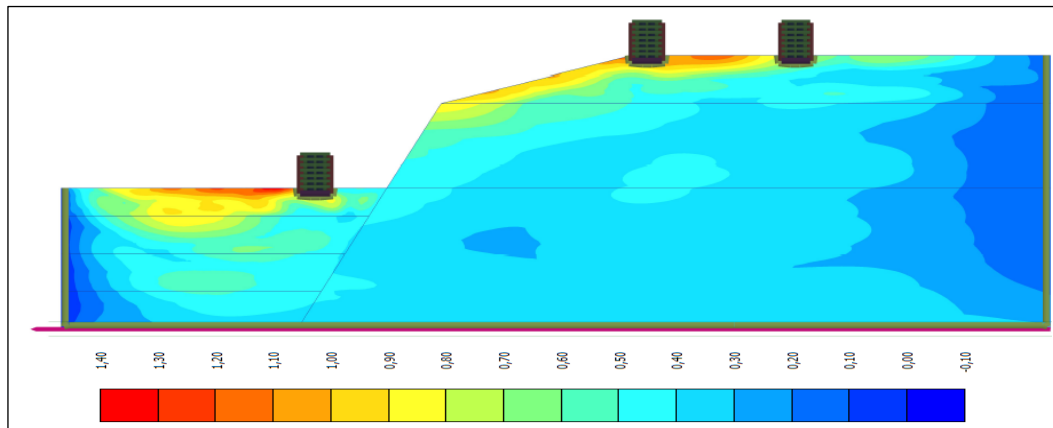
Şekil 3.116 : Kahramanmaraş depremi DESP bölgesi yer değiştirme (u_x) grafiği



Kahramanmaraş depremine göre yapılan analizlerde yatay yönde elde edilen yapı-zemin etkileşim sonuçlarına göre PORT bölgesinde serbest zemin yüzeyinde ivme büyütme değeri 4,77 kat artarken bodrum katın temel seviyesinde 3,89 kat ve bina tepe noktasında artarak 3,67 kat artmıştır. DESP bölgesinde serbest zemin yüzeyindeki ivme büyütme oranı 5,64 kat büyütürken temel noktasındaki değer de 4,58 kat artış görülürken, bina tepe noktasında 6,68 kat artış değeriyle yapı zemin etkileşiminde 1,04 kat artış olmuştur. OTE bölgesinde serbest zemin yüzeyindeki ivme büyütme oranı 5,19 kat artarken, temel noktasındaki değer de 4,28 kat artış gösterirken, bina tepe noktasında 5,04 kat artış değeriyle yapı-zemin etkileşiminde 0,15 kat artış olmuştur (Şekil 3.120). PORT ve OTE bölgesinde değişmezken, DESP bölgesinde yapı-zemin etkileşiminden dolayı 1,2 kat civarında bir artış olmuştur. İki boyutlu zemin kesitindeki düşey yöndeki topoğrafik etkilerden zemin yüzey ivme hareketlerini Şekil 3.121’te gösterilmiştir.

