

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI YAPILARDA YAPI SAĞLIĞI İZLENMESİ İLE
MODEL DOĞRULANMASI

MAHMUT MELİH DEMİRBAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. ABDULLAH CAN ZÜLFİKAR

HAZİRAN 2024

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI YAPILARDA YAPI SAĞLIĞI İZLENMESİ
İLE MODEL DOĞRULANMASI

MAHMUT MELİH DEMİRBAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. ABDULLAH CAN ZÜLFİKAR

2. DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ ALİ YEŞİLYURT

HAZİRAN 2024

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**MODEL VALIDATION BY STRUCTURAL HEALTH
MONITORING IN MULTI-STORY BUILDINGS**

MAHMUT MELİH DEMİRBAS

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING
PROGRAM

ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. ABDULLAH CAN ZÜLFİKAR

Co-ADVISOR: ASSIS. PROF. DR. ALİ YEŞİLYURT

JUNE 2024

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 19/02/2024 tarih ve 2024/15 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 12/06/2024 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mahmut Melih DEMİRBAŞ' ın tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Abdullah Can ZÜLFİKAR

ÜYE

: Prof. Dr. Ferit ÇAKIR

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Cüneyt TÜZÜN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Hemen hemen tüm yapılar, işlevselliklerini uzatmak veya felaketle sonuçlanabilecek durumlardan kaçınmak amacıyla belirli bir bakım türüne ihtiyaç duyarlar. Yapı Sağlığı İzleme (YSİ) çalışmaları, mevcut yapıların sürekli olarak gözlemlenmesi, anlık veri toplanması ve gelecekteki güvenliklerinin sağlanmasını amaçlamaktadır. YSİ, olası bir depremden hemen sonra anlık rasyonel karar mekanizmalarının oluşturulmasında kritik öneme sahiptir.

Çalışma kapsamında, Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya eyaletinin Walnut Creek bölgesinde bulunan on katlı betonarme bir yapı dikkate alınmıştır. Seçilen yapı üzerinde zemin kat, üçüncü kat, sekizinci kat ve çatı katı olmak üzere yapının dört farklı katında toplamda on altı adet ivmeölçer bulunmaktadır. Bu ivmeölçerler arasından her katta x ve y yönü olmak üzere ikişer adet, toplamda sekiz adet ivmeölçer seçilmiştir. Bölgede farklı yıllarda meydana gelen birçok deprem, yapıda bulunan cihazlar tarafından kaydedilmiştir. Çalışma kapsamında mevcut deprem kayıtları incelenmiş devamında farklı uzaklık ve büyüklüklerde olan altı adet deprem kaydı seçilmiştir.

Yapının farklı katlarında bulunan ivmeölçerlerden alınan deprem kayıtları, çeşitli deprem şiddet parametreleri için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Ayrıca deprem kayıtlarının frekans içeriğinin katlara göre değişimleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlar ve yapıya ait kısıtlı statik bilgiler göz önüne alınarak yapının nümerik modeli oluşturulmuştur. Yapının zemin katında bulunan ivmeölçerlerden elde edilen deprem kayıtları nümerik modele aktarılmıştır. Devamında nümerik model ve cihazlardan elde edilen kayıtlar dikkate alınarak, farklı şiddet parametreleri için karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve oluşturulan nümerik modelin doğruluğu teyit edilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde ise 06.02.2023 tarihinde Kahramanmaraş' ta gerçekleşen merkez üssü Pazarcık ve Elbistan olan, Mw 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüklerindeki depremlerden sonra meydana gelen dört artçı deprem dikkate alınmıştır. Benzer analiz ve değerlendirmeler bu kayıtlar için de gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçların kendi içinde tutarlı olduğu görülmüştür. Deprem şiddet parametreleri ve hasar parametreleri arasındaki uygun ilişkinin kurulması halinde, yapının hasar durumu hakkında anlık bilgi sahibi olmak mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yapı Sağlığı İzleme (YSİ), İvmeölçer, Mühendislik Parametreleri, Kahramanmaraş Depremleri, Nümerik Model.

ABSTRACT

Almost all structures require a certain type of maintenance in order to extend their functionality or avoid catastrophic situations. Structural Health Monitoring (SHM) studies aim to continuously observe existing structures, collect instant data and ensure their future safety. SHM is of critical importance in creating instant rational decision mechanisms immediately after a possible earthquake.

Within the scope of the study, a ten-storey reinforced concrete building located in the Walnut Creek region of California, USA, was taken into consideration. There are a total of sixteen accelerometers on the selected building on four different floors of the building, including the ground floor, third floor, eighth floor and attic floor. Among these accelerometers, two accelerometers were selected for each floor, in the x and y directions, for a total of eight accelerometers. Many earthquakes that occurred in the region in different years were recorded by the devices in the building. Within the scope of the study, existing earthquake records were examined and six earthquake records of different distances and magnitudes were selected.

Earthquake records taken from accelerometers located on different floors of the building were analyzed separately for various earthquake intensity parameters. In addition, the changes in the frequency content of earthquake records according to floors were examined. A numerical model of the structure was created, taking into account the results obtained from the analyzes and the limited static information of the structure. Earthquake records obtained from accelerometers on the ground floor of the building were transferred to the numerical model. Subsequently, by taking into account the numerical model and the records obtained from the devices, it was examined comparatively for different intensity parameters and the accuracy of the created numerical model was confirmed.

In the last part of the study, four aftershocks that occurred after the earthquakes of Mw 7.7 and Mw 7.6 in Kahramanmaraş on 06.02.2023, with epicenters in Pazarcık and Elbistan, were taken into account. Similar analyzes and evaluations were carried out for these records.

The results obtained within the scope of this study were found to be internally consistent. If the appropriate relationship between earthquake intensity parameters and damage parameters is established, it will be possible to have instant information about the damage status of the structure.

Keywords: Structural Health Monitoring (SHM), Accelerometer, Engineering Parameters, Kahramanmaraş Earthquakes, Numerical Model.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteklerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgileri ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanlarım Doç. Dr. Abdullah Can Zülfikar' a ve ikinci danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali Yeşilyurt' a sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca tezimin gelişmesine ve şekillenmesine katkı sağlayan Prof. Dr. Ferit ÇAKIR ve Dr. Öğr. Üyesi Cüneyt TÜZÜN hocalarıma ayrı ayrı teşekkür ederim. Bütün çalışmam boyunca yanımda olan ve desteğini esirgemeyen biricik aileme ve kıymetli nişanlım Ayça KOÇDEMİR' e en derin sevgi ve şükranlarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	1
1.2. Literatür Çalışması	2
2. 2. YAPI SAĞLIĞI İZLEME	4
2.1. Yapı Sağlığı İzleme Nedir?	4
2.2. Yapı Sağlığı İzleme Algoritması	6
2.3. Yapı Sağlığı İzlemesinde Kullanılan Yöntemler	8
2.3.1. İvmeölçerler	8
2.3.2. Deplasman Sensörleri	9
2.3.3. Tilt Açısı Sensörleri	9
2.3.4. İnklinometre	10
2.4. Yapı Sağlığı İzlemesine Örnekler	11
2.5. Kuvvetli Yer Hareketi	11
2.5.1. Genlik Parametreleri	13
2.5.1.1. Pik İvme Değeri	13
2.5.1.2. Pik Hız Değeri	13
2.5.1.3. Pik Yer Değiştirme Değeri	13
2.5.2. Frekans İçeriği Parametreleri	14
2.5.2.1. Fourier Spektrumları	14
2.5.2.2. Tepki Spektrumu	14
2.5.3. v_{max}/a_{max}	15
2.5.4. Rms İvmesi	15
2.5.6 Arias Şiddeti	15
2.5.7. Kümülatif Mutlak Hız (CAV)	16
3. 3. ÖRNEK YAPININ SEÇİLMESİ VE ELDE EDİLEN KAYITLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	16
3.1. Örnek Yapının Seçilmesi	17
3.2. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi	20
3.3. Deprem Kayıtlarının Analiz Edilmesi	23
3.3.1. Livermore Depremi Ml 5.8 İvme Zaman Grafikleri	23
3.3.2. Loma Prieta Depremi Mw 6.9 İvme Zaman Grafikleri	25
3.3.3. Pleasant Hill Depremi Mw 4.5 İvme Zaman Grafikleri	26
3.3.4. South Napa Depremi Mw 6.0 İvme Zaman Grafikleri	28
3.3.5. Alamo Depremi Mw 4.0 İvme Zaman Grafikleri	29
3.3.6. Alum Rock Depremi Mw 5.4 İvme Zaman Grafikleri	31

3.3.7. Seçilen Depremlerin Farklı Katlardaki Maksimum İvme Değerleri	32
3.3.8. Seçilen Depremlerin Farklı Katlardaki Tepki Spektrum Grafikleri	37
4. 4. NÜMERİK MODELİN OLUŞTURULMASI VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	43
4.1. Nümerik Modelin Oluşturulması	43
4.2. Nümerik Model Sonuçlarının Karşılaştırılması	45
5. 5. KAHRAMANMARAŞ DEPREM SONRASI OLUŞAN ARTÇI DEPREMLERİN NÜMERİK MODELE AKTARILMASI VE YAPININ DEĞERLENDİRİLMESİ	65
5.1. Kahramanmaraş Depremi	65
5.2. Depremlerin Seçilmesi	66
5.3. Seçilen Depremlerin Analiz Edilmesi	68
5.3.1. Deprem Kayıtlarının X Yönündeki İvme Zaman Grafikleri	68
5.3.2. Deprem Kayıtlarının Y Yönündeki İvme Zaman Grafikleri	69
5.3.3. Deprem Kayıtlarının X Yönündeki Tepki Spektrumları	71
5.3.4. Deprem Kayıtlarının Y Yönündeki Tepki Spektrumları	72
5.4. Seçilen Depremlerin Nümerik Modele Aktarılması ve Sonuçların Karşılaştırılması	73
5.4.1. Nümerik Modelin Güncellenmesi	73
5.4.2. Nümerik Model Sonuçlarının Karşılaştırılması	74
6. SONUÇ	88
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	93
TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

g	: Yer Çekimi İvmesi
Hz	: Hertz
M _w	: Moment Büyüklüğü
a _{rms}	: RMS İvmesi
I _a	: Arias Şiddeti
CAV	: Kümülatif Mutlak Hız
S _a	: Spektral İvme
S _v	: Spektral Yer Hız
S _d	: Spektral Yer Değiştirme
Km	: Kilometre
m	: Metre
s	: Saniye
cm	: Santimetre
m/s	: Metre/ saniye
cm/s	: Santimetre/ saniye
cm/sn ²	: Santimetre/ saniye kare
dB	: Desibel
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı
TADAS	: Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi
YSİ	: Yapı Sağlığı İzleme
YSİS	: Yapı Sağlığı İzleme Sistemleri
OMA	: Operasyonel Model Analiz
M.Ö.	: Milattan Önce
SHM	: Structural Health Monitoring
RMS	: Root Mean Square
CESMD	: Center of Engineering Strong Motion Data
GPS	: Global Positioning System

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: TBDY 2018 Madde 13.8	4
Şekil 2.2: İvmeölçerlerin Yerleri.	6
Şekil 2.3: Yapı Sağlığı İzleme Algoritması.	7
Şekil 2.4: Örnek Bir İvmeölçer	9
Şekil 2.5: Örnek Bir Deplasman Sensörü	9
Şekil 2.6: Örnek Bir Tilt Açısı Sensörü.	10
Şekil 2.7: Örnek Bir İnklinometre.	10
Şekil 3.1: Yapı Hakkında Bilgiler.	18
Şekil 3.2: Sensörlerin Yapıdaki Konumları.	19
Şekil 3.3: Seçilen Sensörlerin Yapıdaki Konumları.	19
Şekil 3.4: CESMD Sayfasındaki Deprem Kayıtları.	20
Şekil 3.5: Seçilen Yapıya Göre Depremlerin Konumları ve Büyüklükleri.	21
Şekil 3.6: Livermore Depremi (Ml 5.8) Y Yönü İvme Zaman Grafiği.	24
Şekil 3.7: Livermore Depremi (Ml 5.8) X Yönü İvme Zaman Grafiği.	24
Şekil 3.8: Loma Prieta Depremi (Mw 6.9) Y Yönü İvme Zaman Grafiği.	25
Şekil 3.9: Loma Prieta Depremi (Mw 6.9) X Yönü İvme Zaman Grafiği.	26
Şekil 3.10: Pleasant Hill Depremi (Mw 4.5) Y Yönü İvme Zaman Grafiği.	27
Şekil 3.11: Pleasant Hill Depremi (Mw 4.5) X Yönü İvme Zaman Grafiği.	27
Şekil 3.12: South Napa Depremi (Mw 6.0) Y Yönü İvme Zaman Grafiği.	28
Şekil 3.13: South Napa Depremi (Mw 6.0) X Yönü İvme Zaman Grafiği.	29
Şekil 3.14: Alamo Depremi (Mw 4.0) Y Yönü İvme Zaman Grafiği.	30
Şekil 3.15: Alamo Depremi (Mw 4.0) X Yönü İvme Zaman Grafiği.	30
Şekil 3.16: Alum Rock Depremi (Mw 5.4) Y Yönü İvme Zaman Grafiği.	31
Şekil 3.17: Alum Rock Depremi (Mw 5.4) X Yönü İvme Zaman Grafiği.	32
Şekil 3.18: Livermore Depremi Ml 5.8 Tepki Spektrumları	37
Şekil 3.19: Loma Prieta Mw 6.9 Depremi Tepki Spektrumları.	38
Şekil 3.20: Pleasant Hill Mw 4.5 Depremi Tepki Spektrumları.	39
Şekil 3.21: South Napa Depremi Mw 6.0 Tepki Spektrumları.	40
Şekil 3.22: Alamo Depremi Mw 4.0 Tepki Spektrumları.	41
Şekil 3.23: Alum Rock Depremi Mw 5.4 Tepki Spektrumları.	42
Şekil 4.1: Nümerik Modelin Üç Boyutlu Görüntüsü.	43
Şekil 4.2: Seçilen Depremlerin Sap2000' den Alınan Çatı Katı Kayıtları.	44
Şekil 4.3: Livermore Depremi Ml 5.8 İçin Tepki Spektrumları.	52
Şekil 4.4: Loma Prieta Depremi Mw 6.9 İçin Tepki Spektrumları.	53
Şekil 4.5: Pleasant Hill Depremi Mw 4.5 İçin Tepki Spektrumları.	54
Şekil 4.6: South Napa Depremi Mw 6.0 İçin Tepki Spektrumları.	55
Şekil 4.7: Alamo Depremi Mw 4.0 İçin Tepki Spektrumları.	56
Şekil 4.8: Alum Rock Depremi Mw 5.4 İçin Tepki Spektrumları.	57
Şekil 4.9: Livermore Depremi Ml 5.8 X Yönü Fourier Grafikleri.	58
Şekil 4.10: Loma Prieta Depremi Ml 5.8 Y Yönü Fourier Grafikleri.	59
Şekil 4.11: Livermore Depremi Parametre Karşılaştırma Grafikleri.	60
Şekil 4.12: Loma Prieta Depremi Parametre Karşılaştırma Grafikleri.	61
Şekil 4.13: Pleasant Hill Depremi Parametre Karşılaştırma Grafikleri.	62
Şekil 4.14: South Napa Depremi Parametre Karşılaştırma Grafikleri.	63
Şekil 5.1: TADAS Deprem Verileri.	66

Şekil 5.2: Seçilen Depremlerin Merkezleri.	66
Şekil 5.3: Depremlerin X Yönü İvme Zaman Grafikleri.	68
Şekil 5.4: Depremlerin Y Yönü İvme Zaman Grafikleri.	69
Şekil 5.5: Depremlerin X Yönü Tepki Spektrum Grafikleri.	71
Şekil 5.6: Depremlerin Y Yönü Tepki Spektrum Grafikleri.	72
Şekil 5.7: Ekinözü Depremi 5.5 Ml Y Yönü, Çatı Katı, İvme Zaman Grafiği.	73
Şekil 5.8: Ekinözü Depremi Ml 5.5 Tepki Spektrumları.	77
Şekil 5.9: İslahiye Depremi Ml 5.7 Tepki Spektrumları.	78
Şekil 5.10: Yeşilyurt Depremi Ml 5.8 Tepki Spektrumları.	79
Şekil 5.11: Pütürge Depremi Mw 5.3 Tepki Spektrumları.	80
Şekil 5.12: Ekinözü Depremi Ml 5.5 Fourier Spektrumu.	81
Şekil 5.13: İslahiye Depremi Ml 5.7 Fourier Spektrumu.	81
Şekil 5.14: Ekinözü Depremi Yer Hareketi Parametreleri Karşılaştırması.	82
Şekil 5.15: İslahiye Depremi Yer Hareketi Parametreleri Karşılaştırması.	84
Şekil 5.16: Yeşilyurt Depremi Yer Hareketi Parametreleri Karşılaştırması.	85
Şekil 5.17: Pütürge Depremi Yer Hareketi Parametreleri Karşılaştırması.	87

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Minimum İvmeölçer Sayısı.	5
Tablo 2.2: İvmeölçer Özellikleri.	6
Tablo 2.3: Yapı Sağlığı İzleme Örnekleri	11
Tablo 2.4: Yer Hareketi Parametreleri	12
Tablo 3.1: Seçilen Deprem Kayıtları.	22
Tablo 3.2: Livermore Depremi Ml 5.8 Maksimum İvme Değerleri.	33
Tablo 3.3: Loma Prieta Depremi Mw 6.9 Maksimum İvme Değerleri.	34
Tablo 3.4: Pleasant Hill Mw 4.5 Depremi Maksimum İvme Değerleri.	34
Tablo 3.5: South Napa Mw 6.0 Depremi Maksimum İvme Değerleri.	35
Tablo 3.6: Alamo Mw 4.0 Depremi Maksimum İvme Değerleri.	35
Tablo 3.7: Alum Rock Mw 5.4 Depremi Maksimum İvme Değerleri.	36
Tablo 4.1: Livermore Depremi Ml 5.8 Y Yönü Kayıtları.	45
Tablo 4.2: Livermore Depremi Ml 5.8 X Yönü Kayıtları.	46
Tablo 4.3: Loma Prieta Mw 6.9 Depremi X Yönü Kayıtları.	46
Tablo 4.4: Loma Prieta Depremi Mw 6.9 Y Yönü Kayıtları.	47
Tablo 4.5: Pleasant Hill Depremi Mw 4.5 X Yönü Kayıtları.	47
Tablo 4.6: Pleasant Hill Depremi Mw 4.5 Y Yönü Kayıtları.	48
Tablo 4.8: South Napa Depremi Mw 6.0 X Yönü Kayıtları.	49
Tablo 4.9: Alamo Depremi Mw 4.0 X Yönü Kayıtları.	49
Tablo 4.9: Alamo Depremi Mw 4.0 Y Yönü Kayıtları.	50
Tablo 4.10: Alum Rock Depremi Mw 5.4 X Yönü Kayıtları.	50
Tablo 4.11: Alum Rock Depremi Mw 5.4 Y Yönü Kayıtları.	51
Tablo 5.1: 06.02.2023 Tarihinde Kahramanmaraş' ta Meydana Gelen Depremlerin Özellikleri.	65
Tablo 5.2: Seçilen Depremlerin Özellikleri.	67
Tablo 5.3: Ekinözü Depremi Ml 5.5 X Yönü Parametreler.	74
Tablo 5.4: Ekinözü Depremi Ml 5.5 Y Yönü Parametreler.	74
Tablo 5.5: İslahiye Depremi Ml 5.7 X Yönü Parametreler.	75
Tablo 5.6: İslahiye Depremi Ml 5.7 Y Yönü Parametreler.	75
Tablo 5.7: Yeşilyurt Depremi Ml 5.8 X Yönü Parametreler.	75
Tablo 5.8: Yeşilyurt Depremi Ml 5.8 Y Yönü Parametreler.	76
Tablo 5.9: Pütürge Depremi Mw 5.3 X Yönü Parametreler.	76
Tablo 5.10: Pütürge Depremi Mw 5.3 Y Yönü Parametreler.	76

1.GİRİŞ

Nüfus artışı, şehirlerdeki çeşitli tiplerdeki yapıların artmasında önemli rol oynamaktadır. Çağımızın en büyük doğal felaketlerinden birisi olan deprem, bu çeşitli yapıların hasar almasında, kimi zamanlarda ise yıkılmalarına sebep olmaktadır.

Hemen hemen tüm yapılar, işlevselliklerini uzatmak, deprem gibi çeşitli felaketlerden kaçınmak ve güvenilirliklerini izlemek için yapı sağlığını izlemeye ihtiyaç duymaktadırlar.

Yapının, deprem öncesinde, sırasında ve sonrasında performansının değerlendirilmesini sağlamak için yapı sağlığı izlemesi yapılabilmektedir. Yapı sağlığı izlemesi yapılacak olan yapılarda veri toplama sistemleri, ivmeölçerler bulunmaktadır. Yapı üzerinde bulunan ivmeölçerlerden alınan verilerin analizleri sonucunda, yapının modal periyodu, Şekil ve sönümlleme katsayıları, tepkisel deplasmanları ve tepkisel ivmeleri gibi çeşitli mühendislik talep parametrelerini elde etmemizi ve kullanmamızı sağlamaktadır [1].

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Bu tez kapsamında, öncelikle ikinci bölümde yapı sağlığı izleme detaylı olarak anlatılmıştır. Üçüncü bölümde yapı sağlığı izlemesi yapılacak olan yapının seçimi ve yapının tanıtılmasına yönelik gerekli veriler anlatılmış bunların yanı sıra deprem kayıtları seçilmiş ve bu deprem kayıtları hakkında bilgi verilmiştir. Seçilen deprem kayıtları bilgisayar programları yardımı ile analiz edilmiştir. Analizler sonucunda grafik ve Tablolar oluşturulmuş ve yorumlanmıştır. Dördüncü bölümde seçilen yapıya yönelik örnek bir nümerik model Sap2000 programı kullanılarak yapılmış ve analiz edilmiştir. Daha sonra bu bölümde üçüncü bölümden alınan grafikler ile nümerik modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde Kahramanmaraş' ta 06.02.2023 tarihinde meydana gelen depremler hakkında bilgi verilmiştir. Sonrasında $4.5 < M < 6.0$ arası artçı deprem kayıtları nümerik model içine entegre edilmiş ve mühendislik parametreleri kontrolleri sağlanmıştır.

1.2. Literatür Çalışması

Yapı Sağlığı İzleme (YSİ) hakkında yapılan bazı çalışmalar bu bölümde incelenmiştir.

Aoki et al. (2004) Japonya'daki üç açıklı Rakanji taş kemer köprüsü üzerinde teorik ve deneysel araştırmalar yürütmüşlerdir. Sonlu eleman modelini oluşturmak için köprü malzemelerinin özelliklerini belirleme testleri yapılmıştır. Köprü, yapılan testlerin sonuçları yardımıyla modellenmiş ve analiz edilmiştir. Yapılan analizler, köprünün teorik mod Şekillerini ve doğal frekanslarını elde etmelerini sağlamıştır. Köprü üzerindeki çevresel kaynaklı titreşimlerin etkisi altında alınan ivme kayıtları, deneysel bir çalışma tarafından kaydedilmiştir. Elde edilen deney verilerinin analizi, köprünün deneysel dinamik özelliklerini hesaplamak için kullanılmıştır. Deneysel çalışmanın ivme kayıtlarını analiz etmek için zaman tanım alanındaki veri işleme teknikleri kullanılmıştır. Teorik çalışma ile deneysel çalışmanın sonuçları karşılaştırılmış ve benzer sonuçlara ulaşılmıştır [2].

Brownjohn (2007), yapı sağlığı izlemenin nedenlerini ve amaçlarını ele alan bir çalışma sunmuştur. Bu çalışmada yapının cinsine göre bir sınıflandırma yapılmıştır. Bu sınıflandırmayla birlikte yapı sağlığı izleme de kullanılan sensörler ayrıntılı olarak ele alınmıştır [3].

Brencich and Sabia (2008), 1866 yılında inşa edilen Tanaro köprüsü üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Ele aldıkları bu tarihi köprü için çeşitli hasar durumları incelenmiştir. Deneysel çalışmanın başlangıcında köprünün malzeme özelliklerini belirlenmiştir. Sonrasında bu malzeme özelliklerini dikkate alarak beş farklı sonlu eleman modeli hazırlanmıştır. Her model için mod Şekilleri ve doğal frekansları, oluşturulan modellerin analizi yoluyla hesaplanmıştır. Sonrasında köprünün çeşitli bölgelerinde kullanılan ivmeölçerler yardımıyla dinamik testler yapılmıştır, her test için sonuçlar incelenmiştir. İncelemeler sonucunda sonuçların doğruya yakın olarak elde edilmesi için köprünün daha büyük bir alanının incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır [4].

Bayraktar vd. (2009), Trabzon Ayasofya Kilisesinde bulunan tarihi çan kulesinde operasyonel modal analiz hesaplamaları ve ortam titreşim testi yapmışlardır. İki farklı

ölçüm düzeneği kurulmuştur ve her kurulum için farklı sayıda ve eksenlere sahip ivmeölçerler kullanılmıştır. Mod Şekilleri ve modal sönüm oranları elde edilmiştir [5].

Michel and Guegen. (2006), Fransa'da 1967 yılında inşa edilen Grenoble City Hall binasını için çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada on üç katı bulunan betanorme yapı üzerine altı adet ivmeölçer yerleştirilmiştir. Frekans Alan Ayırıştırma yöntemi ile bina üzerine yerleştirilen ivmeölçerlerden gelen veriler kullanılarak yapının modal frekansları hesaplanmıştır. Daha sonrasında, ortam ve deprem titreşimleri kullanılarak öteleme ve burulma modları hesaplanmıştır [6].

Carden and Fanning. (2004), zaman ve frekans alanı yöntemlerini inceleyen bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada yapısal sağlığın izlenmesine ilişkin çok çeşitli yaklaşımlar ve görüş ayrılıkları öne sürülmüştür. Parametrelerdeki hassasiyet sorunları, algoritmaların çeşitliliği, yapılardaki kalan ömür tespitinin yetersiz olması gibi sorunlar, yapısal sağlık izlemesi topluluğunun ele alması gereken önemli konular olarak varlığını sürdürmektedir. Çalışmanın sonuçlarından biri olarak sensörlerin yapı üzerindeki konumlarının ve sayılarının önemine vurgu yapılmış ve sensör sayısının kısıtlı olduğu sürece tam bir çözüm elde etmek tartışmalı olacağı belirtilmiştir [7].

2.YAPI SAĞLIĞI İZLEME

2.1. Yapı Sağlığı İzleme Nedir?

Yapısal hasarın tespiti, binaların güvenliği ve kullanılabilirliği için çok önemlidir, çünkü tespit edilmeyen hasarlar, yapıların güvenliği azaltabilir, potansiyel can ve mal kaybına yol açabilir. Bu durum özellikle depremlerden sonra hasar değerlendirme yöntemleriyle ilgili araştırmaların artmasına neden olur [8].

Yapı Sağlığı İzleme Sistemi, inşaat mühendisliği yapılarının davranışının ve yapısal bütünlüklerinin depreme ve diğer yıkıcı etkilere karşı sensörler kullanılarak sürekli olarak izlenmesine ve raporlanmasına yarayan karar destek sistemidir.

Yapı Sağlığı İzleme, tarihine bakıldığında 20. Yüzyıla dayandığı görülmektedir. 2000 yılından itibaren çok sayıda yürütülen akademik çalışmalarla tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır.

Ülkemizde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 madde 13.8 ile belirli şartı sağlayan binalar için Yapı Sağlığı İzleme Sistemi'nin kullanılması zorunlu hale gelmiştir [9].

13.8. YÜKSEK BİNALARDA KURULACAK YAPI SAĞLIĞI İZLEME SİSTEMİ

13.8.1 – DTS = 1, 1a, 2, 2a sınıfı binalardan $H_N > 105$ m olanlarda, kayıtların gerçek zamanlı olarak Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı ve yapı sahibi tarafından tutulmasına imkan verecek şekilde, Başkanlıkça yayımlanan yönergeye uygun bir *yapı sağlığı izleme sistemi* kurulacaktır. Sistem uygulama projelerinde gösterilecektir.

13.8.2 – İzleme sisteminin bakımından ve korunmasından yapı sahipleri sorumlu olacaktır.

Şekil 2.1: TBDY 2018 Madde 13.8

TBDY 2018 madde 13.8.1. maddesine dayanılarak Yapı Sağlığı İzleme Yönergesi hazırlanmış ve 2020 yılında kabul edilmiştir. Yapı Sağlığı İzleme Sistemleri (YSİS) için kullanılacak olan ivmeölçerler senkronize olmalı, en az 24-bit duyarlılığında ve GPS zaman kartlı dijital bir sistemine bağlanmalıdır. Kayıt sistemi binada var olan titreşimleri sürekli olarak kaydedecek ve verileri belirlenen merkezlere internet, modem, uydu veya benzeri kanallardan gerçek zamanlı olarak transfer etmelidir. Sistem elektrik veya iletişimin kesilmesi durumunda en az bir hafta süreyle

çalışabilmeli ve veriyi kendi içinde saklayabilecek disk, batarya veya gerekli ekipmanlara sahip olmalıdır [4].

YSİS' de yer alan ivmeölçerlerin, veri toplama cihazlarının ve sistemde yer alan diğer bileşenlerin yangına ve darbeye karşı dayanıklı bir şekilde muhafaza edilmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır [4].

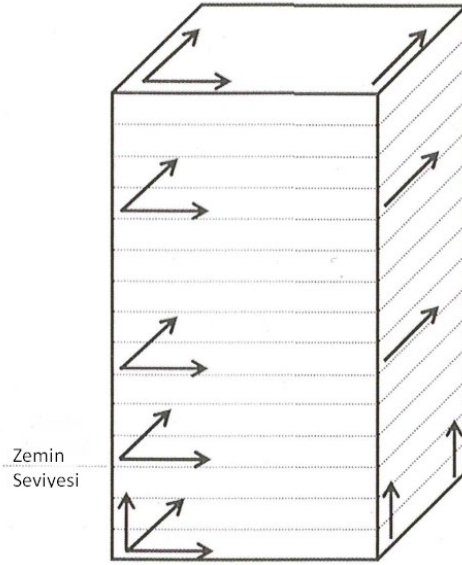
Veri toplama cihazları hem tetikleme hem de sürekli modda veri alma özelliğine sahip olmalıdır. Tetikleme modunda olduğu durumda, tetikleme seviyesi 0.005g olacaktır [4].

Yönerge içerisinde madde 7 de kullanılması gereken minimum ivmeölçer sayısı **Tablo 2.1** de verilmiştir [4].

Tablo 2.1: Minimum İvmeölçer Sayısı.

Zemin Seviyesinin Üstündeki Bina Yüksekliği (m.)	Minimum Kanal Sayısı
105-155	16
156-205	24
>205	32

YSİS yönergesine göre yapıda yer alması gereken ivmeölçerler için belirlenen sayılar ve yönler belirtilmiştir. Bunun doğrultusunda en üst katta ve modal deplasmanların en çok olduğu varsayılan iki kat seviyesinde üçer adet ivmeölçer kullanılmalıdır, bu ivmeölçerler mümkün olan en uzak mesafede iki adet paralel sensör ve bunlara dik doğrultuda bir adet sensör kullanılmalıdır. Belirlenen iki kat seviyesinde (en üst kat dışında) aynı doğrultuda kullanılan iki sensör ve bunlara dik olarak konumlandırılan bir sensör kullanılmalıdır. Zemin kat seviyesinde iki sensör kullanılmalıdır. Bodrum katta kullanılacak sensörler rijit dönme hareketinin değerlendirilmesi için, iki adet dikey sensör kullanılacaktır [4]. Binaya yerleştirilecek olan ivmeölçerlerin yerleri **Şekil 2.2'** de verilmiştir.



Şekil 2.2: İvmeölçerlerin Yerleri.

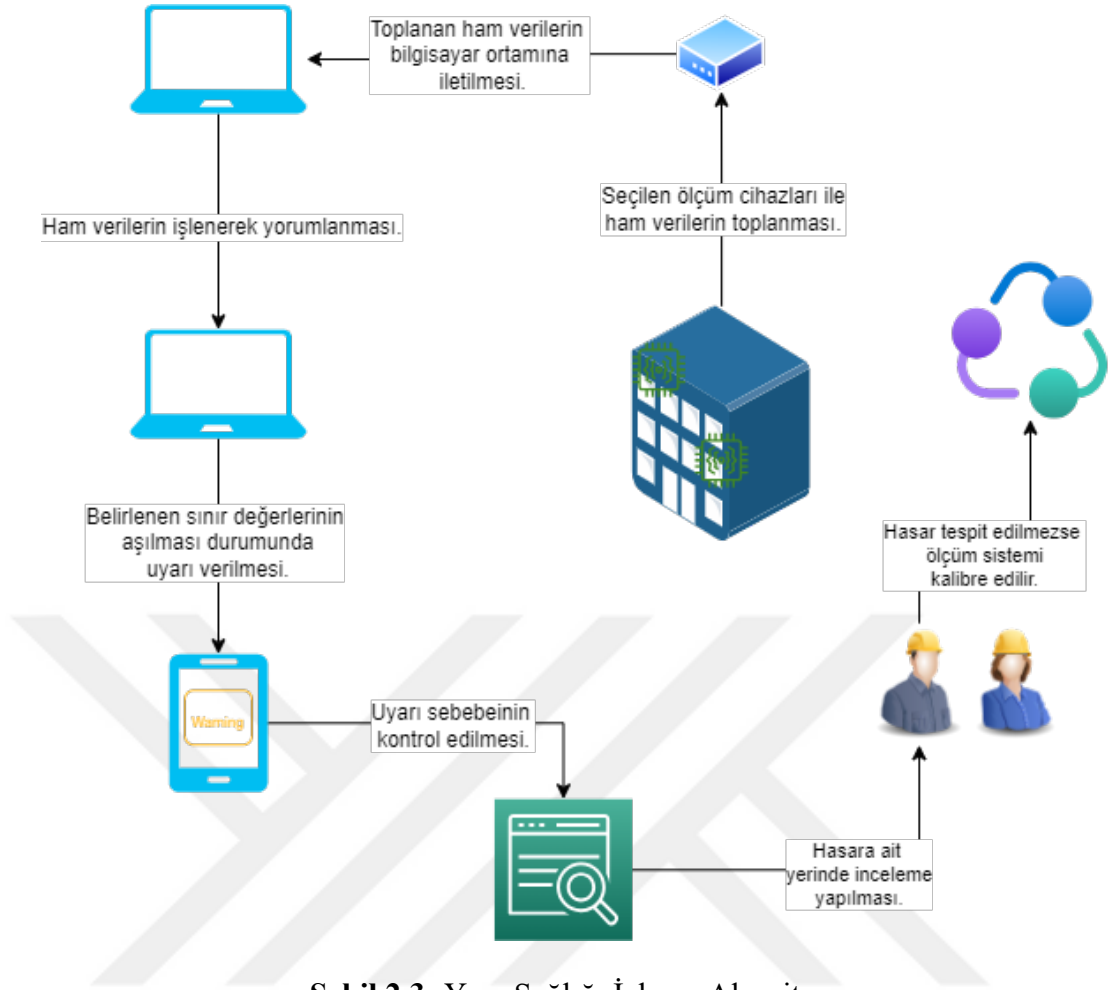
Binaya yerleştirilecek olan ivmeölçerler **Tablo 2.2** de belirtilen özellikleri minimum düzeyde sağlamalıdır.

Tablo 2.2: İvmeölçer Özellikleri.

Dinamik Aralık	>144dB+
Frekans Aralığı	0.01 – 200 Hz
Gürültü Seviyesi	<1µg RMS
Ölçüm Aralığı	+/- 2g

2.2. Yapı Sağlığı İzleme Algoritması

Yapı sağlığı izleme 2.1. bölümde açıklanmıştır. Bunun kapsamında örnek bir yapıda yapı sağlığı izleme algoritması **Şekil 2.3'** de adım adım gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Yapı Sağlığı İzleme Algoritması.

- Adım 1: Seçilen ölçüm cihazları ile yapı üzerinden ham veriler toplanmaktadır.
- Adım 2: Toplanan ham veriler bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.
- Adım 3: Bilgisayar ortamında biriktirilen ham veriler işlenerek yapı sağlığı izleme üzerine uzman kişiler tarafından yorumlanmaktadır.
- Adım 4: Belirlenen sınır değerler ile ham veri kıyaslaması yapıldıktan sonra bu sınır değerlerin aşılması durumlarında uyarı verilmektedir.
- Adım 5: Verilen uyarının sebebinin kontrol edilmesi yapılmaktadır.
- Adım 6: Hasar oluşması durumunda hasara ait yapıda inceleme yapılmaktadır.
- Adım 7: Hasar tespit edilmemesi durumunda ölçüm sistemleri kalibre edilmektedir.

Örnek olarak bir yapı sağlığı izleme algoritması yukarıda verilen 7 adımdan oluşmaktadır.

2.3. Yapı Sağlığı İzlemede Kullanılan Yöntemler

Ülkenin altyapısını korumak için yapısal sağlık izleme ilkelerinin etkin bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Chang (2003) mühendislik yapı sağlığı kavramının dört farklı alt kümeyi içerdiğini belirtmektedir:

- Sensör yerleşimi ve ölçümleri,
- Yapısal tanımlama,
- Hasar veya bozulma tespiti,
- Karar verme, olarak nitelendirilmiştir.

Başarılı bir yapı sağlığı projesi, inşaat mühendisliğinde "yapısal sağlık" konusunu ele alırken bu dört alt kategorinin tamamını dikkate almalıdır.

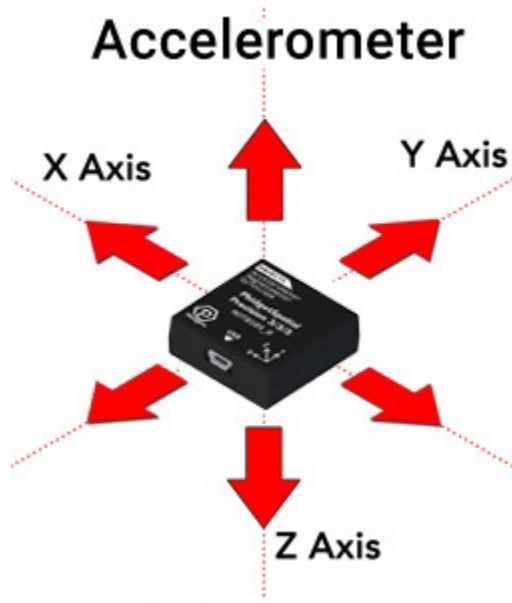
Yapı sağlığı izlemesi yapılacak olan bir yapıda bu yöntemin yapılabilmesi için çeşitli sensörler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları şöyledir:

- İvmeölçerler,
- Deplasman sensörleri,
- Tilt açısı sensörleri,
- İnklinometre.

2.3.1. İvmeölçerler

Bilim tarihi, titreşim ile ilgili araştırmaları milattan önce 6. yüzyılda Pythagoras'ın [572-512 M.Ö.] halat titreşim deneylerinden günümüzde Den Heron'un [1901-1989] klasik titreşim teorisinin temel prensiplerini oluşturmak için yürüttüğü titreşim deneylerine kadar uzanmaktadır [11].

Yapıdaki titreşimlerin ivme cinsinden genliği, ivmeölçerler tarafından ölçülmektedir. Deprem, rüzgâr, trafik gibi etkenlerden kaynaklı titreşimin önemli olduğu durumlar için kullanılmaktadır. İvmeölçerler 200Hz veya daha üstü veri toplayabilmektedir. Yaptığı hassas ölçüm sayesinde yapı sağlığı izlemede büyük bir öneme sahiptir. **Şekil 2.4** de örnek bir ivmeölçer gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Örnek Bir İvmeölçer.

2.3.2. Deplasman Sensörleri

Deplasman sensörleri iki nokta arasındaki lineer değişimi ölçmektedirler. Potansiyometre, LVDT ve lazer sensörler olmak üzere çeşitli gruplara ayrılmaktadırlar. Deplasman sensörlerinde referans noktası problemlere sebebiyet vermektedir. Şekil 2.5’ de örnek bir deplasman sensörü gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Örnek Bir Deplasman Sensörü.

2.3.3. Tilt Açısı Sensörleri

Tilt açısı sensörleri, üç eksenli ivme ölçerlerden oluşmaktadırlar. Yataydaki bulunan iki eksen arasındaki açının düşey eksene göre durumunu vermektedir. Tilt açısı sensörleri yapı sağlığı izlemesindeki kullanımı statik kısım için daha uygundur.

Tiltmetreler referans olarak yer çekimini esas alırlar bu durum referans problemini ortadan kaldırmaktadır. **Şekil 2.6'** da örnek bir tilt açısı sensörü gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Örnek Bir Tilt Açısı Sensörü.

2.3.4. İnklinometre

İnklinometreler zemin hareketlerini incelemek için kullanılmaktadır. Genel olarak kullanımı manuel olarak yapılmaktadır. **Şekil 2.7** de örnek bir inklinometre gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Örnek Bir İnklinometre.

2.4. Yapı Sağlığı İzlemesine Örnekler

Ülkemizde ve yurtdışında çeşitli yapılarda yapı sağlığı izlemesi yapılmıştır. Yapı Sağlığı İzlemesi (YSİ) yapılan çeşitli örnekler mevcuttur. Bunlardan bazıları **Tablo 2.3'** de verilmiştir [13], [14].

Tablo 2.3: Yapı Sağlığı İzleme Örnekleri

YSİ Yapılan Yapı	Yapının Türü	Bulunduğu İl
Deriner Barajı	Baraj	Artvin
Tekkale Viyadüğü	Viyadük	Artvin
Marincity	Konut	Trabzon
Avrasya Tüneli	Tünel	İstanbul
Göztepe Tren İstasyonu	Gar	İstanbul
Zorlu Center	AVM ve Konut	İstanbul
Divriği Ulu Cami	Cami	Sivas
Baling River Bridge	Köprü	Guangzhou / ÇİN
Xiangan Tunnel	Tünel	Fujian / ÇİN

2.5. Kuvvetli Yer Hareketi

Kuvvetli yer hareketi, deprem sırasında meydana gelen yer ivmesini zamanın veya frekansın bir sonucu olarak belirlemek, yapıların deprem sırasında nasıl çalıştıklarını izlemeyi amaçlamaktadır. Depremin yeryüzü üzerinde bir noktada oluşturduğu etkinin değerlendirilmesi, o noktada oluşan yer ivmelerinin kaydedilmesi ile tespit edilmektedir. İvme kayıtları, depreme dayanıklı binaların geliştirilmesine yönelik bilimsel araştırmalar ve mühendislik uygulamaları için önemli bir veri kaynağı oluşturmaktadır. Kuvvetli yer hareketinin özelliklerinin belirlenmesinde yer hareketi parametreleri dikkate alınmaktadır. Kuvvetli yer hareketinin frekans içeriği, genliği ve

süresinin belirlenmesinde çeşitli yer hareketi parametrelerinden faydalanılmaktadır [12]. Bu parametreler yer hareketi özelliğine göre ayrıştırılarak **Tablo 2.4'** de verilmiştir.

Tablo 2.4: Yer Hareketi Parametreleri

Yer Hareketi Parametresi	Genlik	Frekans İçeriği	Süre
Pik İvme, PHA	X		
Pik Hız, PHV	X		
Devamlı Maksimum İvme, SMA	X		
Efektif Tasarım İvmesi, EDA	X		
Baskın Periyot, T_p		X	
Bant Genişliği		X	
Merkezi Frekans, Ω		X	
Şekil Faktörü, δ		X	
Güç Spektrumu Şiddeti, G_0	X	X	X
Yer Frekansı, ω_g		X	
Yer Sönümlemesi, ξ_g		X	
V_{max}/a_{max}		X	
Süre, T_d			X
Rms İvmesi, a_{rms}	X	X	
Karakteristik Şiddet, I_c	X	X	X
Arias Şiddeti, I_a	X	X	X
Kümülatif Mutlak Hız, CAV	X	X	X
Tepki Spektrumu Şiddeti, $SI(\xi)$	X	X	
Hız Spektrumu Şiddeti, VSI	X	X	
İvme Spektrumu Şiddeti, ASI	X	X	
Efektif Pik İvme, EPA	X	X	
Efektif Pik Hız, EPV	X	X	

Tablo 2.4' de yer hareketi parametreleri ve bu parametrelerin özellikleri belirtilmiştir. Bu çalışma kapsamında seçilen depremlerin oluşturduğu kuvvetli yer hareketlerinin incelenmesi kapsamında çeşitli parametreler kullanılmıştır. Seçilen bu parametreler alt başlıklar halinde aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

2.5.1. Genlik Parametreleri

Bir yer hareketinin tanımlanmasında sıklıkla zaman kayıtları kullanılır. Genellikle ivme, hız veya yer değiştirme hareketin değişkenleri olmaktadır. Bunlardan sadece biri genellikle ölçülür, diğer ikisi ise integral ve/veya türev alma yoluyla hesaplanmaktadır [12].

2.5.1.1. Pik İvme Değeri

Belirli bir yer hareketinin genliğini belirlemede kullanılan en yaygın yöntemdir. Ölçü olarak en büyük yer ivmesi (PGA: Peak Ground Acceleration) veya en büyük yatay ivme (PHA: Peak Horizontal Acceleration) olarak kullanılmaktadır. Bir hareket bileşeninin akselogramından elde edilen en yüksek yatay ivme (mutlak) değeri olarak tanımlanmaktadır. Yüksek frekanslarda pik ivmeler oluşmaktadır, genellikle meydana gelen depremlerin süreleri kısa olduğundan dolayı 0,5g' den büyük pik ivmeler görülse de yapılarda hasara neden olmamıştır [12].

2.5.1.2. Pik Hız Değeri

Belirli bir yer hareketinin genliğinin belirlenmesinde kullanılan başka bir parametre ise pik hız (PHV: Peak Horizontal Velocity) kavramıdır. Bu kavram Yer hareketinin yüksek frekans içeriğine daha az duyarlı olduğundan, hız, orta frekanslı yer hareketleri için genlik değeri PHA'ya göre PHV ile daha iyi belirlenmektedir [12].

2.5.1.3. Pik Yer Değiştirme Değeri

Pik ivme ve pik hız dışında yer hareketinin genliğinin belirlenmesinde kullanılan diğer bir parametre pik yer değiştirmedir. Pik yer değiştirme genel olarak depremlerin düşük frekanslı bileşenleri ile ilgilidir. İvmeölçerlerden alınan kayıtların filtrelenmesi sırasında sinyal hataları ve uzun süreli gürültüden dolayı, pik yer değiştirme değerlerinin doğru bir şekilde elde edilmesi zordur [12].

2.5.2. Frekans İçeriği Parametreleri

Frekans içeriği bir deprem hareketinin etkilerini büyük ölçüde etkilemektedir. Frekans içeriği, bir yer hareketi genliğinin çeşitli frekanslar arasında nasıl dağıldığına dair bir açıklama sağlamaktadır. Frekans içeriği, deprem sırasında yapısal yıkımı belirleyen önemli faktörlerden biridir. Küçük depremlere göre büyük depremler daha uzun süreli yer hareketi oluşturur [12].

2.5.2.1. Fourier Spektrumları

Fourier analizi, farklı frekans, genlik ve fazdaki basit harmonik terimlerin toplamı olan bir periyodik fonksiyonu ifade etmektedir. Bu fonksiyon sabit aralıklarla aynı şekilde tekrarlanmaktadır. Fourier spektrumları, bir kuvvetli yer hareketi genliğinin frekansa göre nasıl dağıldığını göstermektedir.

Fourier genlik spektrumunun geniş veya dar olması mümkündür. Dar spektrum, yer hareketinin düz ve yaklaşık olarak sinüsoidal olması ve bir baskın frekansının (veya periyodunun) olması nedeniyle tanımlanır. Geniş bir spektrum ise, zamana göre düzensiz değişen ve çok çeşitli frekanslar içeren daha girintili-çıkıntılı bir harekete karşılık gelmektedir [12].

Fourier spektrumlarının oluşturulması için denklem 2.1' den yararlanılmaktadır.

$$x(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(\omega_n t + \phi_n) \quad (2.1)$$

Bu denklemde c_n ve ϕ_n n. Terimin genliği ve faz açısıdır.

2.5.2.2. Tepki Spektrumu

Tek serbestlik dereceli (TSD) bir sistemin belirli bir girdi hareketine maksimum tepkisi, TSD sistemin doğal frekansı (veya doğal periyodu) ve sönümlleme oranı tarafından belirlenmektedir. İvme, hız ve yerdeğiştirme bu tepkiyi gösterebilir. Spektral ivme (S_a), spektral hız (S_v) ve spektral yerdeğiştirme (S_d) maksimum değerleri, TSD sisteminin doğal frekansı ve sönümlleme oranına bağlıdır. Bu parametrelerin her birinin maksimum değerleri, sırasıyla spektral yerdeğiştirme (S_d),

spektral ivme (S_a) ve spektral hız (S_v) olarak tanımlanır. S_a , S_v , S_d parametreleri için denklemler aşağıda verilmiştir. [12].

$$S_d = |u_{max}| \quad (2.2)$$

$$S_v = |\dot{u}_{max}| \approx \omega_0 S_d \quad (2.3)$$

$$S_a = |\ddot{u}_{max}| \approx \omega_0^2 S_d \quad (2.4)$$

Bu denklemlerde u ve ω_0 TSD sistemin yer değiştirme ve doğal frekansıdır.

2.5.3. v_{max}/a_{max}

Pik hızlar ve pik ivmeler genellikle farklı frekanslarda geliştiğinden, hareketin frekans içeriği ile v_{max}/a_{max} oranı da ilişkili olmaktadır. Sözelimi, basit bir harmonik hareket için $v_{max}/a_{max} = T/2\pi$ dir. Çok farklı frekanslar içeren deprem hareketlerinde $2\pi (v_{max}/a_{max})$ büyüklüğü, eşdeğer bir harmonik dalğanın titreşim periyodu olarak hesaplanabilmektedir. Bu şekilde, yer hareketinin önemli periyodları belirlenmektedir.

2.5.4. Rms İvmesi

Bir kuvvetli yer hareketi kaydının frekans içeriğini ve genliğini kapsayan tek parametre rms ivmesi olarak tanımlanmaktadır. Rms ivmesi denklem 2.5'ten elde edilmektedir [12].