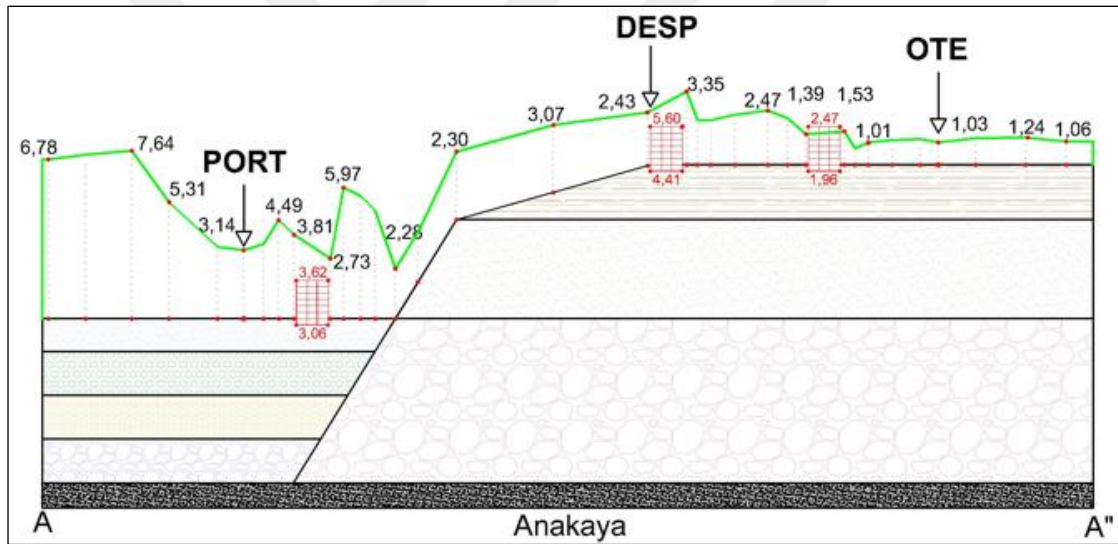


Şekil 3.120 : Kahramanmaraş depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_x) ivme büyütme oranları

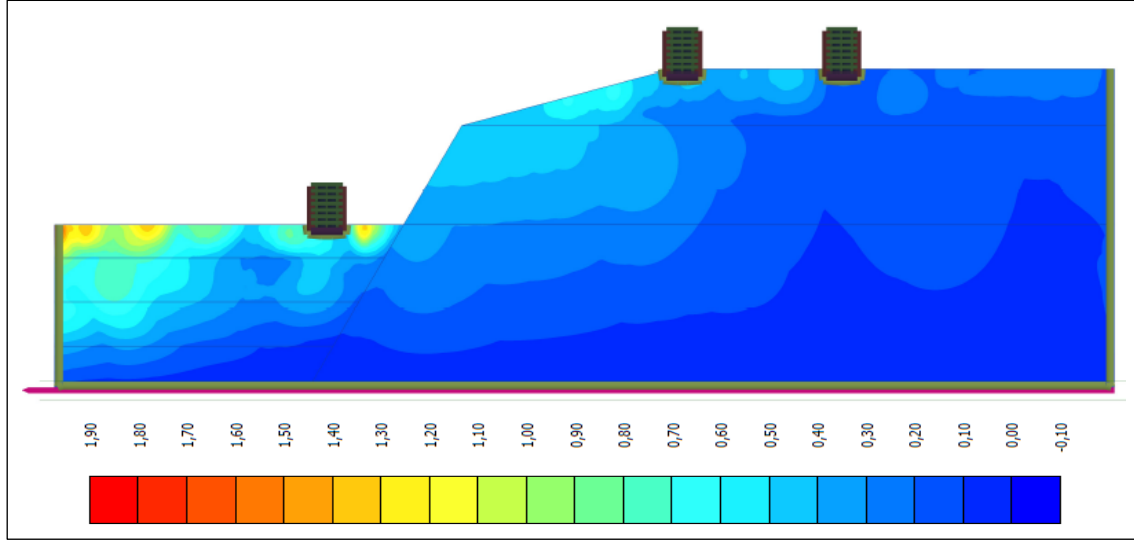


Şekil 3.121 : Kocaeli depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_x) pik ivmeleri

Kahramanmaraş depremine göre yapılan analizlerde düşey yönde elde edilen yapı-zemin etkileşim sonuçlarına göre PORT bölgesinde serbest zemin yüzeyinde ivme büyütme değeri 3,81 kat artarken bodrum katın temel seviyesinde 3,06 kat ve bina tepe noktasında artarak 3,62 kat artmıştır. DESP bölgesinde serbest zemin yüzeyindeki ivme büyütme oranı 2,43 kat büyütürken temel noktasındaki değer de 4,41 kat artış görülürken, bina tepe noktasında 5,60 kat artış değeriyle yapı zemin etkileşiminde 3,17 kat artış olmuştur. OTE bölgesinde serbest zemin yüzeyindeki ivme büyütme oranı 1,39 kat artarken, temel noktasındaki değer de 1,96 kat artış gösterirken, bina tepe noktasında 2,47 kat artış değeriyle yapı-zemin etkileşiminde 1,08 kat artış olmuştur (Şekil 3.122). PORT bölgesinde değişmezken, DESP ve OTE bölgesinde yapı-zemin etkileşiminden dolayı 2 kat civarında bir artış olmuştur. İki boyutlu zemin kesitindeki düşey yöndeki topoğrafik etkilerden zemin yüzey ivme hareketlerini Şekil 3.123'te gösterilmiştir.



Şekil 3.122 : Kahramanmaraş depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_y) ivme büyütme oranları



Şekil 3.123 : Kahramanmaraş depremine göre yüzey topoğrafyasının (a_y) pik ivmeleri

Analizler sonucunda genel olarak PORT-DESP ve OTE bölgesinde zemin kattan 5.kata kadar tepe noktasında yatay yöndeki ivmelerde bir azalış olmuş, düşey yönde PORT bölgesinde azalırken DESP ve OTE bölgesinde artış görülmektedir. Genel olarak yatay yöndeki yer değiştirmeler azalış eğilimi göstermiştir. Düşey yönde de genel olarak azalış eğilimi göstermiştir. Binanın yatay yöndeki ivme değişimleri genel olarak azalış eğilimi gösterirken, düşey yönde de ivme hareketi genel olarak azalış eğilimi göstermiştir. Düşey yönde yer değiştirmeler genel olarak azalış göstermiştir (Tablo 3.13).

Tablo 3.13: Kahramanmaraş depremine göre binadaki yer değiştirme ve ivme değerleri

Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	PORT -Ç	0,01184	0,00828	0,9720	0,8770
1	PORT -Ç	0,00805	0,00796	1,0500	0,8010
2	PORT -Ç	0,04779	0,00769	0,6480	0,7680
3	PORT -Ç	0,00260	0,00753	0,3600	1,0200
4	PORT -Ç	0,00146	0,00738	0,5040	0,7580
5	PORT -Ç	0,00119	0,00743	0,5820	0,5730
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	DESP -Ç	0,01853	0,00460	2,2680	0,5230
1	DESP -Ç	0,01720	0,00452	1,9520	0,5100
2	DESP -Ç	0,01550	0,00445	1,4540	0,6600
3	DESP -Ç	0,01347	0,00431	1,3320	0,5620
4	DESP -Ç	0,01114	0,00419	0,8520	0,8620
5	DESP -Ç	0,00922	0,00401	1,0590	0,8880
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	OTE -Ç	0,01870	0,00339	1,2600	0,2310
1	OTE -Ç	0,01779	0,00332	1,4650	0,3950
2	OTE -Ç	0,01667	0,00325	1,5980	0,3680
3	OTE -Ç	0,01520	0,00317	0,7130	0,3550
4	OTE -Ç	0,01345	0,00307	0,7240	0,3410
5	OTE -Ç	0,01140	0,00290	0,8000	0,3920
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	PORT -B	0,01586	0,00830	0,4980	0,8550
1	PORT -B	0,01554	0,00801	0,4490	0,7620
2	PORT -B	0,01530	0,00777	0,5680	0,7530
3	PORT -B	0,01525	0,00761	0,4580	0,9530
4	PORT -B	0,01530	0,00750	0,5900	0,6770
5	PORT -B	0,01527	0,00753	0,6170	0,4850
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	DESP -B	0,01928	0,00460	0,7900	0,5040
1	DESP -B	0,01914	0,00453	0,6230	0,4900
2	DESP -B	0,01900	0,00447	0,6720	0,5980
3	DESP -B	0,01896	4,36-e3	0,8110	0,4890
4	DESP -B	0,01889	0,00427	0,7160	0,7070
5	DESP -B	0,01887	0,00414	0,7260	0,6990
Kat	Yeri	u_x	u_y	a_x	a_y
Z	OTE -B	0,01912	0,00339	0,6570	0,2260
1	OTE -B	0,01895	0,00332	0,5500	0,3690
2	OTE -B	0,01890	0,00327	0,6040	0,3290
3	OTE -B	0,01880	0,00320	0,6680	0,2970
4	OTE -B	0,01880	0,00312	0,6590	0,2710
5	OTE -B	0,01875	0,00299	0,6790	0,3110