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} [a(t)]^2 dt} = \sqrt{\lambda_0} \quad (2.5)$$

Bu denklemde T_d : kuvvetli yer hareketi süresi ve λ_0 : ortalama şiddettir.

2.5.6 Arias Şiddeti

Arias şiddetinin birimi, genellikle m/s cinsinden gösterilir. Arias şiddetinin değeri, kuvvetli hareketin süresini bulmak için kullanılan yöntemden bağımsızdır çünkü kuvvetli hareketin süresi yerine tüm süre esas alınmaktadır. Arias şiddeti denklem 2.6 ile bulunmaktadır [12].

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{\infty} [a(t)]^2 dt \quad (2.6)$$

2.5.7. Kümülatif Mutlak Hız (CAV)

Mutlak akselerogramın altındaki alan, kümülatif mutlak hız olarak tanımlanmaktadır. Yapısal hasar potansiyeli ile kümülatif mutlak hız arasında güçlü bir korelasyon bulunmaktadır. Kümülatif mutlak hız (CAV) denklem 2.7 ile elde edilmektedir [12].

$$CAV = \int_0^{T_d} |a(t)| dt$$

Bu denklemde T_d kuvvetli yer hareketinin süresidir.

3.ÖRNEK YAPININ SEÇİLMESİ VE ELDE EDİLEN KAYITLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Örnek Yapının Seçilmesi

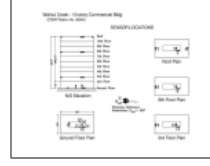
Yapı sağlığı izleme için gereken veriler ve bu verilerin sağlandığı bir yapıya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez kapsamında ABD'nin Kaliforniya eyaletine bağlı Walnut Creek ilçesinde bulunan bir yapı seçilmiştir. İncelenen yapı 10 katlı betonarme bir ofis binasıdır. Binanın içerisinde betonarme çekirdek perde bulunmaktadır.

Seçilen yapının deprem kayıtlarının elde edilmesi için <https://www.strongmotioncenter.org> internet sitesindeki Mühendislik Kuvvetli Hareket Veri Merkezi (CESMD) kullanılmıştır [16]. CESMD sayfasında seçilen yapı hakkındaki bilgilere ve zaman içerisinde maruz kaldığı depremler hakkında bilgi vermektedir. **Şekil 3.1'** de seçilen yapıya ait bilgiler gösterilmiştir [16].

CESMD
Information for Strong-Motion Station
Walnut Creek - 10-story Commercial Bldg
CGS - CSMIP Station 58364
[Earthquakes recorded by this station](#)



(Station Photograph - click to enlarge)



(Sensor Layout - click to see PDF File)

Latitude	37.9069 N
Longitude	122.0661 W
Elevation (m)	53
Site Geology	Rock (sedimentary)
Vs30 (m/sec)	--
Site Class	C
Remarks/Notes	Site information sources

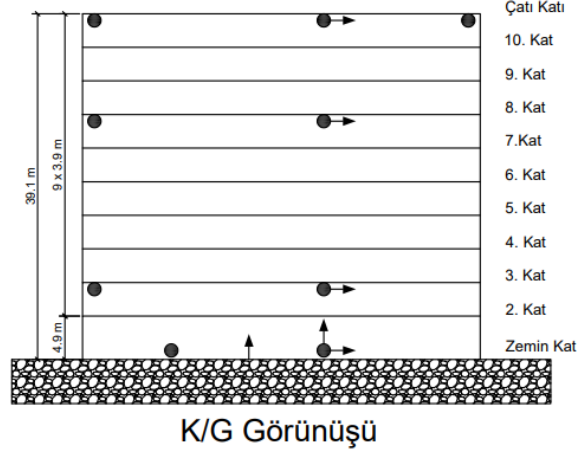
No. of Stories above/below ground	10/0
Plan Shape	Rectangular with appendage at first floor only
Base Dimensions	104'-2" x 148'-2" (56'-1" x 58'-2" appendage)
Typical Floor Dimensions	104'-2" x 148'-2"
Design Date	1970
Instrumentation	1979. 16 accelerometers, on 4 levels in the building.

Vertical Load Carrying System	2-3/4" lightweight concrete over 2-3/4" precast panel slab supported by precast, prestressed concrete beams and concrete columns.
Lateral Force Resisting System	Interior core concrete shear wall and exterior precast and cast-in-place concrete frame.
Foundation Type	Spread footings and caissons
Remarks	---

Şekil 3.1: Yapı Hakkında Bilgiler [16].

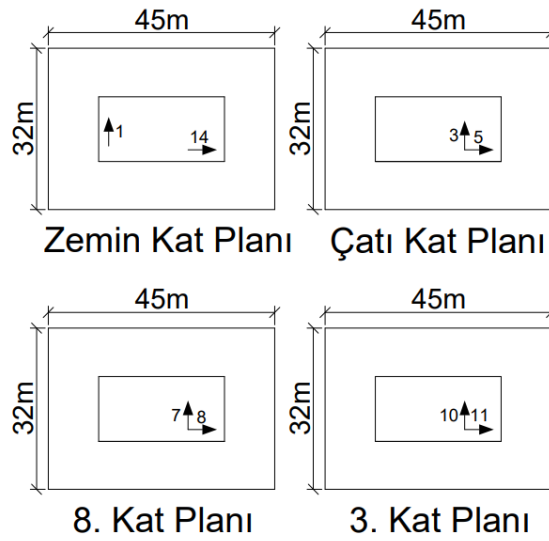
Seçilen yapı üzerinde çeşitli katlarda ivme kayıtlarını kaydeden 16 adet sensör bulunmaktadır. Sensörlerin kuzey güney doğrultusundaki konumları **Şekil 3.2** de gösterilmiştir.

Sensör Lokasyonları



Şekil 3.2: Sensörlerin Yapıdaki Konumları.

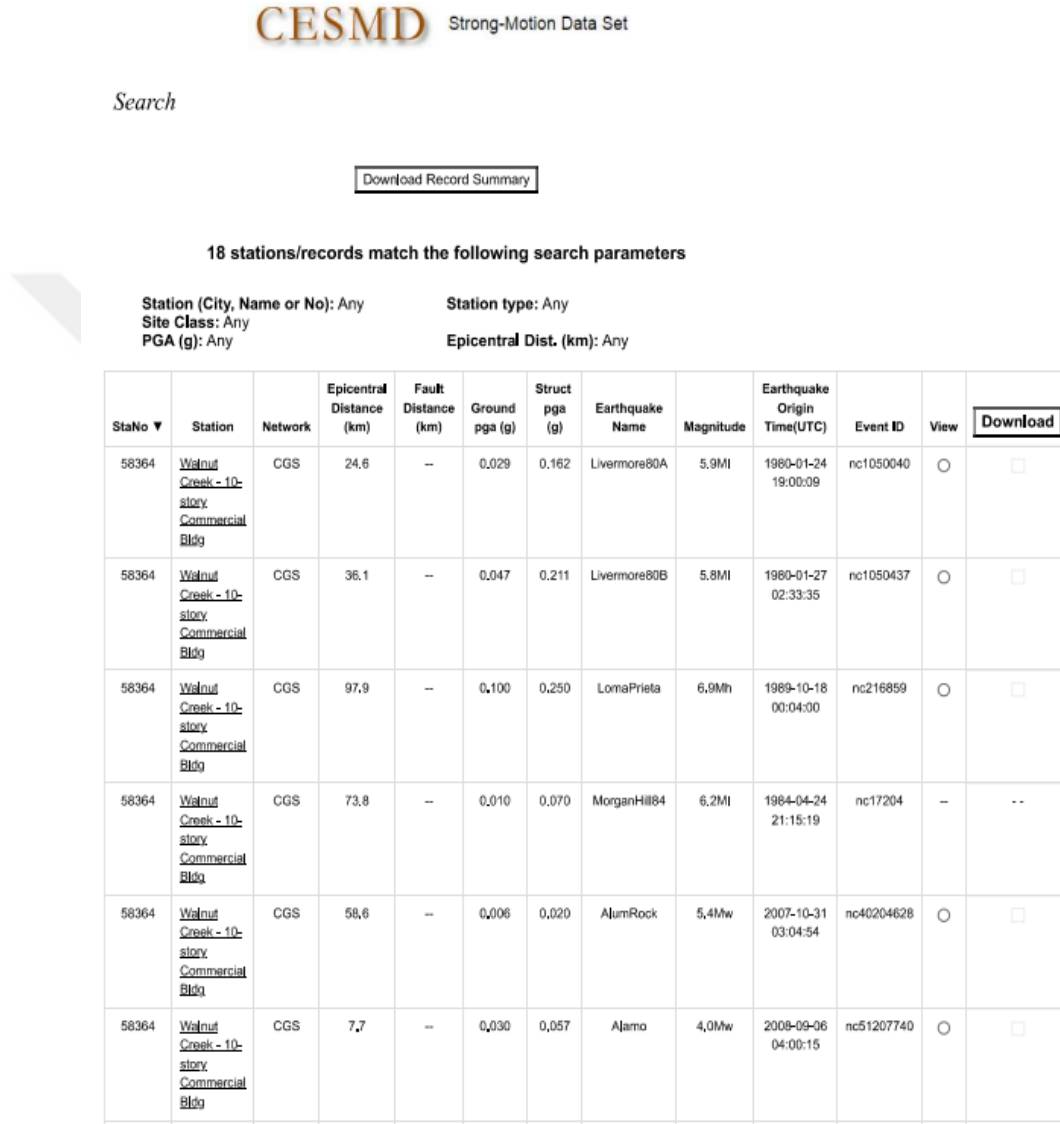
Yapı üzerinde bulunan 16 adet sensörler içerisinde farklı katlardan aynı eksenlerde olacak şekilde sensörler seçilmiştir. Seçilen sensörler zemin kat, üçüncü kat, sekizinci kat ve çatı katı olmak üzere dört farklı katta bulunmaktadır. Şekil 3.3 de kat planlarında seçilen sensörlerin konumları bulunmaktadır. Seçilen sensörlerden 1 ve 14 numaralı sensörler zemin katta, 10 ve 11 numaralı sensörler üçüncü katta, 7 ve 8 numaralı sensörler sekizinci katta, 3 ve 5 numaralı sensörler çatı katında bulunmaktadır.



Şekil 3.3: Seçilen Sensörlerin Yapıdaki Konumları.

3.2. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

Seçilen yapıya farklı zamanlarda farklı büyüklüklerde depremler etki etmiştir. CESMD üzerinden yapıya etki etmiş olan deprem kayıtlarına ulaşılmıştır [16]. CESMD’ de deprem kayıtlarının görüntüsü **Şekil 3.4’** de gösterilmiştir.



StaNo ▼	Station	Network	Epicentral Distance (km)	Fault Distance (km)	Ground pga (g)	Struct pga (g)	Earthquake Name	Magnitude	Earthquake Origin Time(UTC)	Event ID	View	Download
58364	Walnut Creek - 10-story Commercial Bldg	CGS	24.6	--	0.029	0.162	Livermore80A	5.9MI	1980-01-24 19:00:09	nc1050040		
58364	Walnut Creek - 10-story Commercial Bldg	CGS	36.1	--	0.047	0.211	Livermore80B	5.8MI	1980-01-27 02:33:35	nc1050437		
58364	Walnut Creek - 10-story Commercial Bldg	CGS	97.9	--	0.100	0.250	LomaPrieta	6.9Mh	1989-10-18 00:04:00	nc216859		
58364	Walnut Creek - 10-story Commercial Bldg	CGS	73.8	--	0.010	0.070	MorganHill84	6.2MI	1984-04-24 21:15:19	nc17204	--	--
58364	Walnut Creek - 10-story Commercial Bldg	CGS	58.6	--	0.006	0.020	AlumRock	5.4Mw	2007-10-31 03:04:54	nc40204628		
58364	Walnut Creek - 10-story Commercial Bldg	CGS	7.7	--	0.030	0.057	Alamo	4.0Mw	2008-09-06 04:00:15	nc51207740		

Şekil 3.4: CESMD Sayfasındaki Deprem Kayıtları.

Deprem kayıtları incelenerek yapıya farklı uzaklıkta, farklı büyüklükte olan altı farklı deprem kaydı seçilmiştir. Bu depremlerin büyüklükleri ve yapı göre konumları earth.google.com internet sayfası kullanılarak **Şekil 3.5’** de gösterilmiştir [17].



Şekil 3.5: Seçilen Yapıya Göre Depremlerin Konumları ve Büyüklükleri.

Seçilen deprem kayıtlarına ait çeşitli parametreler **Tablo 3.1** de verilmiştir.

Tablo 3.1: Seçilen Deprem Kayıtları.

<i>İstasyon Numarası</i>	<i>İstasyon</i>	<i>Episantr Uzaklığı (km)</i>	<i>En Büyük Yer İvmesi (g)</i>	<i>Yapı İvmesi (g)</i>	<i>Deprem İsmi</i>	<i>Deprem Büyüklüğü</i>	<i>Tarih</i>	<i>Saat</i>
58364	Walnut Creek	97.9	0.100	0.250	LomaPrieta	Mw 6.9	18.10.1989	00:04:00
58364	Walnut Creek	41.0	0.019	0.110	SouthNapa	Mw 6.0	24.08.2014	10:20:44
58364	Walnut Creek	3.5	0.035	0.105	PleasantHill	Mw 4.5	15.10.2019	05:33:42
58364	Walnut Creek	24.60	0.029	0.162	Livermore	MI 5.9	24.01.1980	19:00:09
58364	Walnut Creek	7.7	0.030	0.057	Alamo	Mw 4.0	06.09.2008	04:00:15
58364	Walnut Creek	58.6	0.006	0.020	Alum Rock	Mw 5.4	31.10.2007	03:04:54

3.3. Deprem Kayıtlarının Analiz Edilmesi

Seçilen bina üzerindeki sensörlerden, belirlenen altı depreme ait sensör kayıtları CESMD sayfası kullanılarak elde edilmiştir [16]. Ham veri olarak alınan kayıtlar Excel ve Seismosignal yazılımları kullanılarak işlenmiştir.

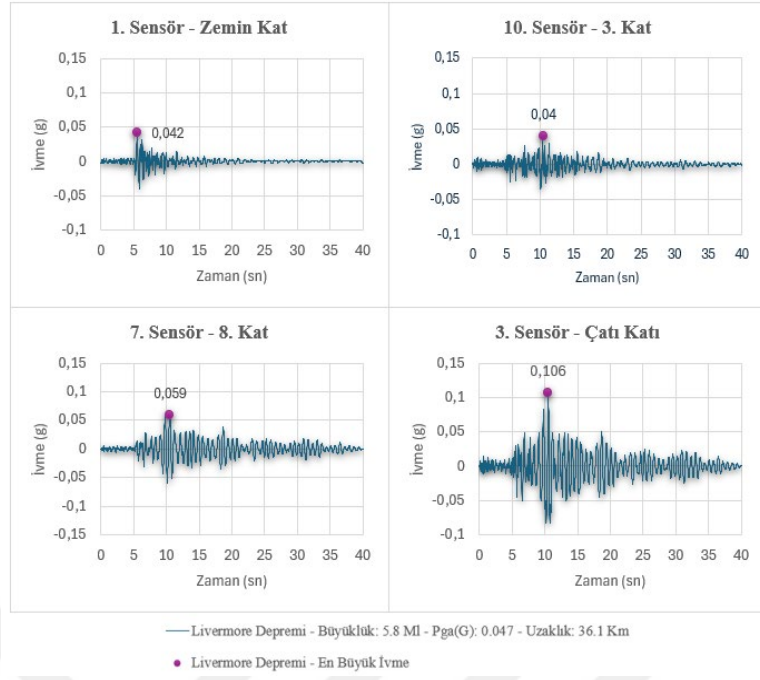
Verilerin işlenmesi sırasında, üzerinde sensör bulunan dört kat içlerinde analiz edilmiştir. Her kat için seçilen sensörlerin kaydettikleri altı farklı deprem durumu incelenmiş ve seçilen sensörlerin kayıt altına aldığı deprem verileri kendi aralarında kıyaslanmıştır.

Deprem verileri analiz edilirken her kat için ivme zaman grafikleri farklı altı deprem durumu için oluşturulmuştur. Her deprem durumu için elastik tasarım spektrumları oluşturulmuştur. Oluşturulan spektrumlar kat ve deprem bazında kendi içlerinde incelenmiştir. Her kat için spektrumlar kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

Spektrum grafikleri ve ivme zaman grafikleri zemin kat ve çatı katı arasında karşılaştırmada kullanılmış ve karşılaştırma grafikleri de oluşturulmuştur. Zemin kat ve çatı katı kıyaslaması yapılmasında depremden kaynaklı oluşan ivme değerlerinin zemin katta en az olmasına karşılık çatı katında en fazla değerlere ulaşmasıdır. Zemin kat ve çatı katı grafikleri karşılaştırıldığında bu durum gözlemlenmektedir.

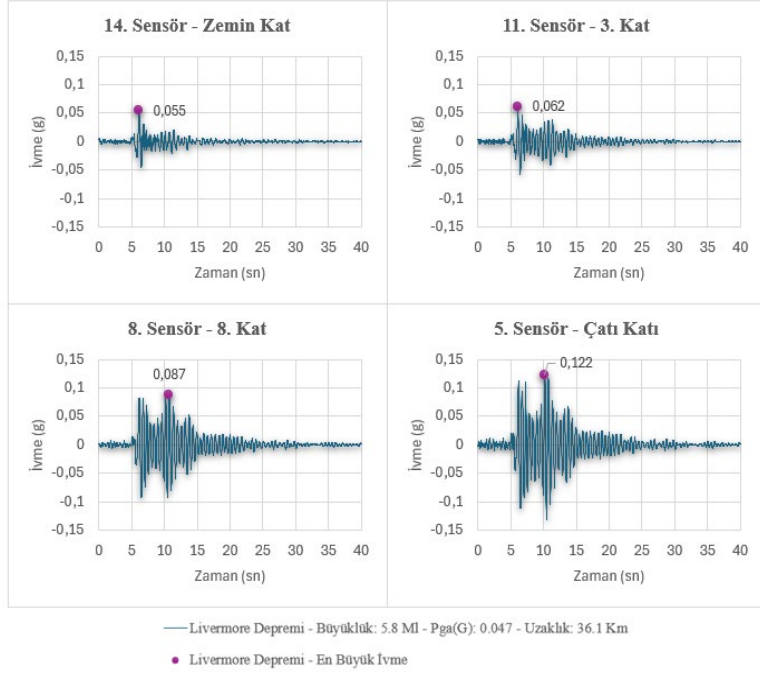
3.3.1. Livermore Depremi Ml 5.8 İvme Zaman Grafikleri

Dikkate alınan yapının farklı katlarında bulunan cihazlar tarafından ölçümlenen Ml 5.8 Livermore Depremine ait kayıtların ivme-zaman grafikleri, y yönü için **Şekil 3.6**, x yönü için ise **Şekil 3.7** de verilmiştir.



Şekil 3.6: Livermore Depremi (Ml 5.8) Y Yönü İvme Zaman Grafiği.

Livermore depremi için y yönündeki ivmeölçer kayıtları incelendiğinde katlara gelen ivme değerlerinin çatı katına doğru arttığı ve çatı katında en yüksek değerine ulaştığı görülmüştür.

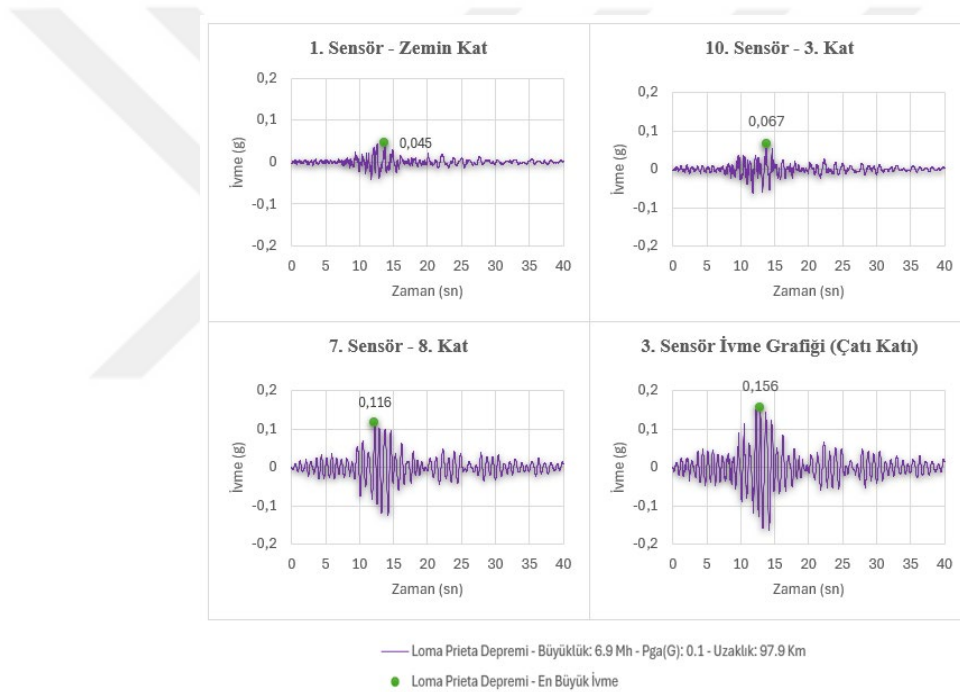


Şekil 3.7: Livermore Depremi (Ml 5.8) X Yönü İvme Zaman Grafiği.

Livermore depremi için x yönündeki ivmeölçer kayıtları incelendiğinde katlara gelen ivme değerlerinin çatı katına doğru arttığı ve çatı katında en yüksek değerini aldığı görülmüştür.

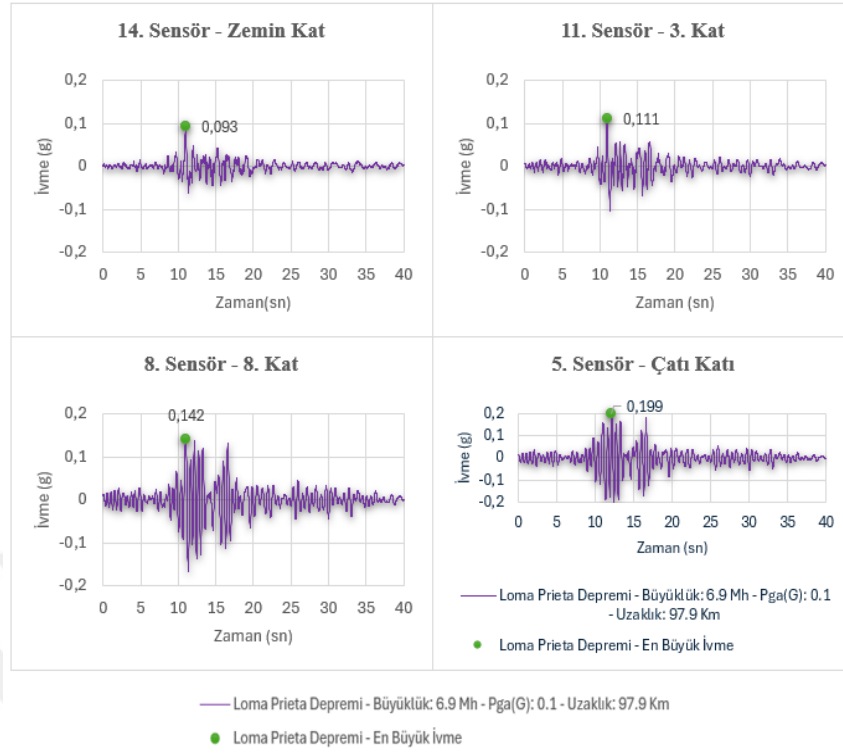
3.3.2. Loma Prieta Depremi Mw 6.9 İvme Zaman Grafikleri

Dikkate alınan yapının farklı katlarında bulunan cihazlar tarafından ölçümlenen Mw 6.9 Loma Prieta Depremine ait kayıtların ivme-zaman grafikleri, y yönü için **Şekil 3.8**, x yönü için ise **Şekil 3.9**' da verilmiştir. Şekiller incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru ivme değerlerinde artış olduğu görülmektedir.



Şekil 3.8: Loma Prieta Depremi (Mw 6.9) Y Yönü İvme Zaman Grafiği.

Loma Prieta depremi için y yönündeki ivmeölçer kayıtları incelendiğinde katlara gelen ivme değerlerinin çatı katına doğru arttığı ve çatı katında en yüksek değerini aldığı görülmüştür.

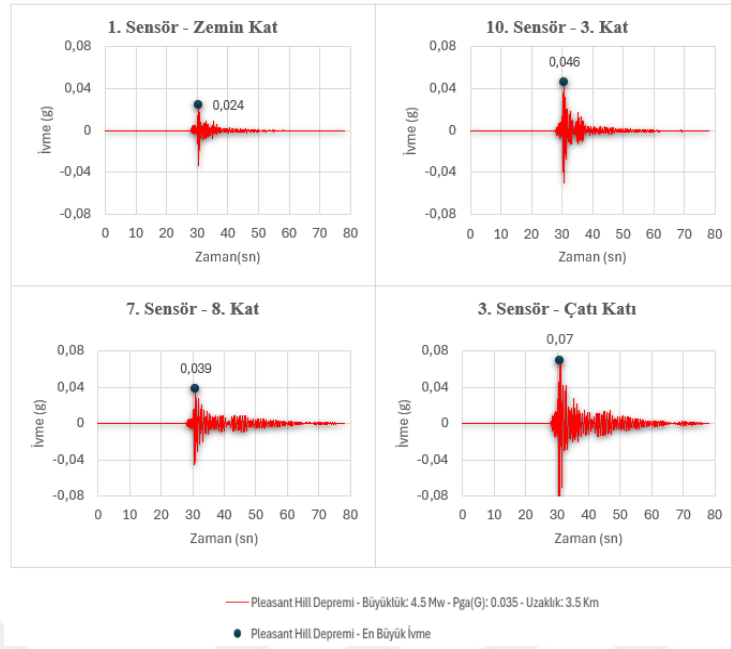


Şekil 3.9: Loma Prieta Depremi (Mw 6.9) X Yönü İvme Zaman Grafiği.

Loma Prieta depremi için x yönündeki ivmeölçer kayıtları incelendiğinde katlara gelen ivme değerlerinin çatı katına doğru arttığı ve çatı katında en yüksek değerini aldığı görülmüştür.

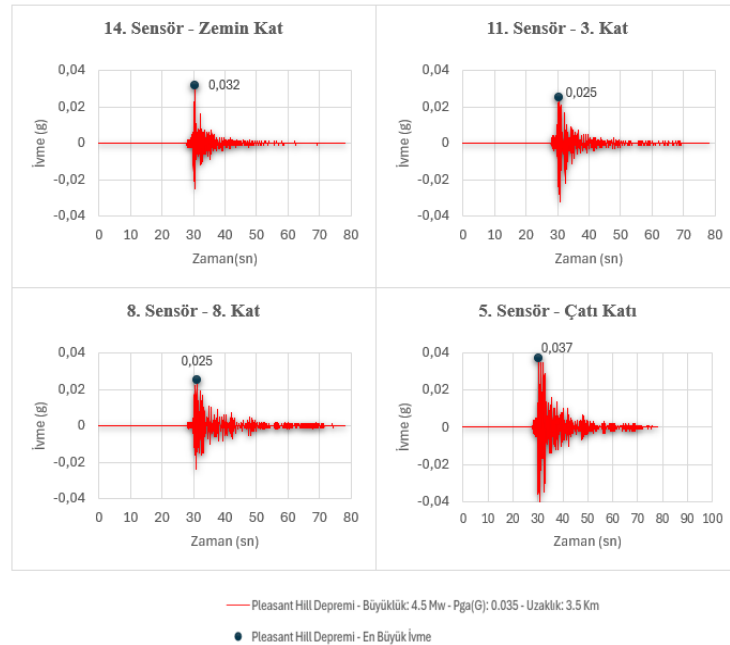
3.3.3. Pleasant Hill Depremi Mw 4.5 İvme Zaman Grafikleri

Dikkate alınan yapının farklı katlarında bulunan cihazlar tarafından ölçümlenen Mw 4.5 Pleasant Hill Depremi ait kayıtların ivme-zaman grafikleri, y yönü için **Şekil 3.10**, x yönü için ise **Şekil 3.11**' de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru ivme değerlerinde artış olduğu görülmektedir.



Şekil 3.10: Pleasant Hill Depremi (Mw 4.5) Y Yönü İvme Zaman Grafiği.

Pleasant Hill depremi için y yönündeki ivmeölçer kayıtları incelendiğinde katlara gelen ivme değerlerinin çatı katına doğru arttığı ve çatı katında en yüksek değerini aldığı görülmüştür. Kayıt kirliliği ya da ivmeölçer kayıtlarında sorun olabileceğinden dolayı sekizinci kat verisi incelendiğinde burada ivme değerinin önceki kata göre düştüğü gözlemlenmiştir.

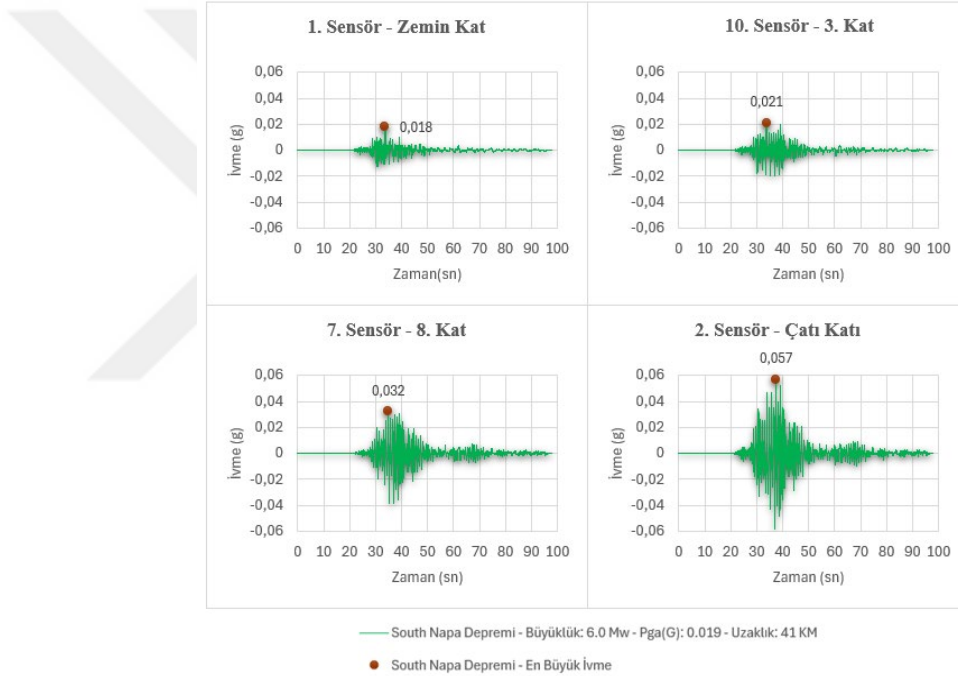


Şekil 3.11: Pleasant Hill Depremi (Mw 4.5) X Yönü İvme Zaman Grafiği.

Pleasant Hill Depremi için x yönündeki ivmeölçer kayıtları incelendiğinde katlara gelen ivme değerlerinin çatı katına doğru arttığı ve çatı katında en yüksek değerini aldığı görülmüştür.

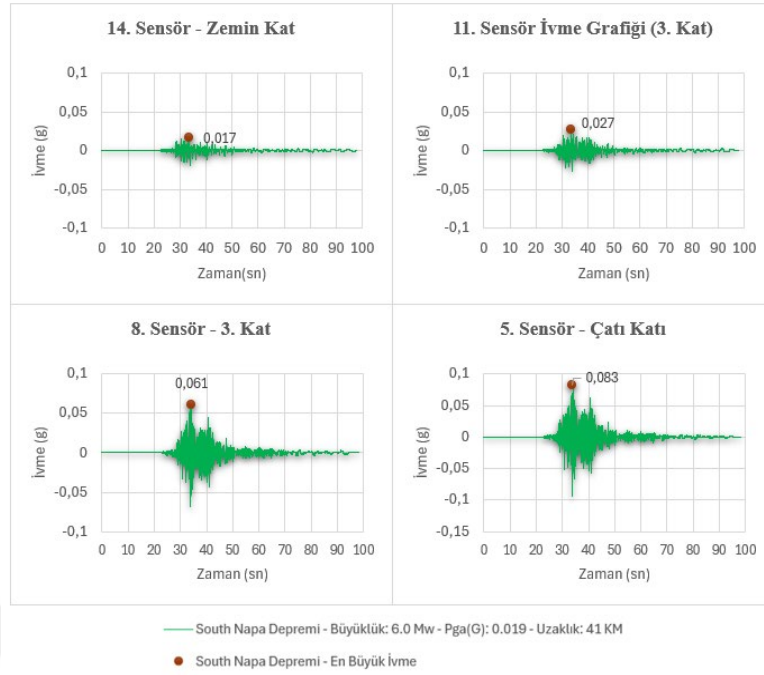
3.3.4. South Napa Depremi Mw 6.0 İvme Zaman Grafikleri

Dikkate alınan yapının farklı katlarında bulunan cihazlar tarafından ölçümlenen Mw 6.0 South Napa Depremi ait kayıtların ivme-zaman grafikleri, y yönü için **Şekil 3.12**, x yönü için ise **Şekil 3.13**' de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru ivme değerlerinde artış olduğu görülmektedir.



Şekil 3.12: South Napa Depremi (Mw 6.0) Y Yönü İvme Zaman Grafiği.

South Napa depremi için y yönündeki ivmeölçer kayıtları incelendiğinde katlara gelen ivme değerlerinin çatı katına doğru arttığı ve çatı katında en yüksek değerini aldığı görülmüştür.

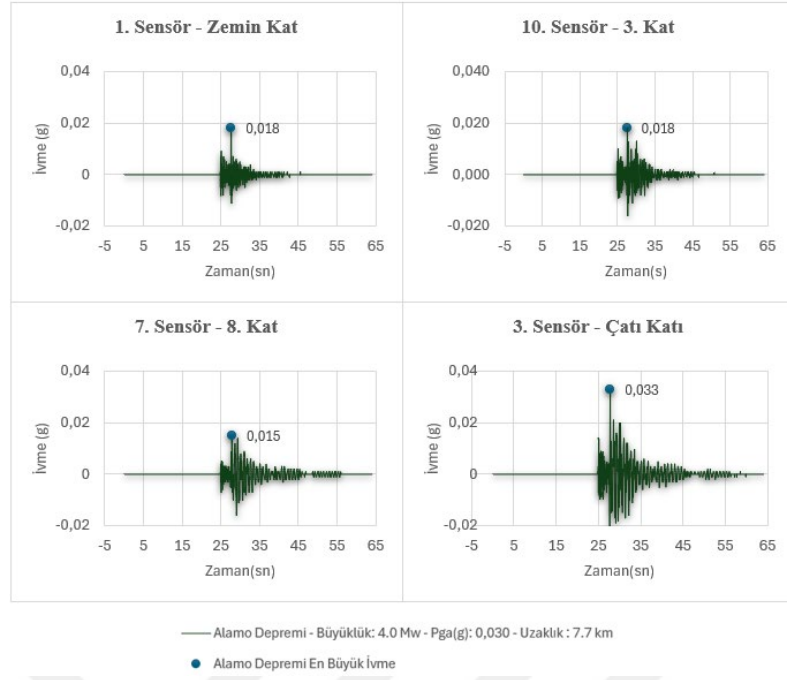


Şekil 3.13: South Napa Depremi (Mw 6.0) X Yönü İvme Zaman Grafiği.

South Napa depremi için x yönündeki ivmeölçer kayıtları incelendiğinde katlara gelen ivme değerlerinin çatı katına doğru arttığı ve çatı katında en yüksek değerini aldığı görülmüştür.

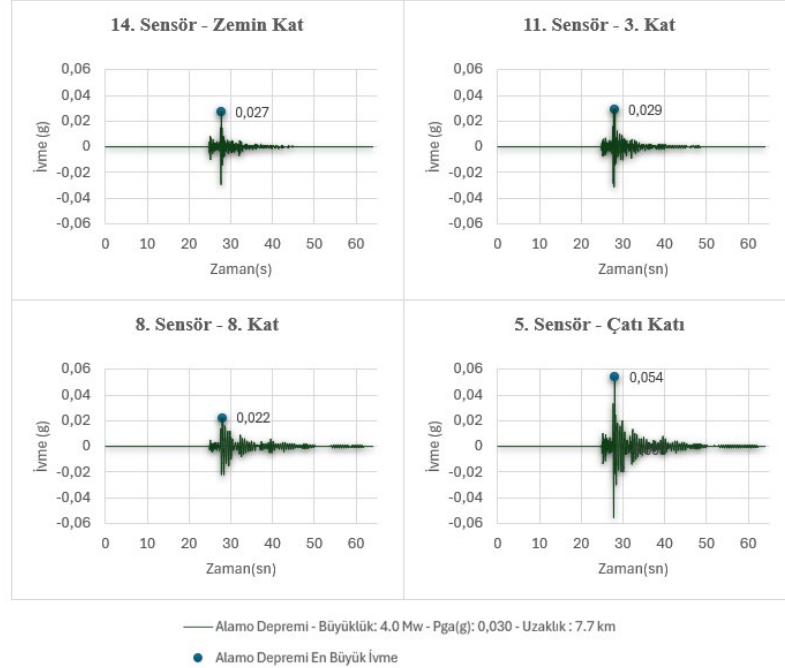
3.3.5. Alamo Depremi Mw 4.0 İvme Zaman Grafikleri

Dikkate alınan yapının farklı katlarında bulunan cihazlar tarafından ölçümlenen Mw 4.0 Alamo Depremi ait kayıtların ivme-zaman grafikleri, y yönü için **Şekil 3.14**, x yönü için ise **Şekil 3.15**' de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru ivme değerlerinde artış olduğu görülmektedir.



Şekil 3.14: Alamo Depremi (Mw 4.0) Y Yönü İvme Zaman Grafiği.

Alamo Depremi için y yönündeki ivmeölçer kayıtları incelendiğinde katlara gelen ivme değerlerinin çatı katına doğru arttığı ve çatı katında en yüksek değerini aldığı görülmüştür.

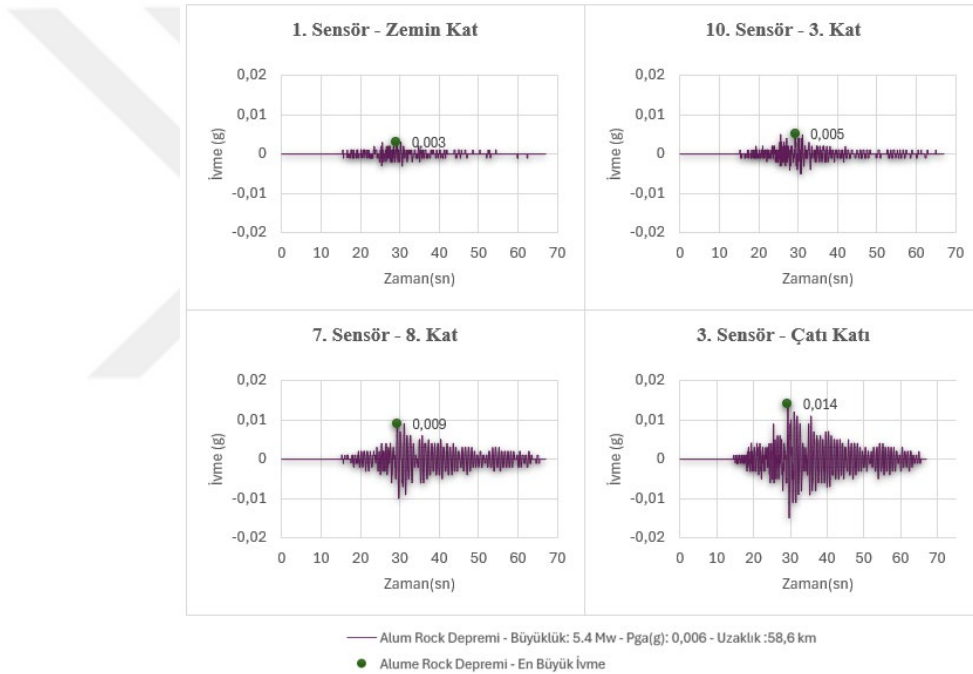


Şekil 3.15: Alamo Depremi (Mw 4.0) X Yönü İvme Zaman Grafiği.

Alamo Depremi için x yönündeki ivmeölçer kayıtları incelendiğinde katlara gelen ivme değerlerinin çatı katına doğru arttığı ve çatı katında en yüksek değerini aldığı görülmüştür.

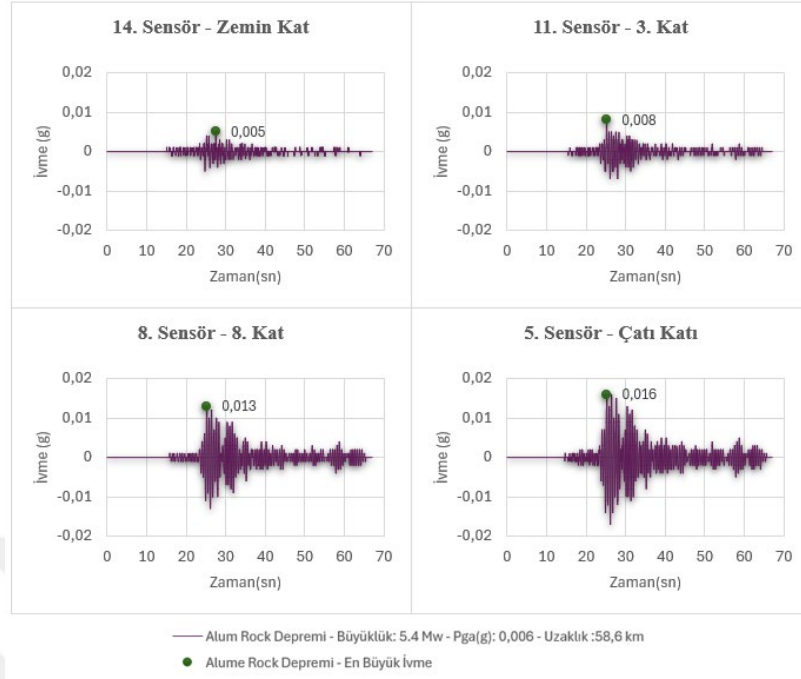
3.3.6. Alum Rock Depremi Mw 5.4 İvme Zaman Grafikleri

Dikkate alınan yapının farklı katlarında bulunan cihazlar tarafından ölçümlenen Mw 5.4 Alum Rock Depremi ait kayıtların ivme-zaman grafikleri, y yönü için **Şekil 3.16**, x yönü için ise **Şekil 3.17**’ de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru ivme değerlerinde artış olduğu görülmektedir.



Şekil 3.16: Alum Rock Depremi (Mw 5.4) Y Yönü İvme Zaman Grafiği.

Alum Rock depremi için y yönündeki ivmeölçer kayıtları incelendiğinde katlara gelen ivme değerlerinin çatı katına doğru arttığı ve çatı katında en yüksek değerini aldığı görülmüştür. Ayrıca bu deprem çok düşük ivme değerleri oluşturmuştur.



Şekil 3.17: Alum Rock Depremi (Mw 5.4) X Yönü İvme Zaman Grafiği.

Alum Rock depremi için x yönündeki ivmeölçer kayıtları incelendiğinde katlara gelen ivme değerlerinin çatı katına doğru arttığı ve çatı katında en yüksek değerini aldığı görülmüştür. Ayrıca bu deprem çok düşük ivme değerleri oluşturmuştur.

3.3.7. Seçilen Depremlerin Farklı Katlardaki Maksimum İvme Değerleri

Livermore depremi için farklı katlardaki sensörlerden veri alınmıştır. Alınan verilerin incelemeleri yapılmıştır. Yapılan incelemelerde zemin kattan çatı katına kadar dört farklı katta kaydedilmiş maksimum ivme değerleri **Tablo 3.2'** de verilmiştir.

Tablo 3.2: Livermore Depremi Ml 5.8 Maksimum İvme Değerleri.

<i>Livermore Depremi</i>	<i>(90 derece)</i>	<i>Kat Bilgisi</i>	<i>Sensör Numarası</i>	<i>En Büyük İvme Değeri (g)</i>
		Zemin Katı	1	0,029
		3. Kat	10	0,040
		8. Kat	7	0,059
		Çatı Katı	3	0,106
	<i>(180 derece)</i>	<i>Kat Bilgisi</i>	<i>Sensör Numarası</i>	<i>En Büyük İvme Değeri (g)</i>
		Zemin Katı	14	0,029
		3. Kat	11	0,032
		8. Kat	8	0,083
		Çatı Katı	5	0,115

İvme değerleri incelendiğinde zemin katta kaydedilen ivme değeri yukarı katlara doğru gidildiğinde arttığı görülmektedir. Bu durum diğer depremler incelendiğinde de görülmektedir. Diğer depremler için **Tablo 3.3**, **Tablo 3.4**, **Tablo 3.5**, **3.6** ve **3.7** oluşturulmuştur.

Tablo 3.3: Loma Prieta Depremi Mw 6.9 Maksimum İvme Değerleri.

<i>Loma Prieta Depremi</i>	<i>(90 derece)</i>	<i>Kat Bilgisi</i>	<i>Sensör Numarası</i>	<i>En Büyük İvme Değeri (g)</i>
		Zemin Katı	1	0,049
		3. Kat	10	0,067
		8. Kat	7	0,124
		Çatı Katı	3	0,163
	<i>(180 derece)</i>	<i>Kat Bilgisi</i>	<i>Sensör Numarası</i>	<i>En Büyük İvme Değeri (g)</i>
		Zemin Katı	14	0,098
		3. Kat	11	0,118
		8. Kat	8	0,157
		Çatı Katı	5	0,203

Tablo 3.4: Pleasant Hill Mw 4.5 Depremi Maksimum İvme Değerleri.

<i>Pleasant Hill Depremi</i>	<i>(90 derece)</i>	<i>Kat Bilgisi</i>	<i>Sensör Numarası</i>	<i>En Büyük İvme Değeri (g)</i>
		Zemin Katı	1	0,035
		3. Kat	10	0,050
		8. Kat	7	0,045
		Çatı Katı	3	0,081
	<i>(180 derece)</i>	<i>Kat Bilgisi</i>	<i>Sensör Numarası</i>	<i>En Büyük İvme Değeri (g)</i>
		Zemin Katı	14	0,032
		3. Kat	11	0,037
		8. Kat	8	0,025
		Çatı Katı	5	0,051

Tablo 3.5: South Napa Mw 6.0 Depremi Maksimum İvme Değerleri.

South Napa Depremi	(90 derece)	<i>Kat Bilgisi</i>	<i>Sensör Numarası</i>	<i>En Büyük İvme Değeri (g)</i>
		Zemin Katı	1	0,017
		3. Kat	10	0,021
		8. Kat	7	0,038
		Çatı Katı	3	0,058
	(180 derece)	<i>Kat Bilgisi</i>	<i>Sensör Numarası</i>	<i>En Büyük İvme Değeri (g)</i>
		Zemin Katı	14	0,018
		3. Kat	11	0,027
		8. Kat	8	0,068
		Çatı Katı	5	0,092

Tablo 3.6: Alamo Mw 4.0 Depremi Maksimum İvme Değerleri.

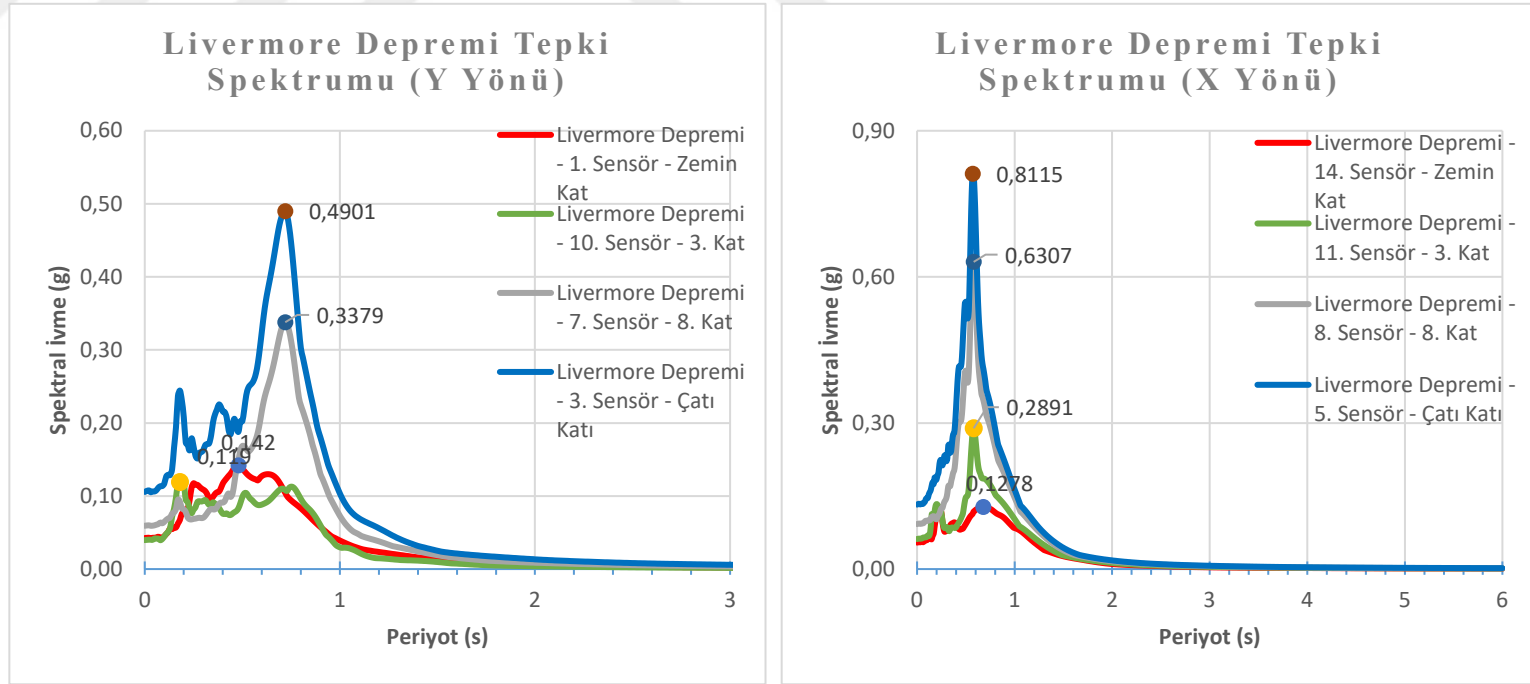
Alamo Depremi	(90 derece)	<i>Kat Bilgisi</i>	<i>Sensör Numarası</i>	<i>En Büyük İvme Değeri (g)</i>
		Zemin Katı	1	0,018
		3. Kat	10	0,018
		8. Kat	7	0,016
		Çatı Katı	3	0,033
	(180 derece)	<i>Kat Bilgisi</i>	<i>Sensör Numarası</i>	<i>En Büyük İvme Değeri (g)</i>
		Zemin Katı	14	0,029
		3. Kat	11	0,031
		8. Kat	8	0,022
		Çatı Katı	5	0,055

Tablo 3.7: Alum Rock Mw 5.4 Depremi Maksimum İvme Değerleri.