4. SONUÇLAR

Depremelerin neden olduğu titreşimlerin genlik değerlerinde lokal jeolojik etkiye bağlı meydana gelen artışlar literatürde genel olarak zemin büyütmesi şeklinde ifade edilmektedir. Bu çalışmada Ova-Tepe topoğrafyası 1-D eşdeğer lineer yöntemi ve 2-D sonlu eleman metoduna dayalı sayısal olarak modellenerek analiz edilmiştir. Yerel zemin özellikleriyle birlikte Egion bölgesine ait topoğrafik kesit 2-D olarak modellendikten sonra Athanasopoulos vd. (1999) tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılarak kalibre edilmiştir. Farklı frekans içeriklerine sahip deprem kayıtlarına bağlı olarak gerçekleştirilen 1-D veya 2-D dinamik nümerik sonuçlar hem ivme ve yer değiştirme zaman geçmişleri hemde sismik üstyapı tasarımında kullanılan ivme davranış spektrumları kullanılarak analiz edilmiş ve grafikler halinde sunulmuştur.

Dalga yayılım problemi olarak değerlendirilen Ova-Tepe modelinde analiz edilen kuvvetli yer hareketlerine bağlı gerçekleştirilen çevrim işlemiyle anakayadan zemin yüzeyine doğru elde edilen sismik titreşimler dikkate alındığında genel olarak artış eğilimi göstermiştir. 1-D sayısal modelin analizleri sonuçları, OTE bölgesindeki maksimum değerlere göre ivme için 0,7127 g ve spektral ivme içinse 3,28 g çıkarken, 2-D sonlu eleman çözümlerinde aynı değerler 0,543 g ve 1,689 g olarak hesaplanmıştır. Eşdeğer lineer yöntemine dayalı tek boyutlu analizlerde DESP bölgesinin zemin yüzeyinde alınan gözlem noktasındaki maksimum ivme değeri 1,114 g ve maksimum spektral ivme değeri 3,199 g hesaplanırken PORT bölgesinin zemin yüzeyinde aynı değerler 0,45 g ve 1,51g olarak hesaplanmıştır. Sonlu eleman metoduna dayalı iki boyutlu nümerik hesaplamalar sonucu, PORT bölgesinde elde edilen maksimum değerler ivme için 0,74 g, spektral ivme içinse 3,42 g olarak hesaplanırken aynı gözlem noktalarında elde edilen maksimum yatay ve düşey yer değiştirmeler sırasıyla 5,14 mm ve 2,63 mm'dir. Elde edilen sonuçlardan, PORT bölgesinde Egion depreminde sonra daha az hasar olduğu anlaşılmaktadır. 2-D sayısal çözümlemelere göre OTE ve PORT bölgesindeki zemin yüzeyindeki titreşimler anakaya seviyesine göre sırasıyla 3,89 ve 5,29 kat artarken bu değer DESP bölgesinde 8,10 kata kadar ulaşmıştır. Başka bir ifadeyle, DESP bölgesinde büyütme OTE bölgesine göre 2,08 kat daha yüksek, PORT bölgesine oranla 1,36 kat daha yüksek çıkmıştır. Bu durumun basamak tipindeki topoğrafyanın büyütme etkisinin yanında, Egion depreminin temel titreşim frekansı

PORT bölgesinin zemin hâkim periyodunun yaklaşık olarak 0.5sn (2Hz) civarında birbirine yaklaşık olması yani rezonans kavramıyla açıklanabileceği düşünülmüştür.

Northridge, Kocaeli ve Kahramanmaraş depremlerine bağlı OTE bölgesindeki serbest zemin titreşimleri için yapılan 1-D ve 2-D analizlerde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine göre yapılan çözümlemelerde, PORT bölgesinde her deprem için sırasıyla 9,05, 8,27 ve 6,11 kat daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bu farkın nedeni olarak, kullanılan deprem kayıtlarının frekans içeriğiyle alakalı olduğu düşünülmüştür. Buna ilaveten tez kapsamında gerçekleştirilen 2-D nümerik analizlerde, PORT bölgesinin ortasından anakaya kenarına doğru ivme değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun tersi olarak farklı eğimlere sahip zemin modelinde DESP bölgesine doğru ivme büyütme değerleri artmıştır. Genel olarak, topoğrafya etkisinin dikkate alındığı 2-D sayısal çözümlemelerde, basamaklı yapının etkisiyle DESP bölgesinin başlangıcında maksimum etki hesaplanmış, OTE bölgesine doğru yatay büyütme değerleri ortalama 10 kattan 2,69 kata kadar azalmaktadır.