Alum Rock Depremi	(90 derece)	<i>Kat Bilgisi</i>	<i>Sensör Numarası</i>	<i>En Büyük İvme Değeri (g)</i>
		Zemin Katı	1	0,003
		3. Kat	10	0,005
		8. Kat	7	0,010
		Çatı Katı	3	0,015
	(180 derece)	<i>Kat Bilgisi</i>	<i>Sensör Numarası</i>	<i>En Büyük İvme Değeri (g)</i>
		Zemin Katı	14	0,005
		3. Kat	11	0,008
		8. Kat	8	0,013
		Çatı Katı	5	0,017

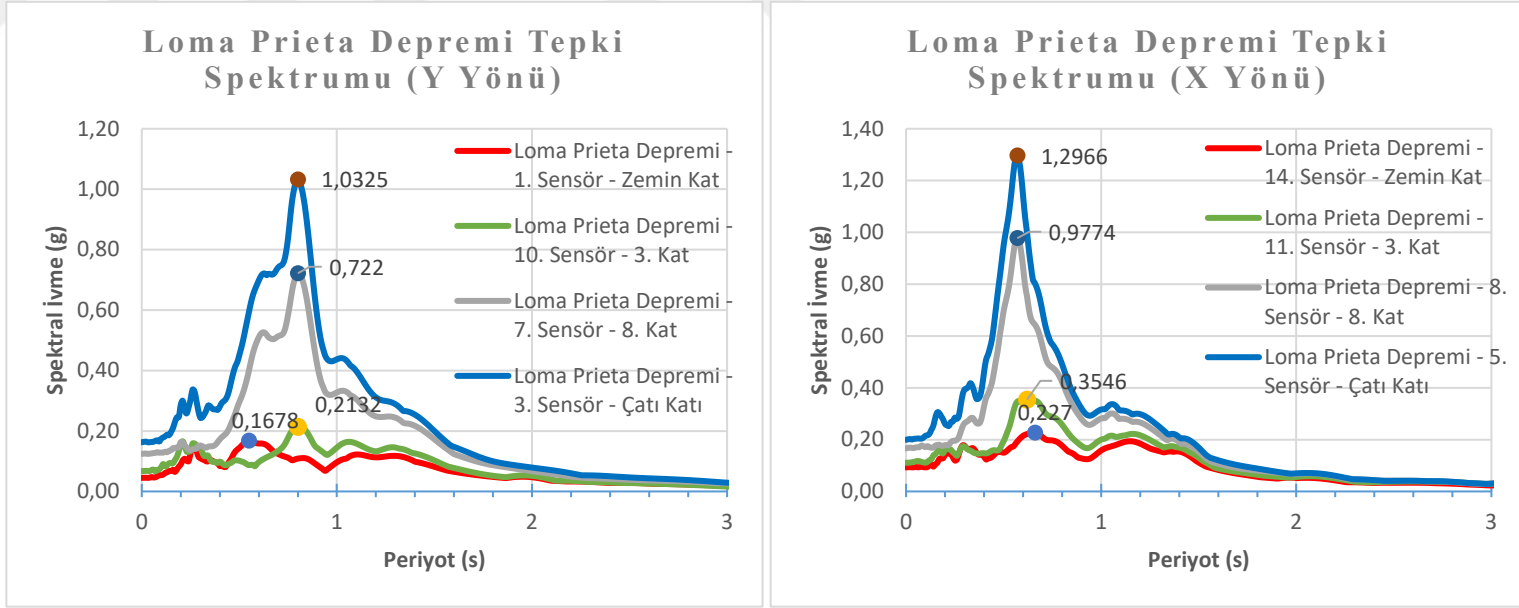
3.3.8. Seçilen Depremlerin Farklı Katlardaki Tepki Spektrum Grafikleri

Çalışma kapsamında dikkate alınan yapının farklı katlarında kaydedilen her deprem kaydına ait tepki spektrumları elde edilmiştir. Livermore depremine ait tepki spektrumları Şekil 3.18’ de verilmiştir.



Şekil 3.18: Livermore Depremi Ml 5.8 Tepki Spektrumları

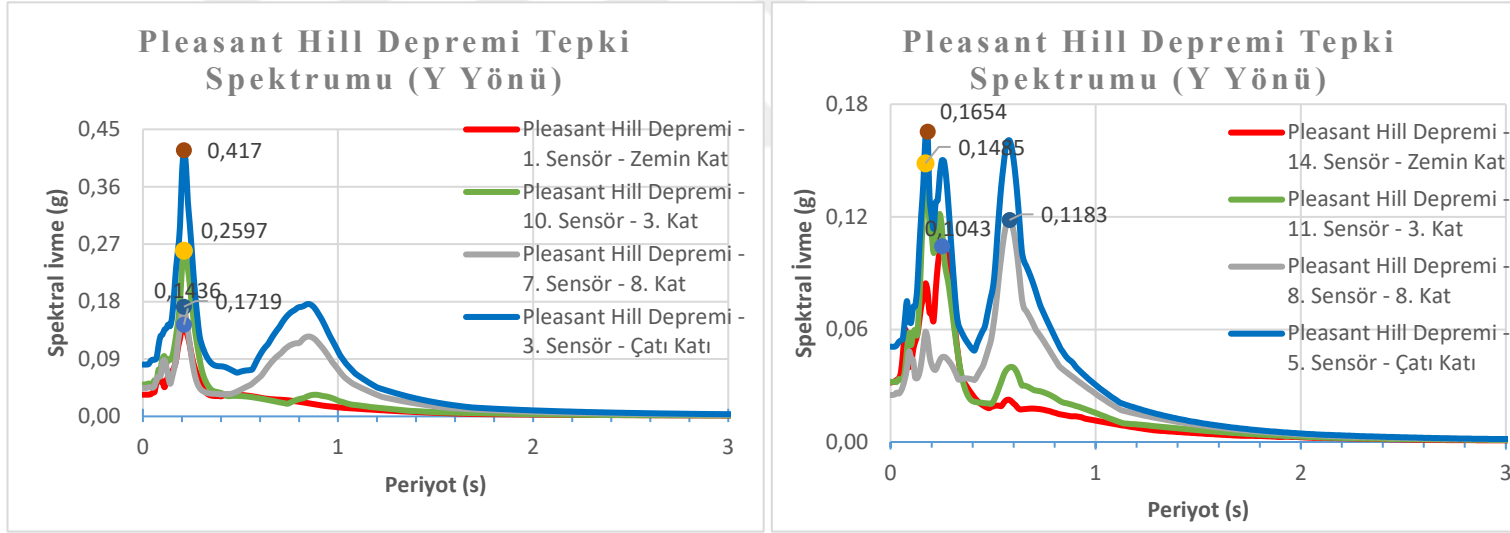
Livermore depreminden oluşturulan y yönündeki tepki spektrumu incelendiğinde katlara göre maksimum spektral ivme değerlerinin beklenildiği gibi üst katlara doğru arttığı ve çatı katında en büyük değerine ulaştığı görülmüştür. X yönündeki tepki spektrumu incelendiğinde katlara göre maksimum spektral ivme değerlerinin beklenildiği gibi üst katlara doğru arttığı ve çatı katında en büyük değerine ulaştığı görülmüştür.



Şekil 3.19: Loma Prieta Mw 6.9 Depremi Tepki Spektrumları.

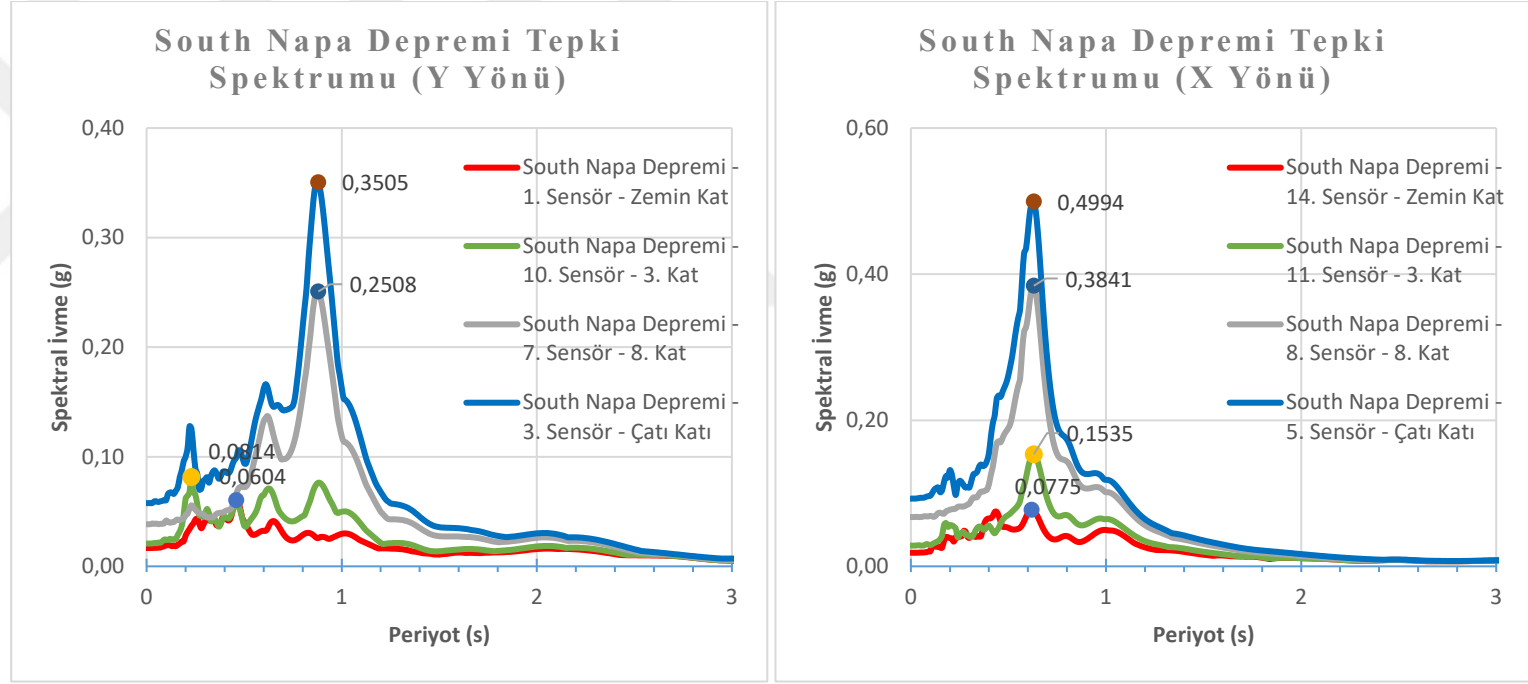
Loma Prieta depreminden oluşturulan y yönündeki tepki spektrumları incelendiğinde katlara göre maksimum spektral ivme değerlerinin beklenildiği gibi üst katlara doğru arttığı ve çatı katında en büyük değerine ulaştığı Şekil 3.19’ da açıkça görülmektedir. Benzer şekilde,

Şekil 3.19 ‘da verilen X yönündeki tepki spektrumları incelendiğinde katlara göre maksimum spektral ivme değerlerinin beklenildiği gibi üst katlara doğru arttığı ve çatı katında en büyük değerine ulaştığı görülmüştür.



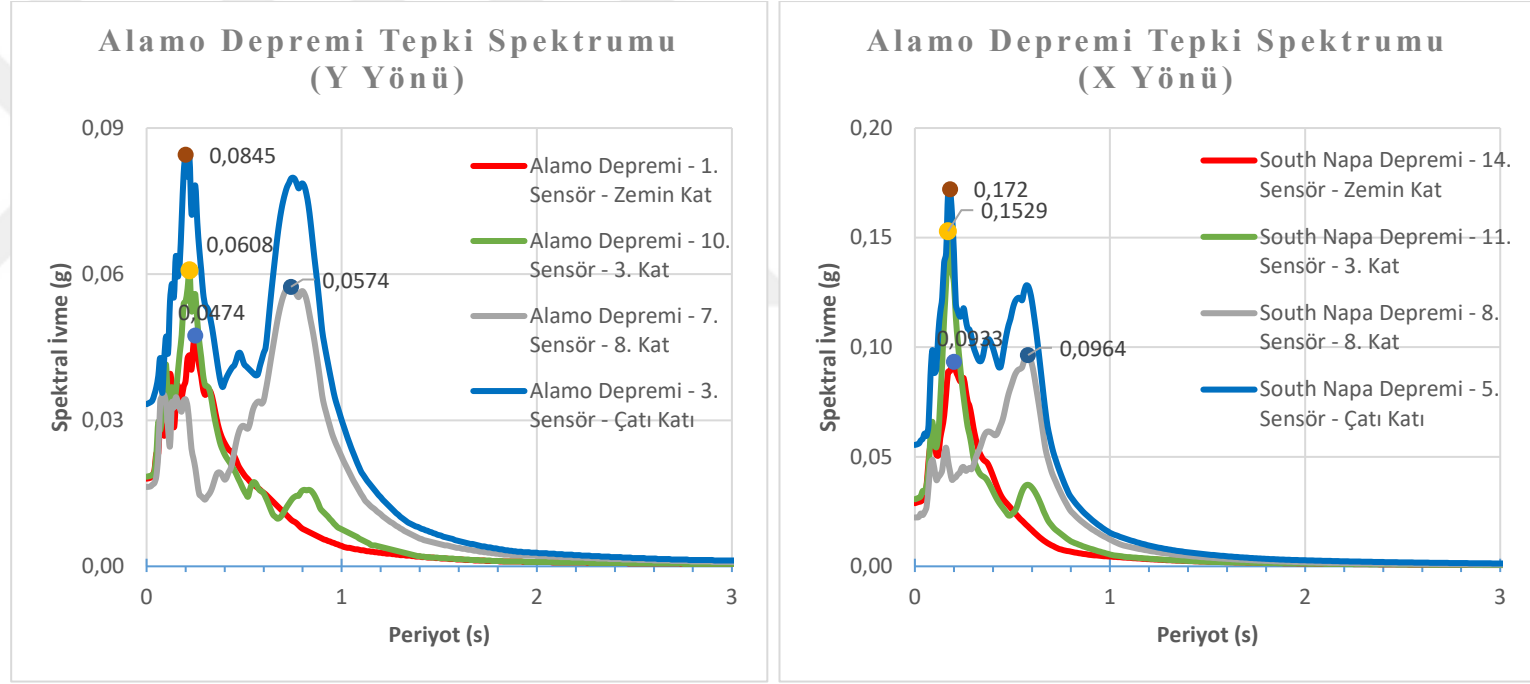
Şekil 3.20: Pleasant Hill Mw 4.5 Depremi Tepki Spektrumları.

Pleasant Hill depreminden oluşturulan y yönündeki tepki spektrumları incelendiğinde katlara göre maksimum spektral ivme değerlerinin beklenildiği gibi üst katlara doğru arttığı ve çatı katında en büyük değerine ulaştığı Şekil 3.20’ de görülmektedir. Bu depremde 8. Kat değerinde diğerlerinden aksine azalma olduğu görülmektedir bu durum CESMD üzerinden alınan verinin 8. Katta bulunan ivmeölçerin eksik ya da hatalı kayıt yaptığını göstermektedir. X yönündeki tepki spektrumu Şekil 3.20’ de incelendiğinde katlara göre maksimum spektral ivme değerlerinin beklenildiği gibi üst katlara doğru arttığı ve çatı katında en büyük değerine ulaştığı görülmüştür.



Şekil 3.21: South Napa Depremi Mw 6.0 Tepki Spektrumları.

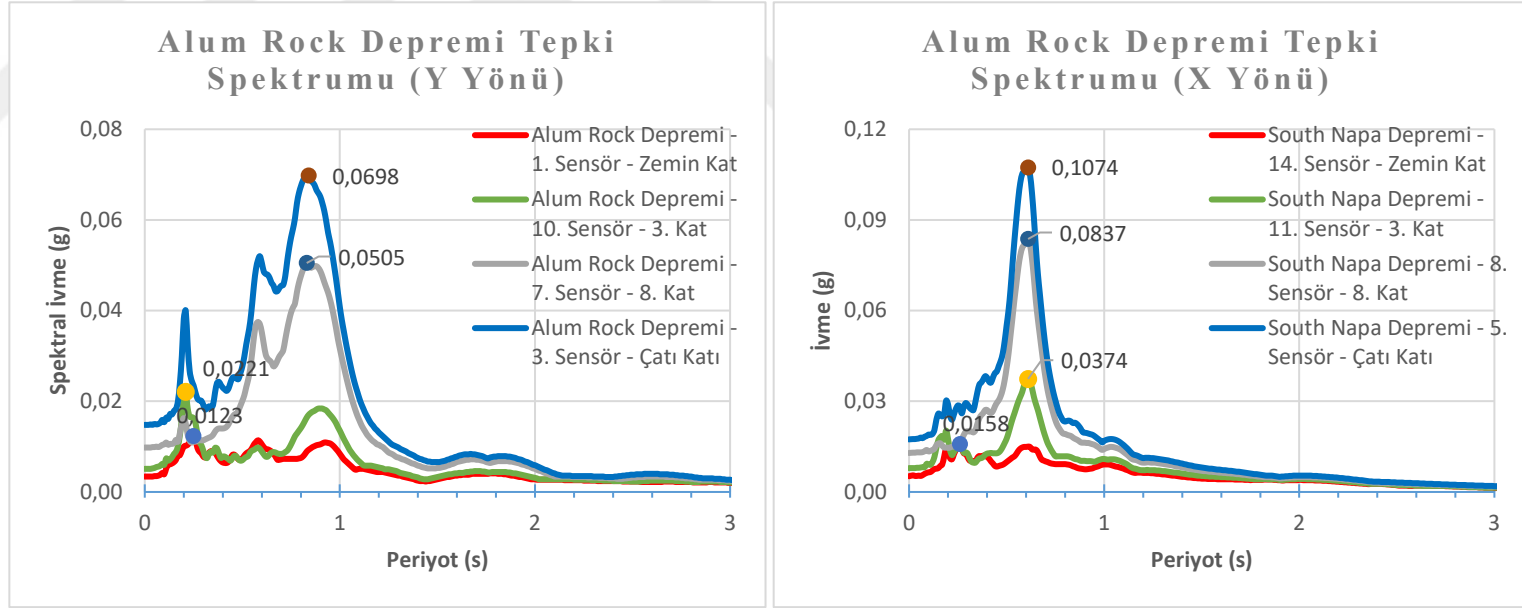
South Napa depreminden oluşturulan y yönündeki tepki spektrumları **Şekil 3.21**' de incelendiğinde katlara göre maksimum spektral ivme değerlerinin beklenildiği gibi üst katlara doğru arttığı ve çatı katında en büyük değerine ulaştığı görülmüştür. X yönündeki tepki spektrumu incelendiğinde katlara göre maksimum spektral ivme değerlerinin beklenildiği gibi üst katlara doğru arttığı ve çatı katında en büyük değerine ulaştığı **Şekil 3.21**' de açıkça görülmektedir.



Şekil 3.22: Alamo Depremi Mw 4.0 Tepki Spektrumları.

Alamo depreminden oluşturulan y yönündeki tepki spektrumları **Şekil 3.22** incelendiğinde katlara göre maksimum spektral ivme değerlerinin beklenildiği gibi üst katlara doğru arttığı ve çatı katında en büyük değerine ulaştığı görülmüştür. Bu depremde 8. Kat değerinde diğerlerinden aksine azalma olduğu görülmektedir bu durum CESMD üzerinden alınan verinin 8. Katta bulunan ivmeölçerin eksik ya da hatalı kayıt yaptığını göstermektedir. X yönündeki tepki spektrumu incelendiğinde katlara göre maksimum spektral ivme değerlerinin beklenildiği gibi üst katlara doğru arttığı ve çatı katında en büyük değerine ulaştığı görülmüştür. Bu depremde 8. Kat

değerinde diğerlerinden aksine azalma olduğu görülmektedir bu durum CESMD üzerinden alınan verinin 8. Katta bulunan ivmeölçerin eksik ya da hatalı kayıt yaptığını göstermektedir.



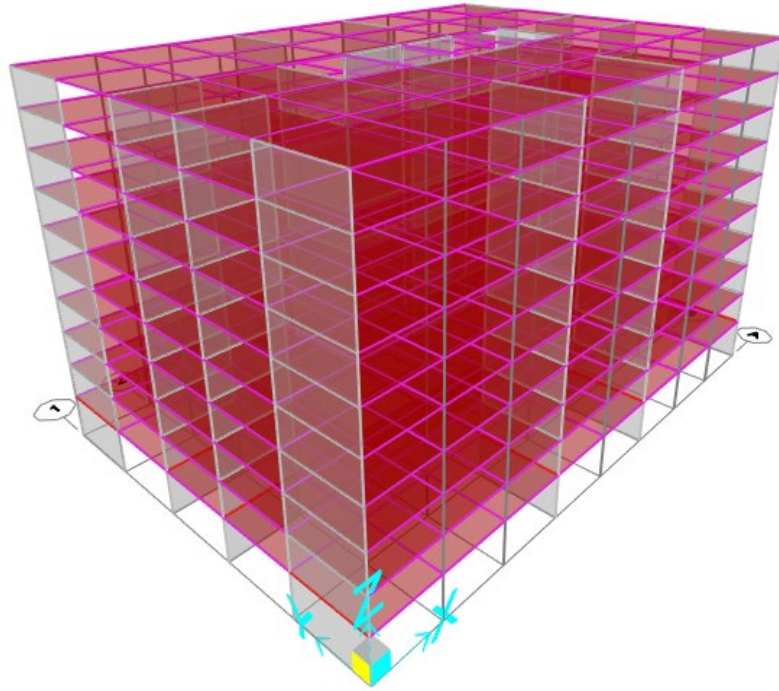
Şekil 3.23: Alum Rock Depremi Mw 5.4 Tepki Spektrumları.

Alum Rock depreminden oluşturulan y yönündeki tepki spektrumları **Şekil 3.23'** de incelendiğinde katlara göre maksimum spektral ivme değerlerinin beklenildiği gibi üst katlara doğru arttığı ve çatı katında en büyük değerine ulaştığı görülmüştür. X yönündeki tepki spektrumu incelendiğinde katlara göre maksimum spektral ivme değerlerinin beklenildiği gibi üst katlara doğru arttığı ve çatı katında en büyük değerine ulaştığı **Şekil 3.23'** de görülmektedir.

4.NÜMERİK MODELİN OLUŞTURULMASI VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

4.1. Nümerik Modelin Oluşturulması

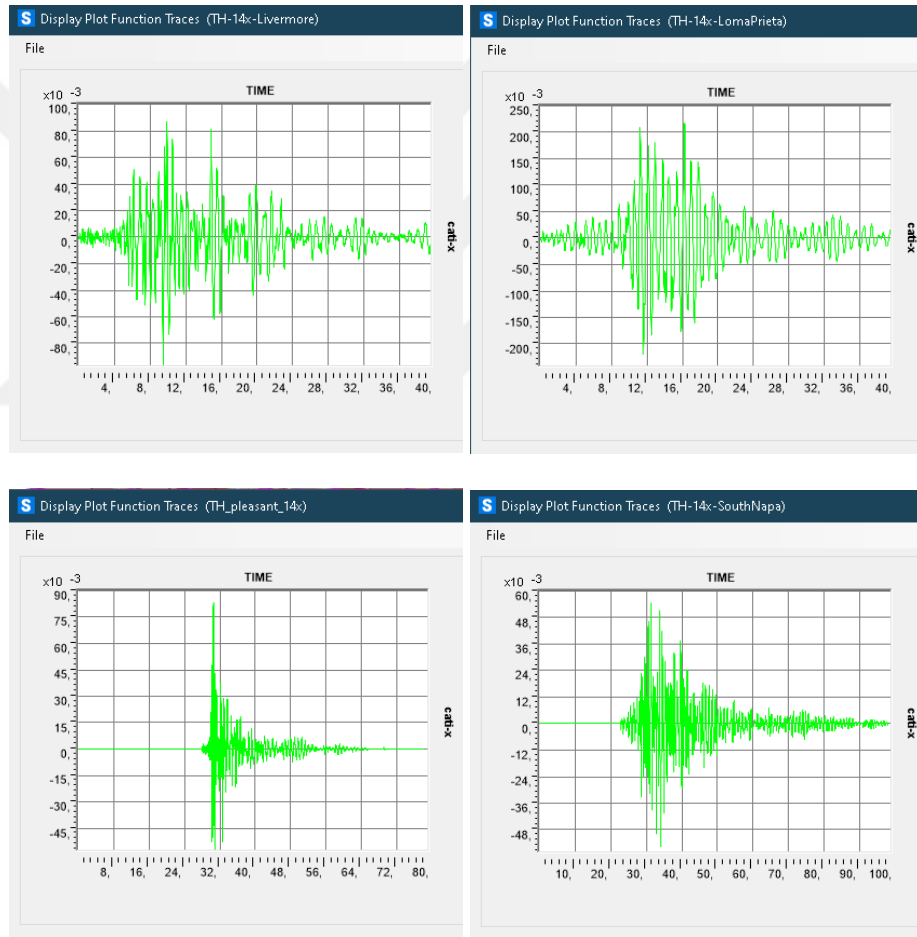
Bu bölüm kapsamında üçüncü bölümde seçilmiş olan yapının nümerik bir modeli oluşturulmuş ve oluşturulan nümerik modelden veri alınması sağlanmıştır. Nümerik modelin oluşturulması için sap2000 programı kullanılmıştır. Oluşturulan nümerik model üçüncü bölümde örnek olarak CESMD’ den seçilen yapının var olan özellikleri göz önüne alınarak ve gerekli yaklaşımlar yapılarak oluşturulmuştur. Nümerik modelin üç boyutlu görüntüsü Şekil 4.1’ de verilmiştir.