Yapılan tez çalışması kapsamında, PORT, DESP ve OTE bölgelerinde konumlanan 7 katlı binaların çatı katındaki gözlem noktalarına bağlı sismik davranış etkileri de incelenmiştir. Üstyapılarda oluşan sismik titreşimler binaların farklı narinlik oranlarına bağlı olarak yatay ve düşey maksimum yer değiştirmeler açısından analiz edilmiştir. Buna göre, Northridge depremi için yapılarda elde edilen en fazla yer değiştirmeler OTE bölgesinde oluşmuşken en az bina deplasmanları ise PORT bölgesinde meydana gelmiştir. Bu durum Egion depremi sonrası kıyı bölgesi olan PORT bölgesinde oluşan hasarın az olmasını desteklemektedir. Kocaeli depreminde ise, PORT bölgesindeki yapılarda düşey yönde elde edilen yer değiştirmenin yatay yer değiştirmeye göre 3 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Buna ilaveten Kahramanmaraş depreminde de benzer bir durum gözlemlenmiş olup aynı durumdaki büyütme oranı 5 kata yakın hesaplanmıştır. Genel olarak, üstyapılarda oluşan yanal ötelenme değerleri her üç deprem içinde maksimum olarak OTE bölgesindeki yapılarda elde edilmiştir. İki boyutlu serbest zemin modelindeki anakayadaki titreşimlerden kaynaklanan, binanın yapı-zemin kinematik etkileşimi sonucunda PORT bölgesindeki binadaki büyütme etkisi 1,06-1,50 kat, DESP bölgesinde 1,14-1,45 kat ve OTE bölgesinde 0,85-1,45 kat aralığında gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Antoniou, S., Pinho, R. ve Bianchi, F. (2023). SeismoSignal v2023. 1: A Computer Program for Signal Processing of Strong-Motion Data. v2023.
- Atakan K, Brandsdottir B, Halldorsson P. ve Fridleifsson G. O. (1997). Site Response as a Function of Near-Surface Geology in the South Iceland Seismic Zone. *Natural Hazards*, 15:139–64.
- Athanasopoulus, G.A., Pelekis, P.C. ve Leonidou, E.A. (1999). Effects of surface topography on seismic ground response in the Egion(Greece) 15 June 1995 Eartquake. *Soil Dynamics and Eartquake Engineering*, 18, 135-149.
- Ateş, E., Uyanık, O. (2019). Jeofizik yöntemler ile yer ve yapı etkileşimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 46-60.
- Azimi, P., Hatice, Gazi. ve Alhan, C. (2019). Zemin Büyütme Katsayılarının Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Sismik Performans Potansiyeline ve Maliyetine Etkileri. *Teknik Dergi*, 30(1), 8803-8834.
- Bakır, B.S., Yılmaz, M.T. Yakut, A. ve Gülkan, P. (2005). Re-examination of Damage Distribution in Adapazarı. *Geotechnical Considerations, Engineering Structures*, 27, 1002-1013.
- Beyaz, T., Kayabalı, K. (2020). İvme Kayıtları ile Deprem Enerjisi Azalım Bağıntısı Hazırlama: Zemin Etkisinden Arındırma İşlemi. *Academic Perspective Procedia*, 3(2), 911-920.
- Biringen E., (2000). Soil Amplification and Case Studies for Clayey Soils, *Master Thesis, Boğaziçi University*, İstanbul.
- Cevher, M., Keçeli, A. (2018). Zemin Hâkim Periyodu ve Bina Yüksekliği Rezonans İlişkisi. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 17(2), 203-224.
- Civelekler, E., Afacan, K. B., Okur, D. V. (2021). Eşdeğer Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yaklaşımlara Göre Sismik Yük Etkisindeki Zeminlerde Davranış Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2), 158-171.
- Coşkun, K. ve Göktepe, F. (2023). Yerel Zemin Koşullarının Deprem Yer Hareketi Üzerindeki Büyütme Etkisinin Analitik Olarak İncelenmesi, *4th International Symposium of Engineering Applications on Civil Engineering and Earth Sciences 2023 (IEACES2023)*, 31 May-2 June 2023, Karabük University, pp. 383-398, ISBN: 978-605-9554-81-7.
- Çelebi, E., Göktepe, F. ve Karahan, N. (2012). Non-Linear Finite Element Analysis for Prediction of Seismic Response of Buildings Considering Soil-Structure Interaction. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(11), 3495-3505.