Şekil 4.1: Nümerik Modelin Üç Boyutlu Görüntüsü.

Nümerik modelin analizinin yapılması için CESMD ‘den alınan deprem kayıtları, sap2000 programı içerisinde bulunan zaman tanım alanı fonksiyonu (time history function) kısmında seçilen her deprem verisi için x ve y yönündeki kayıtların zaman tanım alanı fonksiyonları oluşturulmuştur ve analiz tamamlanmıştır.

Analiz tamamlandıktan sonra, modele etki ettirilen deprem kayıtları için, Şekil 3.5.’ te belirtilen katlarda bulunan ivme ölçerlerin konumları göz önüne alınarak model üzerinde bu konumlardan ivme kayıtları alınmıştır. Sap2000 programından ivme zaman kayıtlarının çatı katında bulunan x yönündeki sensörlerden alınan görüntüleri Şekil 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4.2: Seçilen Depremlerin Sap2000’ den Alınan Çatı Katı Kayıtları.

Alınan ivme kayıtları Seismosignal ve Excel programları kullanılarak düzenlenmiştir. Düzenlemeler sonrasında üçüncü bölümde olduğu gibi Tablo ve grafikler oluşturulmuştur. Oluşturulan tablo ve grafikler ile üçüncü bölümün kıyaslanması bölüm 4.2. de yapılmıştır.

4.2. Nümerik Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölüm kapsamında Sap2000’ den aldığımız veriler ile üçüncü bölümde CESMD’ den aldığımız veriler karşılaştırılmıştır. Her deprem kaydı için x ve y yönü olmak üzere incelenen değerler alınmıştır. Alınan değerler seçilen altı deprem için tablo haline getirilmiştir. Oluşturulan Tablolar da CESMD’ den alınan değerler ve nümerik modelden elde edilen verilerin farklı parametreler için birlikte verilmişlerdir. Seçilen altı deprem kaydı için hazırlanmış karşılaştırma tabloları, **Tablo 4.1**’ den **Tablo 4.12** e kadar gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Livermore Depremi Ml 5.8 Y Yönü Kayıtları.

Livermore Depremi	Kat	Sensör Numarası (Y)	PGA (g)		Sa (g)		Arias Şiddeti (m/s)		RMS İvme (g)		Kümülatif Mutlak Hız (cm/s)		V _{maks} /A _{maks} (s)	
			Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model
	Zemin	1	0,029	0,029	0,142	0,142	0,014	0,014	0,005	0,005	115,551	115,551	0,078	0,078
	3. Kat	10	0,040	0,031	0,120	0,180	0,025	0,018	0,006	0,005	166,276	134,674	0,066	0,074
	8. Kat	7	0,059	0,091	0,340	0,340	0,109	0,107	0,013	0,013	366,199	337,698	0,106	0,085
	Çatı K.	3	0,106	0,146	0,490	0,480	0,237	0,239	0,020	0,020	537,485	502,279	0,103	0,074

Tablo 4.2: Livermore Depremi Ml 5.8 X Yönü Kayıtları.

<i>Livermore Depremi</i>	Kat	Sensör Numarası (X)	PGA (g)		Sa (g)		Arias Şiddeti (m/s)		RMS İvme (g)		Kümülatif Mutlak Hız (cm/s)		V_{maks}/A_{maks} (s)	
			Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model
	Zemin	14	0,029	0,029	0,128	0,128	0,019	0,019	0,006	0,006	131,797	131,797	0,082	0,082
	3. Kat	11	0,032	0,026	0,289	0,130	0,040	0,013	0,008	0,005	204,833	115,977	0,089	0,061
	8. Kat	8	0,083	0,067	0,631	0,260	0,197	0,092	0,018	0,012	442,894	311,366	0,082	0,090
	Çatı K.	5	0,115	0,098	0,812	0,3516	0,358	0,192	0,024	0,018	590,162	434,497	0,078	0,089

Tablo 4.3: Loma Prieta Mw 6.9 Depremi X Yönü Kayıtları.

<i>Loma Prieta Depremi</i>	Kat	Sensör Numarası (X)	PGA (g)		Sa (g)		Arias Şiddeti (m/s)		RMS İvme (g)		Kümülatif Mutlak Hız (cm/s)		V_{maks}/A_{maks} (s)	
			Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model
	Zemin	14	0,098	0,098	0,227	0,227	0,104	0,104	0,013	0,013	317,670	317,670	0,115	0,115
	3. Kat	11	0,118	0,054	0,355	0,240	0,188	0,068	0,017	0,010	436,512	259,378	0,128	0,100
	8. Kat	8	0,157	0,149	0,977	0,960	0,724	0,837	0,034	0,037	846,779	953,672	0,151	0,131
	Çatı K.	5	0,203	0,220	1,297	1,290	1,587	1,203	0,044	0,051	1073,014	1309,999	1,476	0,864

Tablo 4.4: Loma Prieta Depremi Mw 6.9 Y Yönü Kayıtları.

<i>Loma Prieta Depremi</i>	Kat	Sensör Numarası (Y)	PGA (g)		Sa (g)		Arias Şiddeti (m/s)		RMS İvme (g)		Kümülatif Mutlak Hız (cm/s)		V_{maks}/A_{maks} (s)	
			Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model
	Zemin	1	0,049	0,049	0,168	0,168	0,047	0,047	0,009	0,009	217,498	217,498	0,155	0,155
	3. Kat	10	0,067	0,039	0,210	0,130	0,081	0,021	0,011	0,006	303,131	143,177	0,113	0,075
	8. Kat	7	0,124	0,132	0,720	0,560	0,464	0,238	0,027	0,020	747,420	477,632	0,133	0,098
	Çatı K.	3	0,163	0,186	1,030	0,780	0,909	0,500	0,038	0,028	1044,295	696,094	0,137	0,099

Tablo 4.5: Pleasant Hill Depremi Mw 4.5 X Yönü Kayıtları.

<i>Pleasant Hill Depremi</i>	Kat	Sensör Numarası (X)	PGA (g)		Sa (g)		Arias Şiddeti (m/s)		RMS İvme (g)		Kümülatif Mutlak Hız (cm/s)		V_{maks}/A_{maks} (s)	
			Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model
	Zemin	14	0,032	0,032	0,104	0,104	0,005	0,005	0,002	0,002	46,731	46,731	0,048	0,048
	3. Kat	11	0,037	0,035	0,149	0,172	0,008	0,009	0,003	0,003	65,836	59,043	0,053	0,039
	8. Kat	8	0,025	0,040	0,118	0,124	0,009	0,013	0,003	0,003	91,273	97,553	0,089	0,055
	Çatı K.	5	0,051	0,083	0,165	0,363	0,022	0,042	0,004	0,006	131,249	149,887	0,067	0,057

Tablo 4.6: Pleasant Hill Depremi Mw 4.5 Y Yönü Kayıtları.

<i>Pleasant Hill Depremi</i>	Kat	Sensör Numarası (Y)	PGA (g)		Sa (g)		Arias Şiddeti (m/s)		RMS İvme (g)		Kümülatif Mutlak Hız (cm/s)		V_{maks}/A_{maks} (s)	
			Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model
	Zemin	1	0,035	0,035	0,144	0,150	0,005	0,005	0,002	0,002	44,357	44,357	0,046	0,046
	3. Kat	10	0,050	0,050	0,260	0,321	0,016	0,017	0,004	0,004	89,715	72,730	0,045	0,038
	8. Kat	7	0,045	0,051	0,172	0,177	0,020	0,021	0,004	0,004	146,715	118,290	0,077	0,061
	Çatı K.	3	0,081	0,118	0,417	0,544	0,064	0,081	0,007	0,008	238,339	200,708	0,071	0,051

Tablo 4.7: South Napa Depremi Mw 6.0 X Yönü Kayıtları.

<i>South Napa Depremi</i>	Kat	Sensör Numarası (X)	PGA (g)		Sa (g)		Arias Şiddeti (m/s)		RMS İvme (g)		Kümülatif Mutlak Hız (cm/s)		V_{maks}/A_{maks} (s)	
			Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model
	Zemin	14	0,018	0,018	0,078	0,078	0,009	0,009	0,002	0,002	124,308	124,308	0,134	0,134
	3. Kat	11	0,027	0,016	0,154	0,080	0,022	0,005	0,004	0,002	179,596	84,462	0,138	0,077
	8. Kat	8	0,068	0,044	0,384	0,207	0,117	0,046	0,009	0,006	383,632	264,032	0,105	0,112
	Çatı K.	5	0,092	0,056	0,499	0,284	0,204	0,093	0,012	0,008	497,110	372,106	0,094	0,120

Tablo 4.8: South Napa Depremi Mw 6.0 X Yönü Kayıtları.

South Napa Depremi	Kat	Sensör Numarası (Y)	PGA (g)		Sa (g)		Arias Şiddeti (m/s)		RMS İvme (g)		Kümülatif Mutlak Hız (cm/s)		V _{maks} /A _{maks} (s)	
			Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model
	Zemin	1	0,017	0,017	0,060	0,060	0,006	0,006	0,002	0,002	96,415	96,415	0,116	0,116
	3. Kat	10	0,021	0,012	0,080	0,050	0,013	0,003	0,003	0,001	140,267	66,978	0,120	0,064
	8. Kat	7	0,038	0,034	0,250	0,178	0,061	0,034	0,006	0,005	304,781	229,624	0,131	0,095
	Çatı K.	3	0,058	0,049	0,350	0,248	0,122	0,072	0,009	0,007	426,923	331,500	0,117	0,090

Tablo 4.9: Alamo Depremi Mw 4.0 X Yönü Kayıtları.

Alamo Depremi	Kat	Sensör Numarası (X)	PGA (g)		Sa (g)		Arias Şiddeti (m/s)		RMS İvme (g)		Kümülatif Mutlak Hız (cm/s)		V _{maks} /A _{maks} (s)	
			Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model
	Zemin	14	0,029	0,029	0,093	0,093	0,003	0,003	0,002	0,002	31,262	31,262	0,050	0,050
	3. Kat	11	0,031	0,034	0,153	0,134	0,005	0,005	0,002	0,002	43,358	38,270	0,041	0,032
	8. Kat	8	0,022	0,040	0,096	0,148	0,006	0,007	0,002	0,003	64,027	49,658	0,081	0,056
	Çatı K.	5	0,055	0,062	0,172	0,215	0,014	0,016	0,004	0,004	94,468	72,570	0,046	0,054

Tablo 4.10: Alamo Depremi Mw 4.0 Y Yönü Kayıtları.

Alamo Depremi	Kat	Sensör Numarası (Y)	PGA (g)		Sa (g)		Arias Şiddeti (m/s)		RMS ivme (g)		Kümülatif Mutlak Hız (cm/s)		V _{maks} /A _{maks} (s)	
			Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model
	Zemin	1	0,018	0,018	0,047	0,047	0,001	0,001	0,001	0,001	23,197	23,197	0,052	0,052
	3. Kat	10	0,018	0,017	0,061	0,054	0,003	0,002	0,002	0,001	36,932	29,232	0,050	0,037
	8. Kat	7	0,016	0,025	0,057	0,065	0,004	0,004	0,002	0,002	53,222	44,702	0,084	0,570
	Çatı K.	3	0,033	0,044	0,085	0,148	0,011	0,010	0,003	0,003	82,876	69,516	0,067	0,055

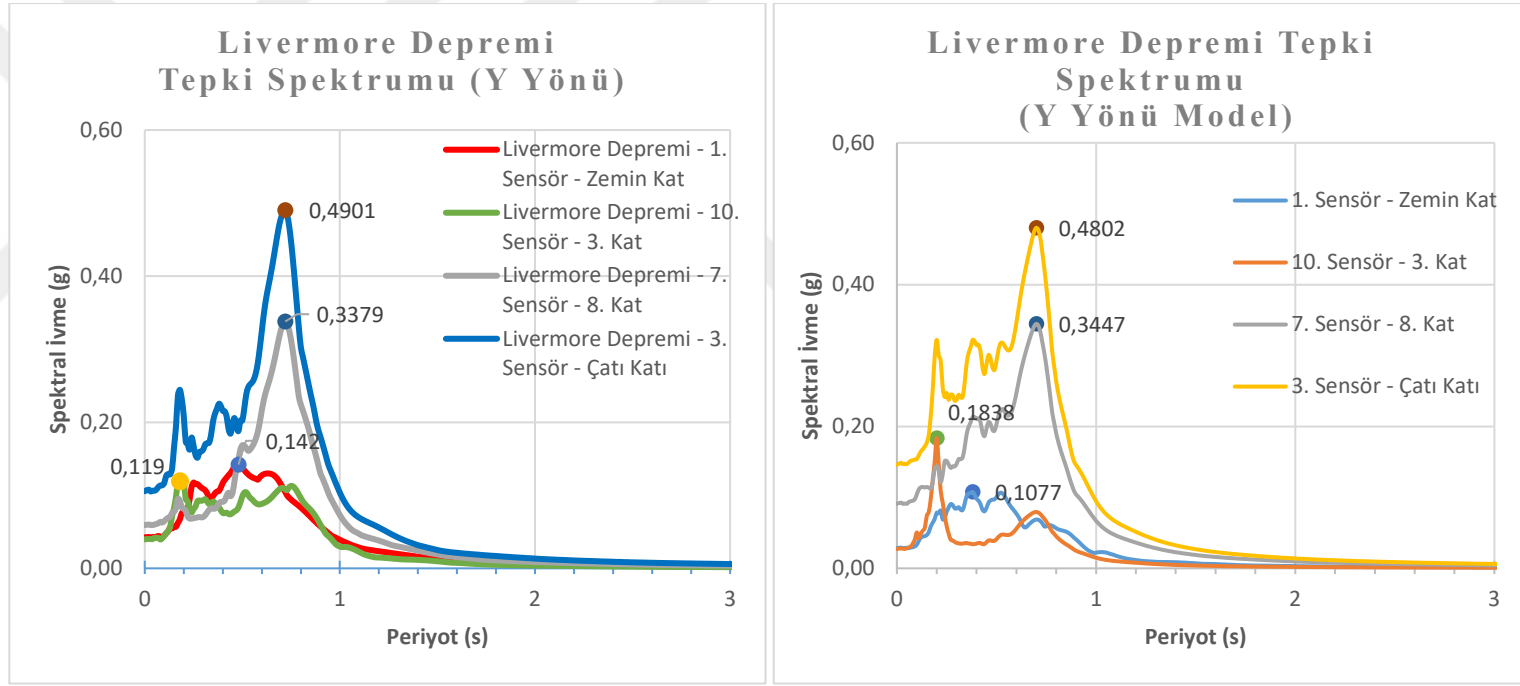
Tablo 4.11: Alum Rock Depremi Mw 5.4 X Yönü Kayıtları.

Alum Rock Depremi	Kat	Sensör Numarası (X)	PGA (g)		Sa (g)		Arias Şiddeti (m/s)		RMS ivme (g)		Kümülatif Mutlak Hız (cm/s)		V _{maks} /A _{maks} (s)	
			Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model
	Zemin	14	0,005	0,005	0,016	0,016	0,000	0,000	0,001	0,001	25,887	25,887	0,111	0,111
	3. Kat	11	0,008	0,004	0,037	0,017	0,001	0,001	0,001	0,001	40,788	22,984	0,101	0,084
	8. Kat	8	0,013	0,010	0,084	0,046	0,006	0,003	0,002	0,002	89,926	65,662	0,109	0,122
	Çatı K.	5	0,017	0,016	0,107	0,062	0,010	0,007	0,003	0,003	114,846	91,856	0,103	0,101

Tablo 4.12: Alum Rock Depremi Mw 5.4 Y Yönü Kayıtları.

Alum Rock Depremi	Kat	Sensör Numarası (Y)	PGA (g)		Sa (g)		Arias Şiddeti (m/s)		RMS ivme (g)		Kümülatif Mutlak Hız (cm/s)		V _{maks} /A _{maks} (s)	
			Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model	Cihaz	Model
	Zemin	1	0,003	0,003	0,012	0,012	0,000	0,000	0,001	0,001	21,542	21,542	0,116	0,116
	3. Kat	10	0,005	0,003	0,022	0,015	0,001	0,001	0,001	0,001	33,391	19,743	0,114	0,071
	8. Kat	7	0,010	0,008	0,051	0,044	0,004	0,002	0,002	0,001	87,294	52,599	0,144	0,092
	Çatı Katı	3	0,015	0,013	0,070	0,062	0,009	0,004	0,003	0,002	123,188	75,789	0,127	0,077

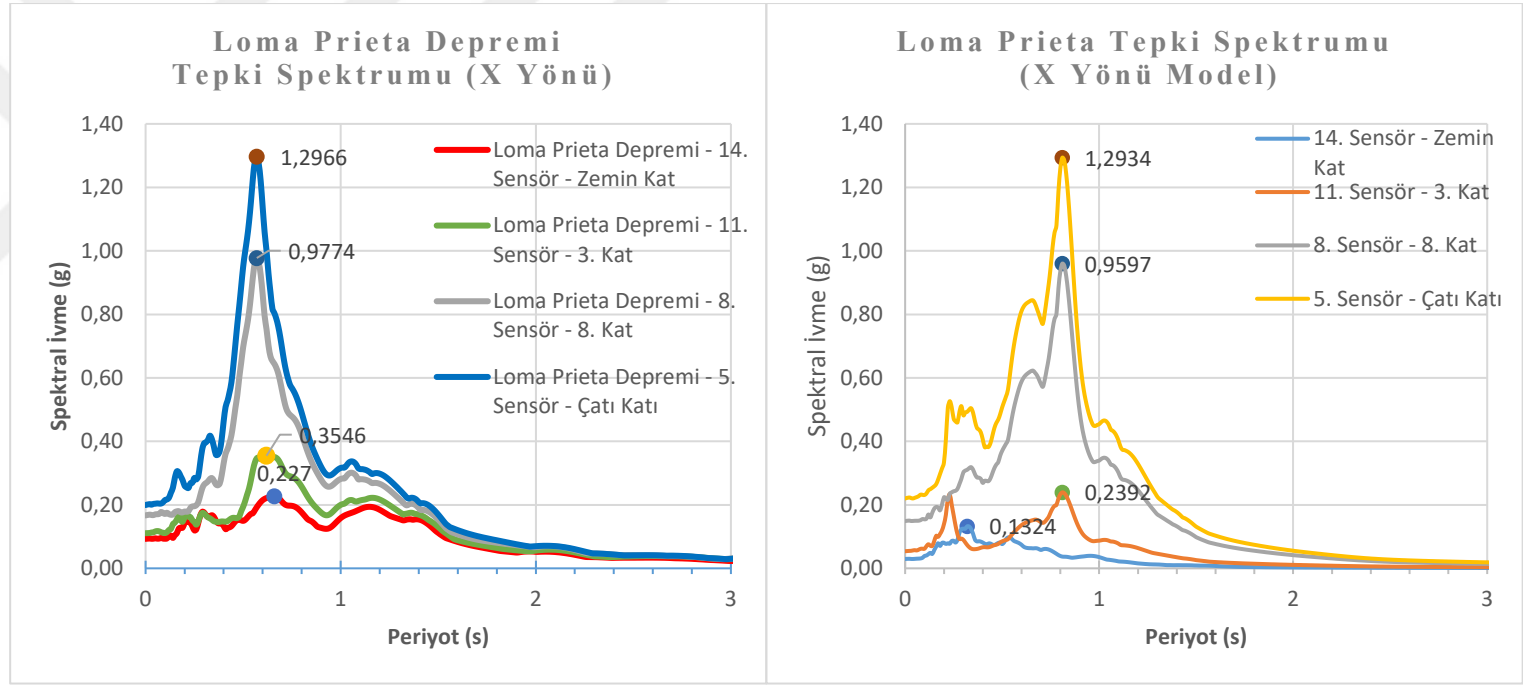
Üçüncü bölümde seçilen deprem verileri için sensör yönü dikkate alınarak x ve y olmak üzere altı farklı deprem için spektrumlar verilmişti. Nümerik modelden alınan deprem verileri ile altı farklı deprem için spektrumlar oluşturulmuştur. Modelden elde edilen spektrumlar incelendiğinde genel olarak üçüncü bölümde hazırlanan deprem spektrumları ile periyot değerinin ve en büyük spektral ivme değerlerinin yakın olduğu görülmektedir. Livermore depremine ait tepki spektrumları **Şekil 4.3'** de cihaz kayıtlarına ve nümerik model sonuçlarına göre verilmiştir.



Şekil 4.3: Livermore Depremi Ml 5.8 İçin Tepki Spektrumları.

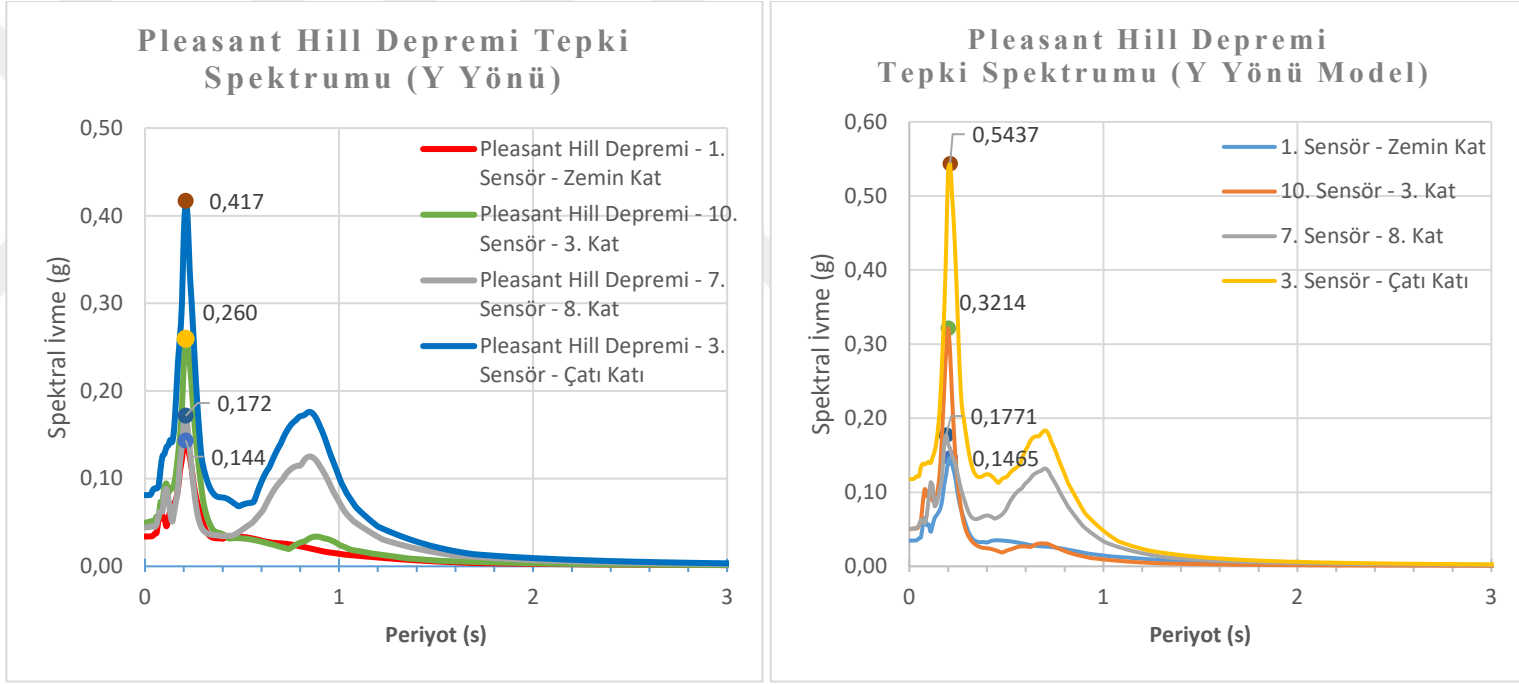
Livermore depremi tepki spektrumları incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru spektral ivme değerlerinin arttığı ve en büyük değerine çatı katı seviyesinde ulaştığı **Şekil 4.3**' de görülmektedir. En büyük spektral ivme değeri cihaz kaydında 0,4901g, modelden elde edilen spektral ivme değeri 0,4802 olarak bulunmuştur. Değerler arasında %2 fark olduğu bulunmuştur. En büyük spektral ivme değerleri oldukça yakın gelmiştir.

Loma Prieta depremine ait tepki spektrumları **Şekil 4.4**' de cihaz kayıtlarına ve nümerik model sonuçlarına göre verilmiştir.



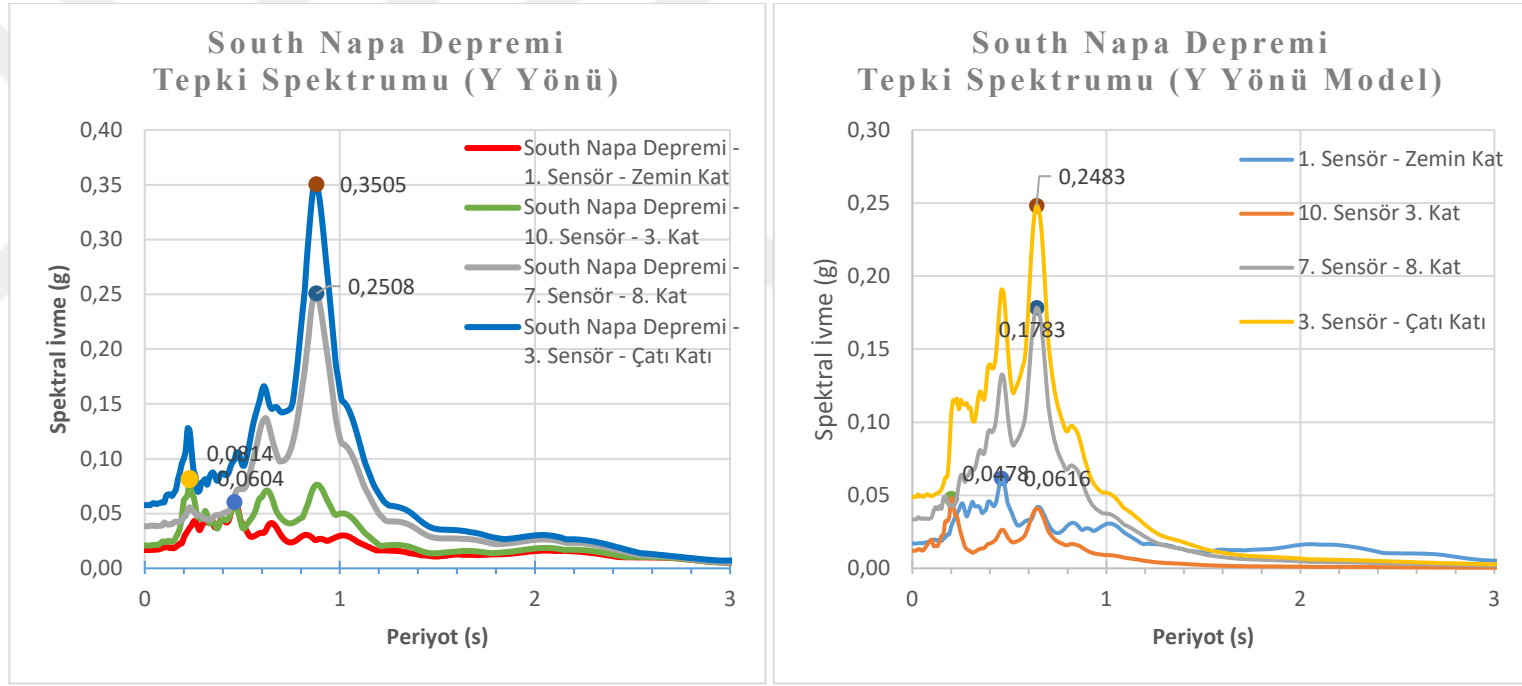
Şekil 4.4: Loma Prieta Depremi Mw 6.9 İçin Tepki Spektrumları.

Loma Prieta depremi tepki spektrumları incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru spektral ivme değerlerinin arttığı ve en büyük değerine çatı katı seviyesinde ulaştığı görülmüştür. En büyük spektral ivme değeri cihaz kaydında 1,2966g, modelden elde edilen spektral ivme değeri 1,2934g olarak bulunmuştur. Değerler arasında %0,24 fark olduğu bulunmuştur. En büyük spektral ivme değerleri oldukça yakındır.



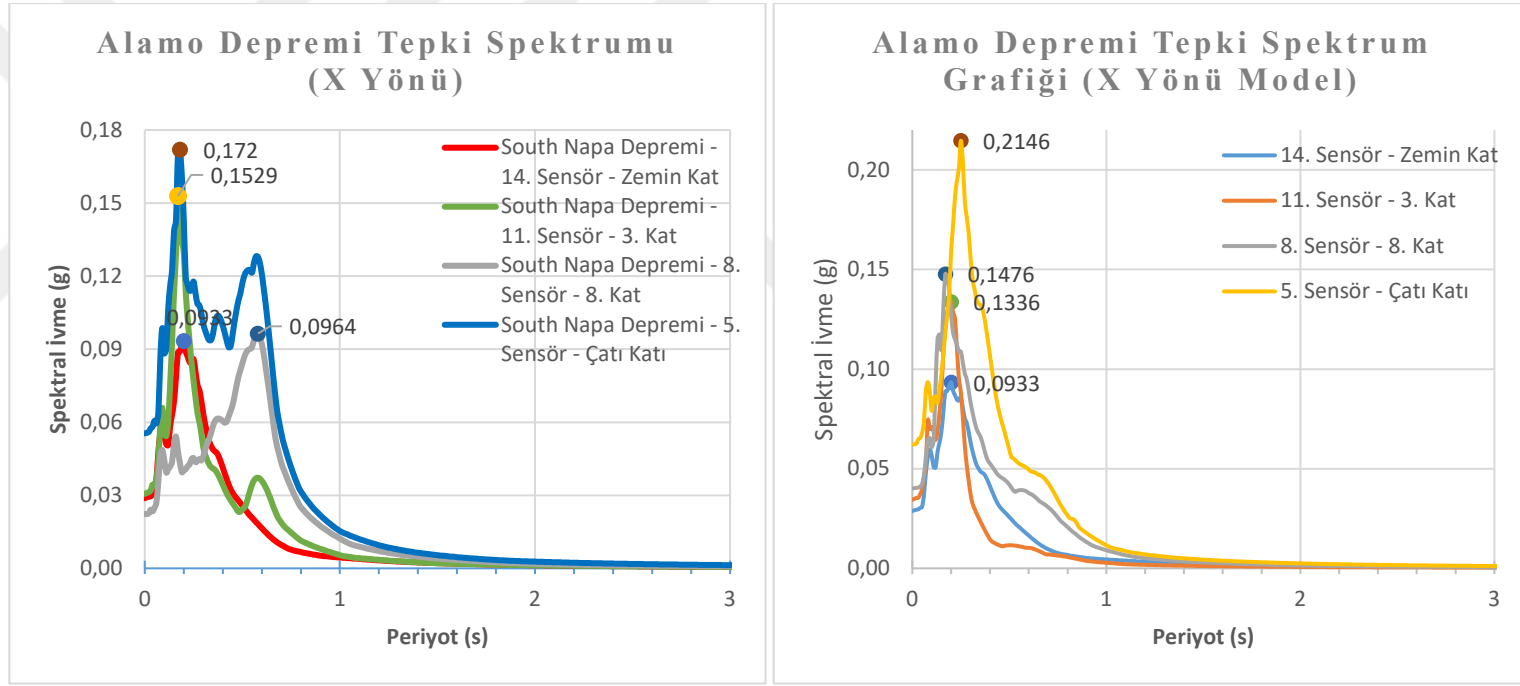
Şekil 4.5: Pleasant Hill Depremi Mw 4.5 İçin Tepki Spektrumları.

Pleasant Hill Depremi **Şekil 4.5** de verilen tepki spektrumları incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru spektral ivme değerlerinin arttığı ve en büyük değerine çatı katı seviyesinde ulaştığı görülmüştür. En büyük spektral ivme değeri cihaz kaydında 0,417g, modelden elde edilen spektral ivme değeri 0,5437g olarak bulunmuştur. Değerler arasında %30 fark olduğu bulunmuştur. Değerlerin yakın olmasına karşılık Livermore ve Loma Prieta depremlerine göre fark daha fazla olarak bulunmuştur.



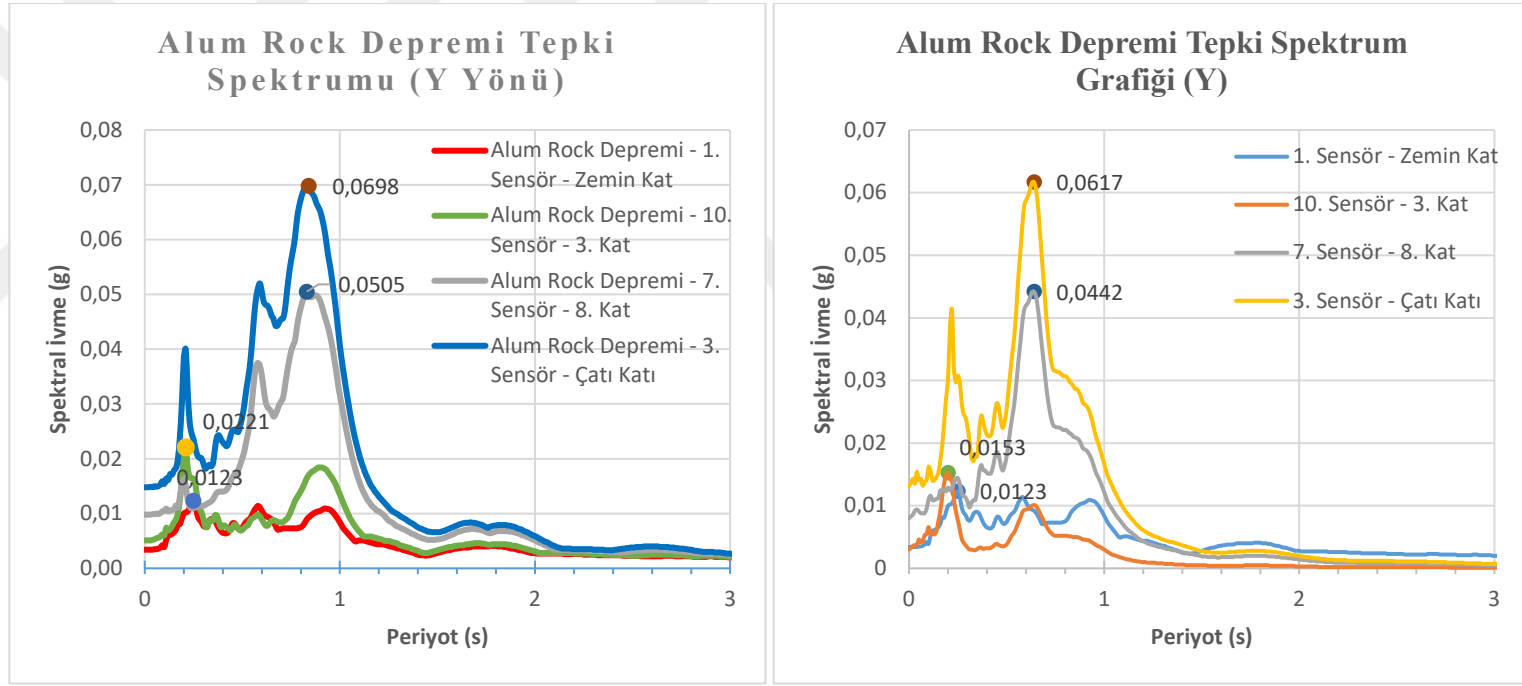
Şekil 4.6: South Napa Depremi Mw 6.0 İçin Tepki Spektrumları.

South Napa Depremi tepki spektrumları incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru spektral ivme değerlerinin arttığı ve en büyük değerine çatı katı seviyesinde ulaştığı görülmüştür. En büyük spektral ivme değeri cihaz kaydında 0,3505g, modelden elde edilen spektral ivme değeri 0,2483g olarak bulunmuştur. Değerler arasında %30 fark olduğu bulunmuştur. Değerlerin yakın olmasına karşılık Livermore ve Loma Prieta depremlerine göre fark daha fazla olarak bulunmuştur. Fark olmasına karşılık en büyük spektral ivme değerine karşılık gelen periyot değerlerinin çok yakın olduğu **Şekil 4.6** da görülmektedir.



Şekil 4.7: Alamo Depremi Mw 4.0 İçin Tepki Spektrumları.

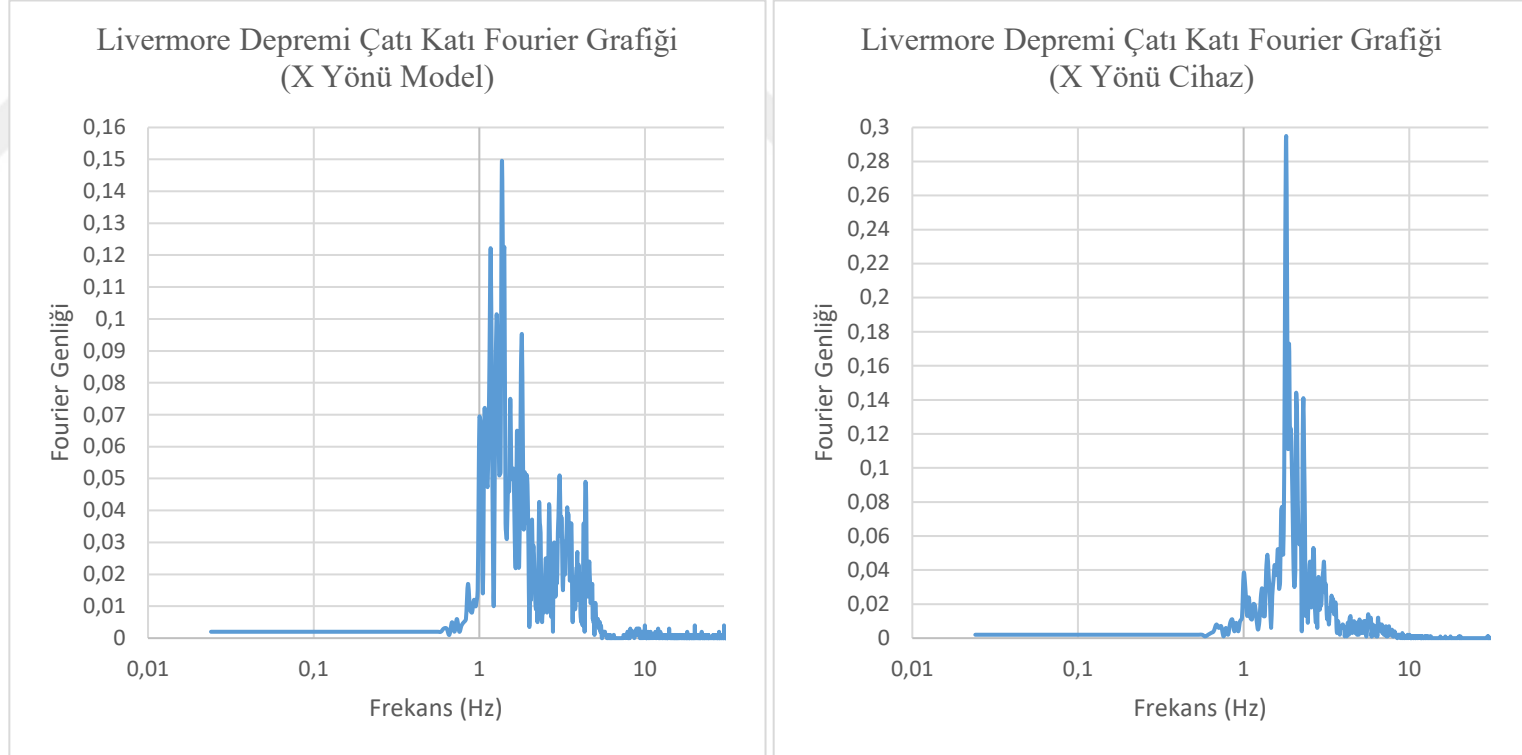
Alamo Depremi tepki spektrumları incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru spektral ivme değerlerinin arttığı ve en büyük değerine çatı katı seviyesinde ulaştığı **Şekil 4.7'** de görülmektedir. En büyük spektral ivme değeri cihaz kaydında 0,172g, modelden elde edilen spektral ivme değeri 0,2146g olarak bulunmuştur. Değerler arasında %24 fark olduğu bulunmuştur. Değerlerin yakın olmasına karşılık Livermore ve Loma Prieta depremlerine göre fark daha fazla olarak bulunmuştur. Alamo depremi cihaz kayıtlarında en büyük spektral ivme değerinden sonra spektral ivme değerleri azalıp tekrar pik yapmasına karşılık model kayıtlarında ikinci pik olmamıştır.



Şekil 4.8: Alum Rock Depremi Mw 5.4 İçin Tepki Spektrumları.

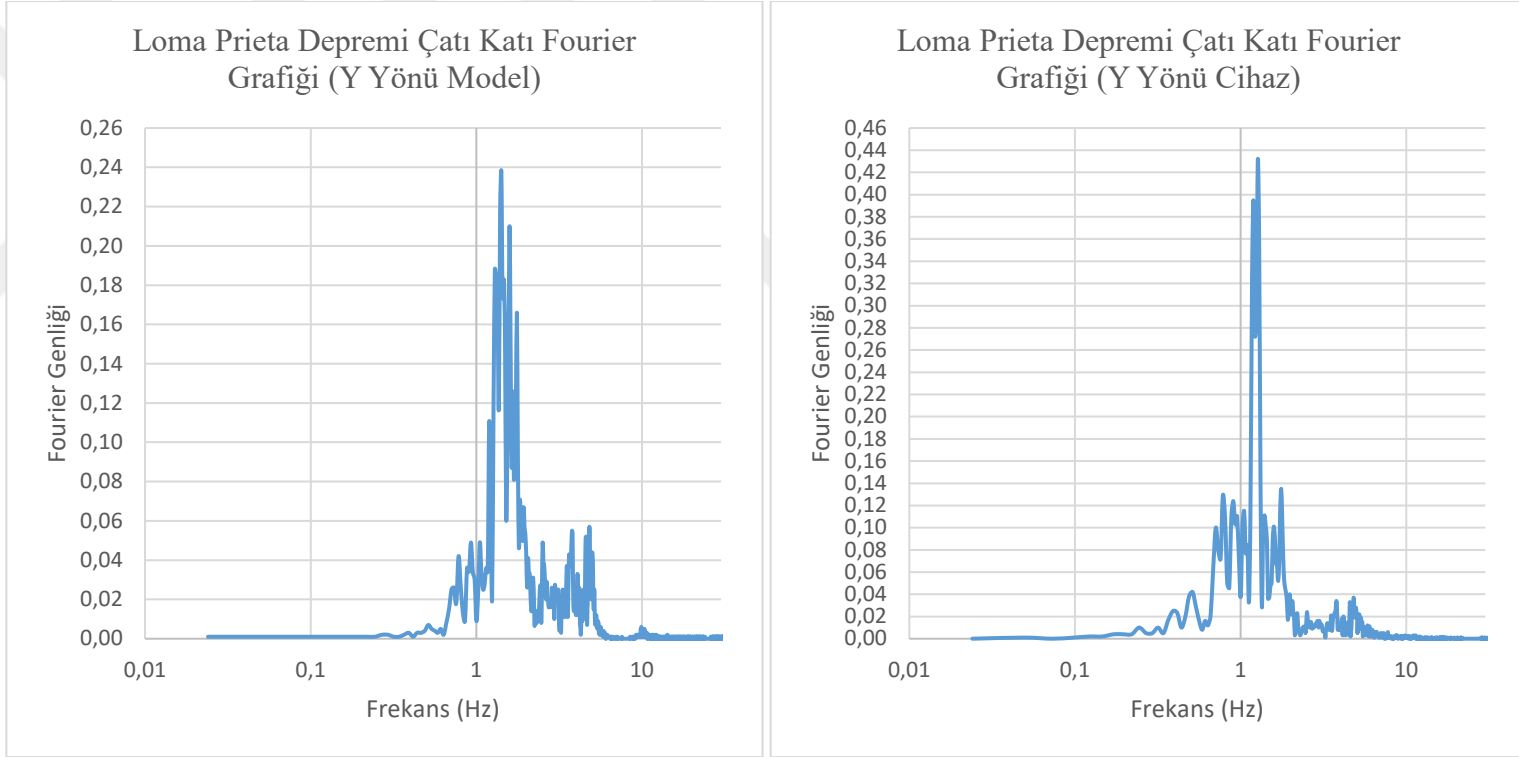
Alum Rock Depremi tepki spektrumları incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru spektral ivme değerlerinin arttığı ve en büyük değerine çatı katı seviyesinde ulaştığı görülmüştür. En büyük spektral ivme değeri cihaz kaydında 0,0698g, modelden elde edilen spektral ivme değeri 0,0617g olarak bulunmuştur. Değerler arasında %11,6 fark olduğu bulunmuştur. Frekans içeriği incelendiğinde cihaz kaydının model kaydı ile uyumlu olduğu **Şekil 4.8** de görülmektedir.

Livermore Depremi Ml 5.8, cihaz kayıtları ve model sonuçları doğrultusunda fourier spektrumları x ve y yönleri için oluşturulmuştur. Oluşturulan grafikler **Şekil 4.9'** da x yönü için ve **Şekil 4.10'** da y yönü için gösterilmektedir.



Şekil 4.9: Livermore Depremi Ml 5.8 X Yönü Fourier Grafikleri.

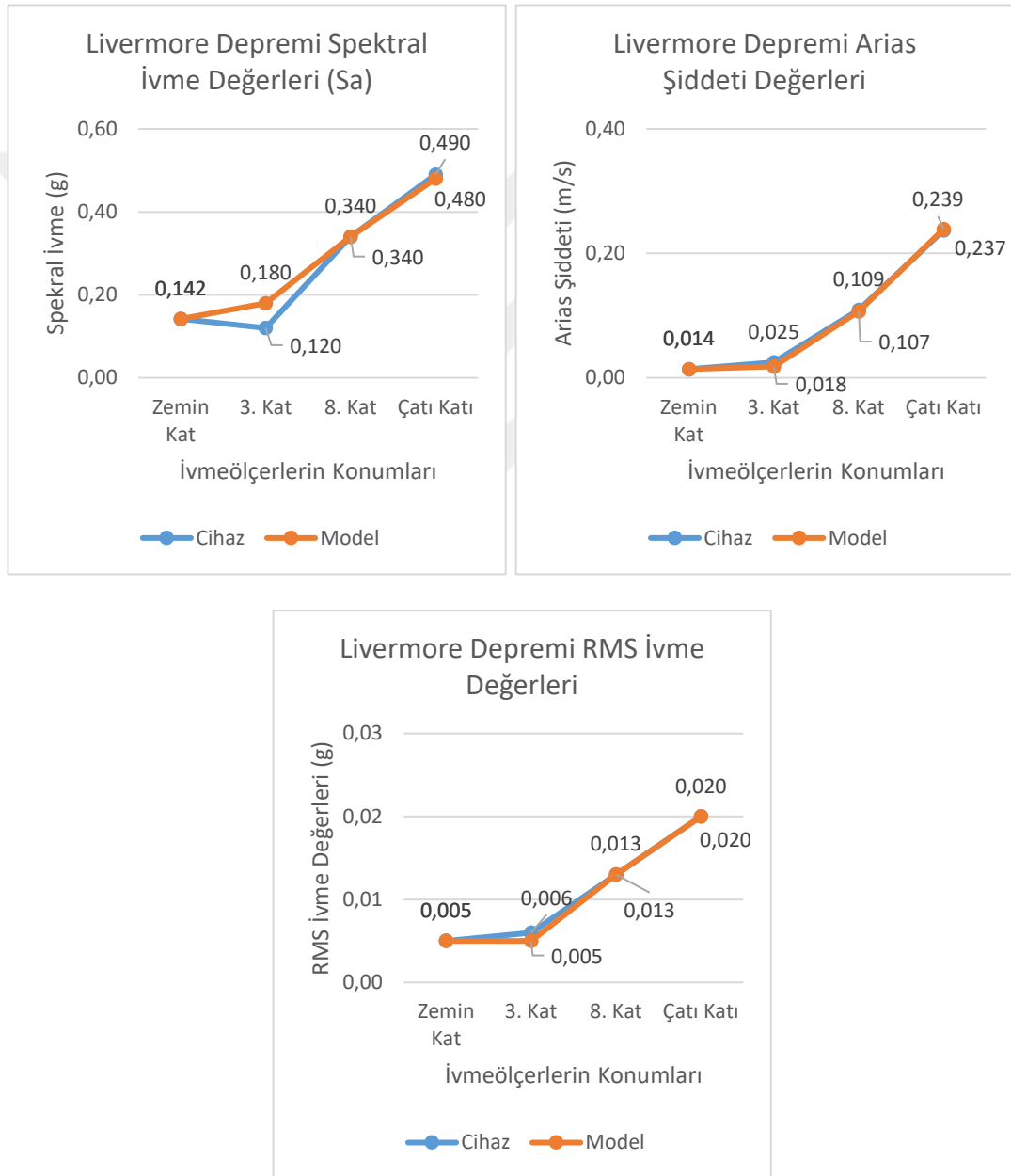
Livermore depremi için çatı katı seviyesindeki sensörlerden alınan kayıtlar incelendiğinde oluşan genlik değerlerinin cihaz kayıtlarının daha büyük olmasına karşılık frekans içeriği benzer bulunmuştur.



Şekil 4.10: Loma Prieta Depremi Ml 5.8 Y Yönü Fourier Grafikleri.