- Darendeli M. B., (2001). Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves, PhD Thesis, Civil Engineering, Faculty of the Graduate School of The University of Texas at Austin, Texas, USA.
- Dasgupta, G. (1982). A Finite Element Formulation For Unbounded Homogeneous Continua. J. Appl. Mech., Cilt49, No 1, 136-140.
- DBYBHY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, (2007).
- DLH (2008). Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği
- Fırat S. ve Demir M. (2016). Adapazarı Bölgesi Zemin Büyütme Faktörünün İncelenmesi. *Tübav Bilim Dergisi*, c.9, s.3, 1-9.
- Geller, R. J., Jackson, D., Kagan, Y. ve Mulargia, F. (1997). Earthquakes cannot be predicted. *Science*, 275(5306), 1616-1616.
- Hasancebi, N. ve Ulusay, R. (2006). Evaluation of site amplification and site period using different methods for an earthquake-prone settlement in Western Turkey. *Engineering geology*, 87(1-2), 85-104.
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Ilhan, O., Xing, G., Numanoglu, O., Groholski, D.R., Phillips, C.A., ve Park, D. (2020). DEEPSOIL 7.0, User Manual. Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Haşal, M. E. (2009). Topoğrafik düzensizliklerin zemin büyütmesine etkisi. *Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Ildır, M., Vural, İ. ve Kılıç, S. (2020). Sıvılaşma Potansiyeli Yüksek Adapazarı Zeminleri için Büyütme Faktörünün Araştırılması. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 8(2), 266-273.
- İyisan, R. ve Haşal, M.E. (2011). Zemin büyütmesi ve yerel koşulların spektral ivmeye etkisi. *İTÜ Dergisi/D Mühendislik*, 10(4), 47-56.
- Jin, Y., Kim, D.H., Jeong, S.G. ve Kim, H.Y., (2022). Analysis of multilayered ground amplification characteristics by scaled- down model tests, *Applied Science*, 12(7), 3432.
- Kaptan K. ve Tezcan S. (2012). Deprem Dalgalarının Zemin Büyütmesi Üzerine Örnekler, *Tübav Bilim Dergisi*, c.5, s. 4, 17-32.
- Kılıç, H., Özener, P.T., Ansal, A. Yıldırım, M., Özaydın, K. ve Adatepe, S. (2006). Microzonation of Zeytinburnu Region with Respect to Soil Amplification: A Case Study, *Engineering Geology*, 86, 238-255, 2006.
- Kramer, S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. Hindistan: Prentice Hall.

- Kumar H. ve Shri, P. (2021). Modeling of Seismic Wave Propagation and Amplification in 1-D Linear, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), vol. 8, no. 06, pp. 2477-2483.
- Kumbasar, V. Fazıl Kip (1999). Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Kutunis, M. ve Bal, İ. E. (2006). Yerel Zemin Şartlarının Yapı Hasar Dağılımı Üzerinde Etkileri. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi*, Trabzon, 99-113.
- Midorikawa S. (1987), Prediction of isoseismal map in Kanto plain due to hypothetical earthquake. *Journal of Structural Engineering*, 33B, 43-48.
- Navidi, S. (2012). Development of Site Amplification Model for Use in Ground Motion Prediction Equations. Doctor of Philosophy, The University of Texas at Austin.
- Özyazıcıoğlu, M., Dönmezçelik, K., Orhan, S. N. ve Özkan, M. Y. (2019). Erzincan İli Zemin Büyütme Etkilerine Dayalı Mikrobölgeleme Çalışması. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 247-256.
- Panzer, F., Halldorsson, B. ve Vogfjörð, K. (2017). Directional effects of tectonic fractures on ground motion site amplification from earthquake and ambient noise data: a case study in South Iceland. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 97, 143-154.
- Park, D. ve Hashash, Y. M. (2004, August). Probabilistic seismic hazard analysis with non-linear site effects in the Mississippi embayment. In Proceedings of the 13th world conference on earthquake engineering, Vancouver, Paper (No. 1549).
- Pitilakis, K. (2004). Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, A. Ansal (ed.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 139-193.
- Özgirgin, F., (1997). Case Studies on Soil Amplification, *M. Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, Boğaziçi University, Istanbul*, June, 1997.
- PLAXIS, 2-D CONNECT Edition V20. (2020). PLAXIS 2-D CONNECT Edition V20 Tutorial 16 Free Vibration and Earthquake Analysis of a Building.
- Rahpeyma S., Halldorsson B., Oliveira CS., Green RA. ve Jónsson S. (2016), Detailed site effect estimation in the presence of strong velocity reversals within a small-aperture strong-motion array in Iceland. *Soil Dyn Earthq Eng* 2016; 89:136–51.
- Rathje, M. Ellen ve Bray, D. J. (2001). One and Two Dimensional Seismic Analysis of Solid Waste Landfills. *Canadian Geotechnical Journal*, vol38, p.850-862
- Selçuk, M. E., Kılıç, H. ve Özaydın, K. (2007). Kalın zemin çökellerinde eşdeğer-lineer ve non-lineer analiz sonuçlarının karşılaştırılması. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16(20), 187-198. İstanbul.
- Şafak, E. (2001). Local site effects and dynamic soil behavior. *Soil dynamics and earthquake engineering*, 21(5), 453-458.

- Sönmezer, Y. B., Akbaş, S. O. ve Işık, N. S. (2015). Kırıkkale ili yerleşim alanı için en büyük ivme, zemin büyütmesi ve hâkim titreşim periyodu özelliklerinin değerlendirilmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi* Cilt 30, No 4, 711-721.
- Şahin, M. ve Özden, G. (2015). Derin Alüvyon Zeminlerde Sahaya Özel Tasarım İvme Spektrumunun Belirlenmesinde Rol Oynayan Unsurlar. *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 14-16.
- TBDY (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Türkiye Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Tezcan, S. S., Kaya, E., Bal, I. E. ve Özdemir, Z. (2002). Seismic amplification at Avcılar, Istanbul. *Engineering structures*, 24(5), 661-667.
- Tohumcu, P., Kılıç., H. ve Özaydın, K. (2003). Yerel Zemin Koşullarının Depremler Sırasında Yapısal Davranış Etkileri Yönünden Sınıflandırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, 85-101.
- Tunçel, A., Özdağ, Ö., Pamuk, E. ve Akgün, M. (2019). Calculation of the soil dynamic amplification factor values by using microtremor data: A case study in Izmir (North). *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c.34, s.1, 43-52.
- Unutmaz, B., Siyahi, B., Fahjan, Y. ve Akbaş, B. (2011). Derin Alüvyon Dolgunun Doğrusal Olmayan Davranışının Eşdeğer Lineer ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Karşılaştırılması. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı* 11-14 Ekim 2011 – ODTÜ – ANKARA
- Uyanık, O., Ekin, N. ve Çoşkun, O. (2021). Zemin ve Deprem Parametrelerinden İvme Azalım İlişkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(68), 575-593.
- Yalçınkaya, E. (2004). Bir boyutlu modeller için zemin büyütmesine etki eden parametrelerin incelenmesi. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 17(1).
- URL-1 (2022). <https://tadas.afad.gov.tr>, Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı (AFAD) (TR-KYH), (15.03.2022).
- URL-2 (2018). <http://tutribels.blogspot.com>, Earth Science with Sir Tutri, History of the Earth: The Geologic Time Scale, (03.02.2023).
- URL-3 (2018). <https://www.jeolojitr.com/2018/10/depremler.html>, Türkçe Jeoloji Bilgi Sayfası, (04.04.2023).
- URL-4 (2023). <http://www.koeri.boun.edu.tr>, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, (05.04.2023).
- URL-5, Peer (2006). <http://peer.berkeley.edu/nga/index.html>, Ground Motion Database, (15.05.2023).