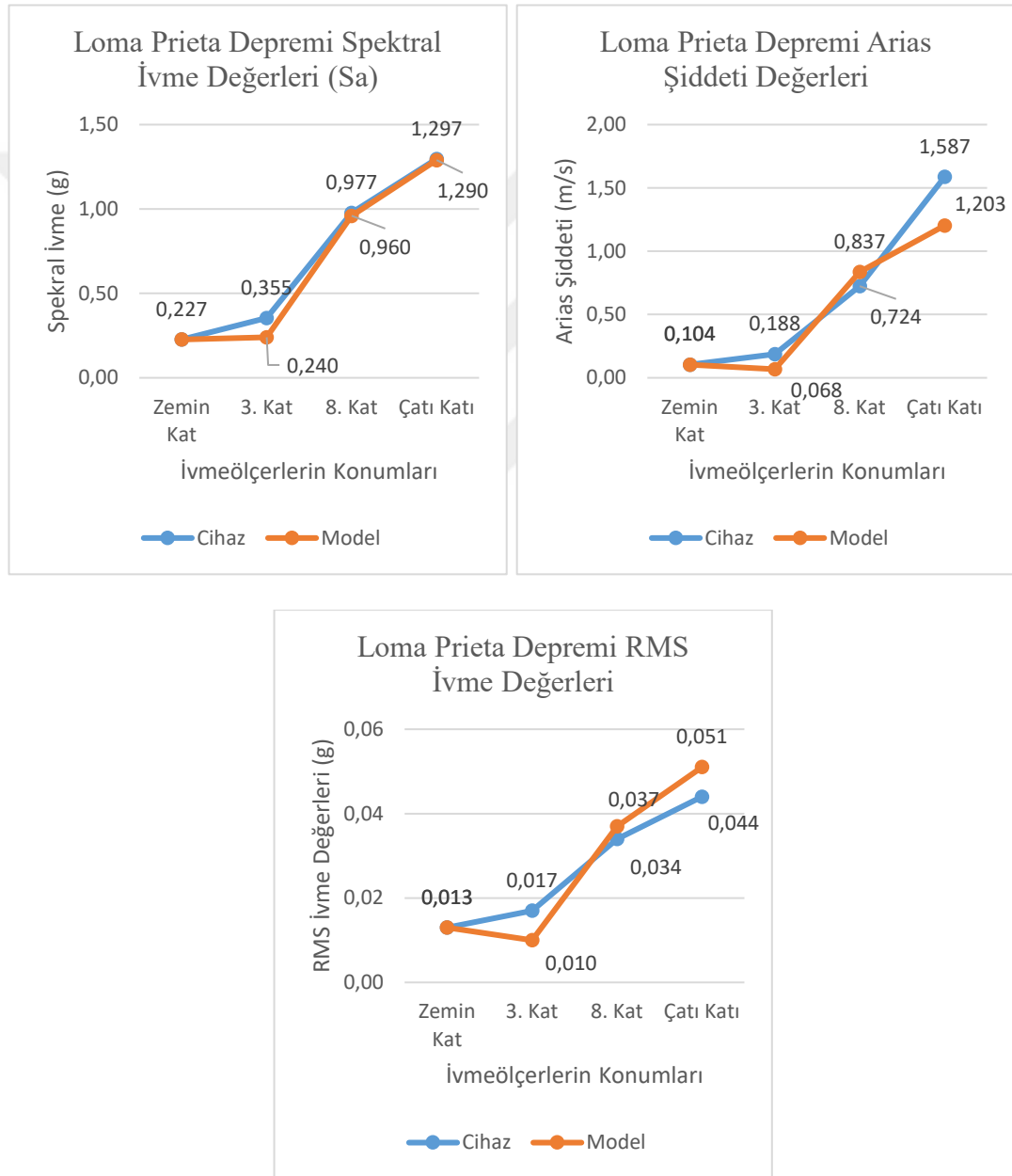
Loma Prieta depremi için çatı katı seviyesindeki sensörlerden alınan kayıtlar incelendiğinde oluşan frekans içeriklerinin benzer olduğu, genlik değerlerinin cihaz kaydında daha büyük olduğu belirlenmiştir.

Spektrumların yanı sıra, nümerik model sonuçları ve CESMD’ den alınan ivmeölçer verilerinin sonuçları, spektral ivme (S_a), arias şiddeti ve RMS ivme gibi parametrelerde incelenmiştir. **Şekil 4.11** de görüldüğü gibi Livermore depremine ait spektral ivme değerleri karşılaştırıldığında çatı katı seviyesinde oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Yine aynı Şekilde Livermore depremine ait Arias Şiddeti ve RMS ivme değerleri de kıyaslandığında sonuçların her kat için yakın olduğu ve çatı katına doğru arttığı görülmektedir.



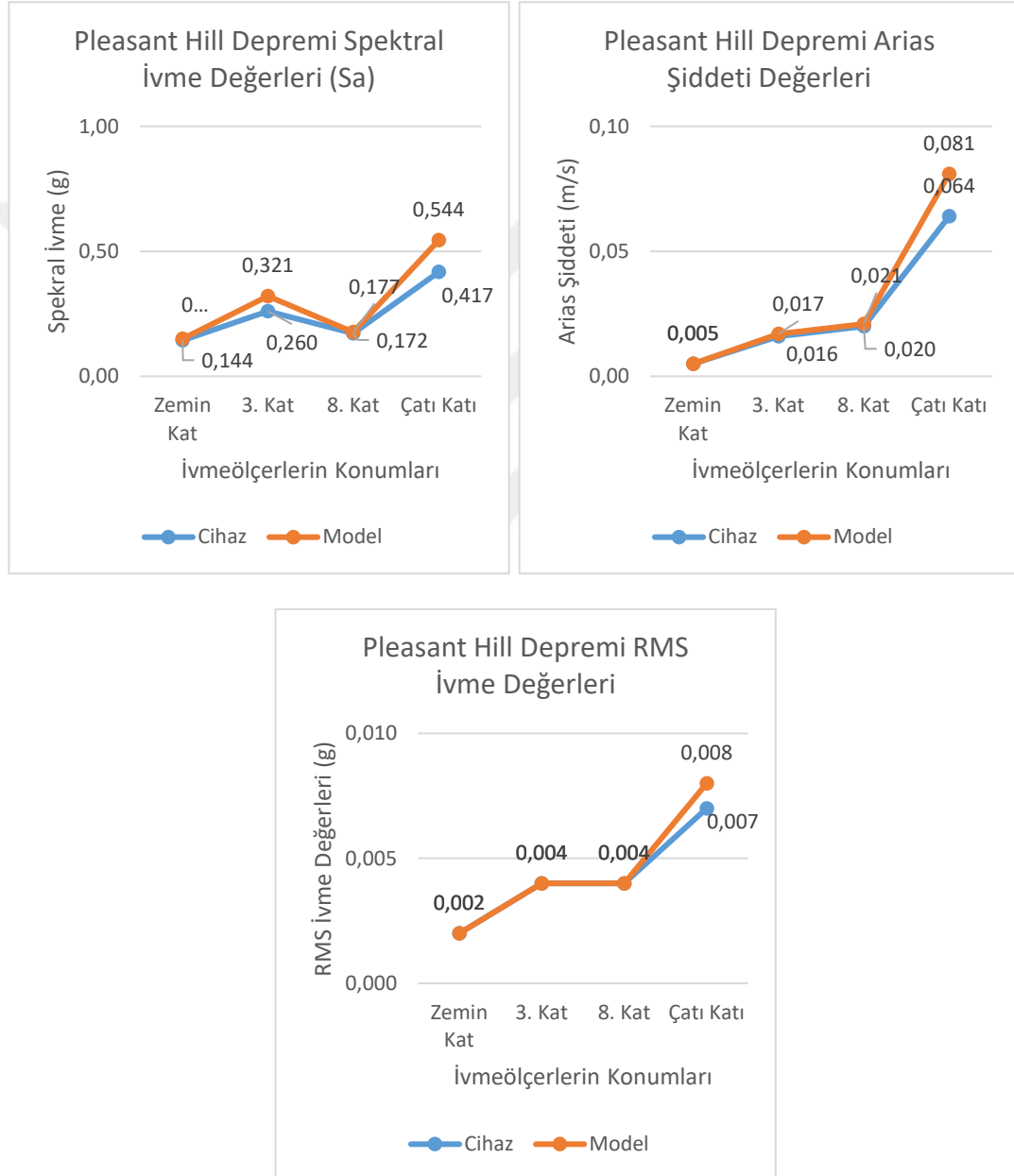
Şekil 4.11: Livermore Depremi Parametre Karşılaştırma Grafikleri.

Livermore depreminde yapılan karşılaştırmalar, ele alınan diğer bir deprem olan Loma Prieta üzerinde yapıldığında, spektral ivme değerlerinin çatı katı seviyesinde en yüksek değerlere ulaştığı ve oldukça yakın sonuçlar olduğu **Şekil 4.12'** de görülmektedir. Diğer parametrelerden arias şiddeti ve RMS ivme değerleri de karşılaştırıldığında yakın sonuçlar elde edilmiştir. RMS ivme ve arias şiddeti parametreleri incelendiğinde Livermore Depreminden farklı olarak üçüncü kat seviyesinde değerlerin düşmesine karşılık çatı katına doğru arttığı görülmektedir.



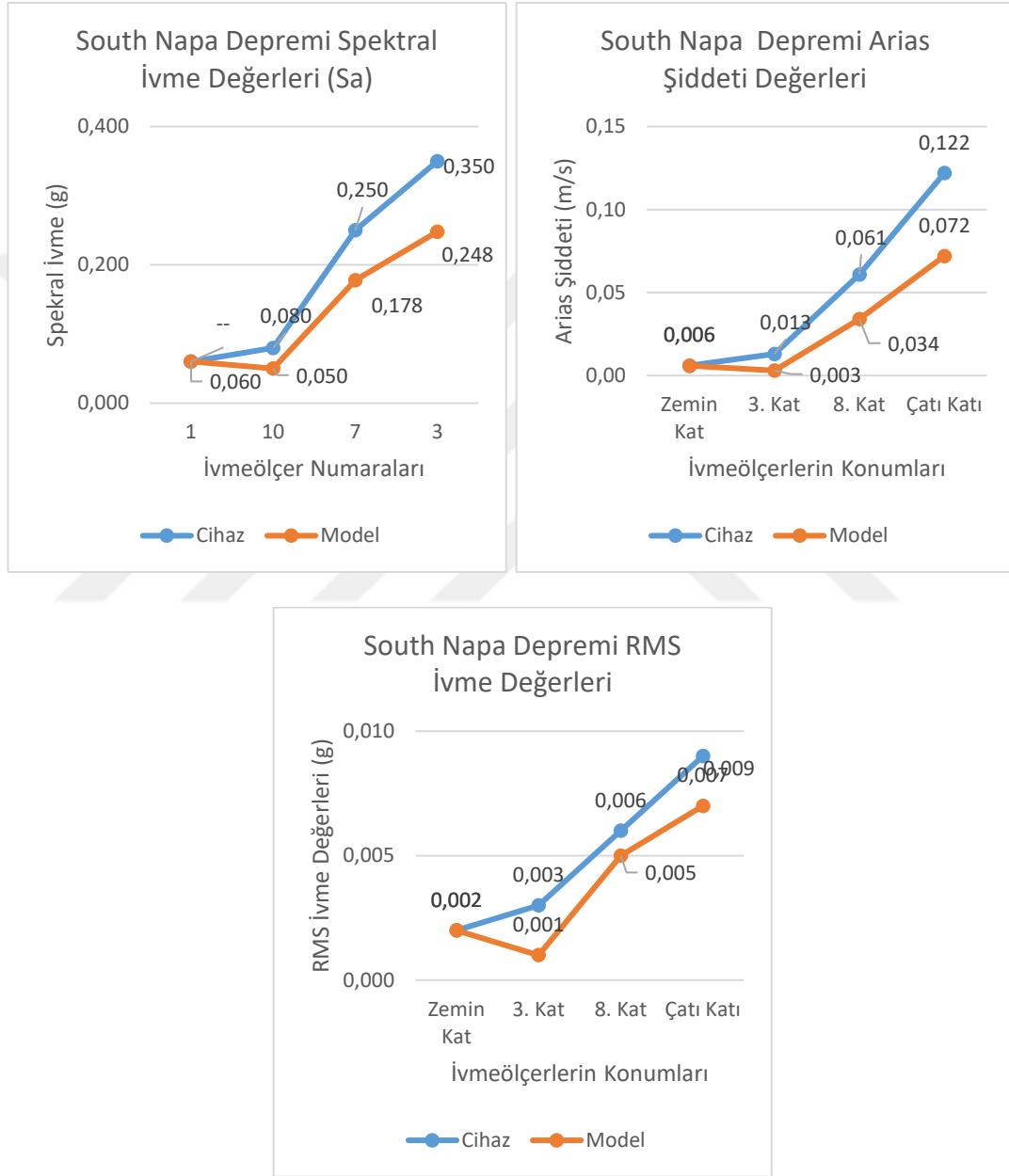
Şekil 4.12: Loma Prieta Depremi Parametre Karşılaştırma Grafikleri.

Pleasant Hill depremi için **Şekil 4.13**' de verilen sonuçlar incelendiğinde, üçüncü bölümde bahsedildiği gibi sekizinci kat verisinde spektral ivme değerlerinde azalma olmasına karşın genel olarak sonuçlar istikrarlı olarak benzer bulunmuştur. İncelenen önceki depremlerden farklı olarak sekizinci kat seviyesinden çatı katı seviyesine doğru %100 bir artış olduğu ve parametrelerin en büyük değerlerine çatı katı seviyesinde ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.13: Pleasant Hill Depremi Parametre Karşılaştırma Grafikleri.

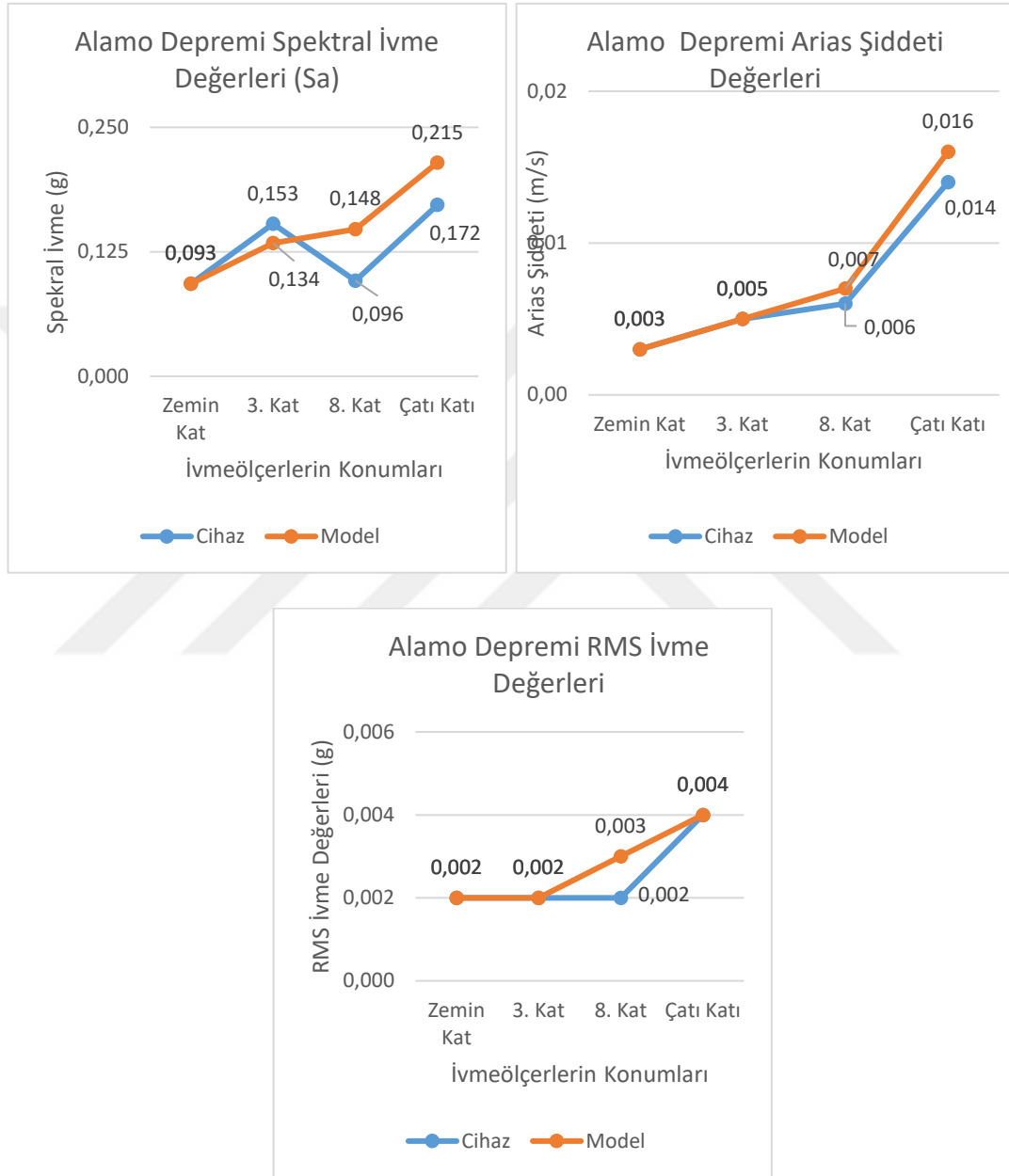
South Napa depremi için **Şekil 4.14** de verilen sonuçlar incelendiğinde, spektral ivme değerlerinin çatı katına doğru arttığı görülmektedir. Aynı zamanda bu değerler yine birbirlerine yakın olarak elde edilmiştir. Bu durum arias şiddeti ve RMS ivme değerleri için de benzer olarak elde edilmiştir. Livermore depreminde olduğu gibi zemin kattan üçüncü katı seviyesine geçildiğinde parametre değerlerinin azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.14: South Napa Depremi Parametre Karşılaştırma Grafikleri.

Alamo Depremi **Şekil 4.15** de verilen sonuçlar için incelemeler yapıldığında spektral ivme değerleri üst katlara doğru artmıştır. İvmeölçer kaydı ile nümerik modelden

alınan veri arasında diğer depremlere göre fark oluşmuştur. Frekansları incelendiğinde benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Arias şiddeti parametresi karşılaştırıldığında oldukça yakın sonuçlar gelmiştir. RMS ivme parametresi karşılaştırıldığında ise sekizinci katta fark olmasına rağmen genel olarak sonuçlar uyumlu gelmiştir.



Şekil 4.15: Alamo Depremi Spektral İvme Değerleri.

5.KAHRAMANMARAŞ DEPREM SONRASI OLUŞAN ARTÇI DEPREMLERİN NUMERİK MODELE AKTARILMASI VE YAPININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Kahramanmaraş Depremi

Ülkemizde 06.02.2023 tarihinde, saat 04:17' de ve saat: 13:24 'te merkez üssü sırasıyla Kahramanmaraş ili Pazarcık ve Kahramanmaraş ili Elbistan ilçelerinde büyüklükleri 7.7 Mw ve 7.6 Mw olmak üzere iki adet deprem meydana gelmiştir. Pazarcık ilçesinde meydana gelen depremin odak derinliği 8,6 km, Elbistan ilçesinde meydana gelen depremin odak derinliği 7,0 km olarak tespit edilmiştir. Kahramanmaraş ilinin iki ilçesinde meydana gelen depremler, Kahramanmaraş, Adıyaman, Hatay, Gaziantep, Malatya, Kilis, Diyarbakır, Adana, Şanlıurfa, Osmaniye gibi çeşitli illerde oldukça şiddetli hissedilmiştir. Can kaybına ve ağır hasarlara sebebiyet vermiştir [18].

Kahramanmaraş' da 06.02.2023 tarihinde meydana gelen depremlerin bilgileri **Tablo 5.1.** hazırlanmıştır. Deprem verilerinin elde edilmesi için ülkemizde Afet ve Acil Durum (AFAD) Başkanlığının, Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi (TADAS) sayfası incelenmiştir [19].

Tablo 5.1: 06.02.2023 Tarihinde Kahramanmaraş' ta Meydana Gelen Depremlerin Özellikleri.

<i>İstasyon Kodu</i>	<i>Yer</i>	<i>Derinlik (km)</i>	<i>PGA (cm/sn²)</i>	<i>PGV (cm/sn)</i>	<i>PGD (cm)</i>	<i>Deprem Büyüklüğü</i>	<i>Tarih</i>	<i>Saat</i>
4614	Pazarcık Kahramanmaraş	8,06	2178,72	212,94	262,17	Mw 7.7	06.02.2023	04:17
4612	Elbistan Kahramanmaraş	7	635,45	170,79	90,99	Mw 7.6	06.02.2023	13:24

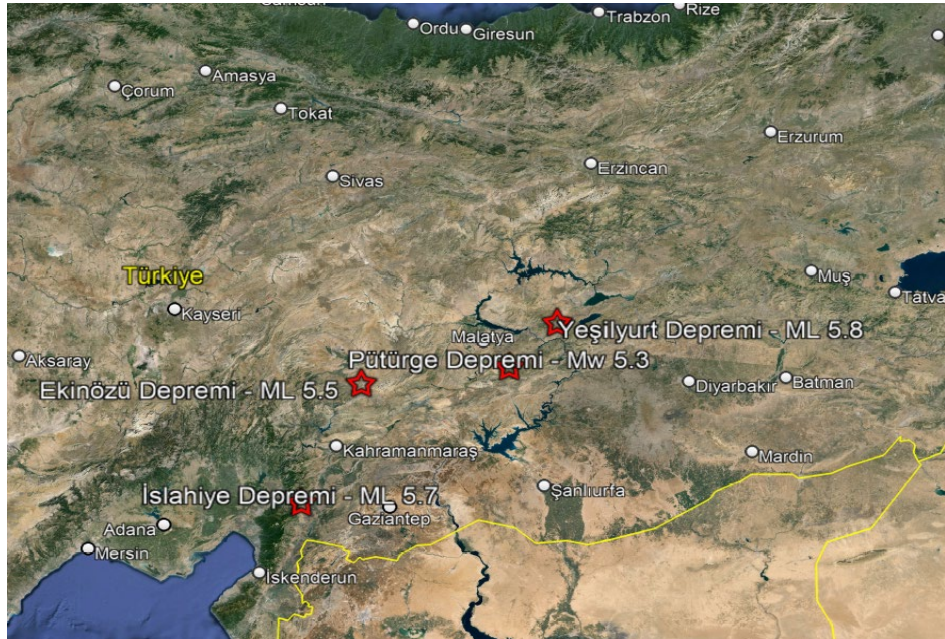
5.2. Depremlerin Seçilmesi

Bu bölümde, Kahramanmaraş Depremi sonrasında oluşan artçı depremler arasından dört adet deprem seçilmiş ve analiz edilmiştir. Depremlerin seçimi için TADAS kullanılmıştır [20]. Şekil 5.1 de TADAS sayfasında depremlere ait örnek bir görsel verilmiştir.

Deprem ID	Tarih	Ajans	Enlem	Boylam	Tip	Büyük...	Derinlik	Yer	Moment Tensör	
543428	6 Şubat 2023 01:17	AFAD	37.288	37.043	MW	7.7	8.6 km	Pazarcık (Kahramanmaraş)		Detay
543593	6 Şubat 2023 10:24	AFAD	38.089	37.239	MW	7.6	7 km	Elbistan (Kahramanmaraş)		Detay
543431	6 Şubat 2023 01:28	AFAD	37.304	36.92	MW	6.6	6.2 km	Nurdağı (Gaziantep)		Detay
565451	6 Şubat 2023 10:26	AFAD	38.332	38.271	ML	5.8	6.89 km	Yeşilyurt (Malatya)		Detay
543430	6 Şubat 2023 01:36	AFAD	37.128	36.639	ML	5.7	11.19 km	İslahiye (Gaziantep)		Detay
543439	6 Şubat 2023 02:03	AFAD	37.898	37.957	MW	5.6	10.23 km	Doğanşehir (Malatya)		Detay

Şekil 5.1: TADAS Deprem Verileri.

Depremler seçilirken Kahramanmaraş iline farklı uzaklıklarda bulunmaları, farklı büyüklükte olmaları ve farklı PGA değerleri içermelerine dikkat edilmiştir. Seçilen depremlerin merkezleri Şekil 5.2 de verilmiştir [21].



Şekil 5.2: Seçilen Depremlerin Merkezleri.

Seçilen depremlerin özelliklerine ve kayıtlarının alındığı istasyonlara ait veriler **Tablo 5.2** de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 5.2: Seçilen Depremlerin Özellikleri.

<i>Deprem İsmi</i>	<i>İl</i>	<i>İlçe</i>	<i>İstasyon Numarası</i>	<i>En Büyük Yer İvmesi (g)</i>	<i>Deprem Büyüklüğü</i>	<i>Tarih</i>	<i>Saat</i>
Ekinözü	Kahramanmaraş	Göksun	4612	0,078	Ml 5.5	06.02.2023	10:32
İslahiye	Osmaniye	Bahçe	8002	0,132	Ml 5.7	06.02.2023	01:36
Yeşilyurt	Malatya	Akçadağ	4406	0,208	Ml 5.8	06.02.2023	10:26
Pütürge	Malatya	Kale	4414	0,108	Mw 5.3	07.02.2023	07:11

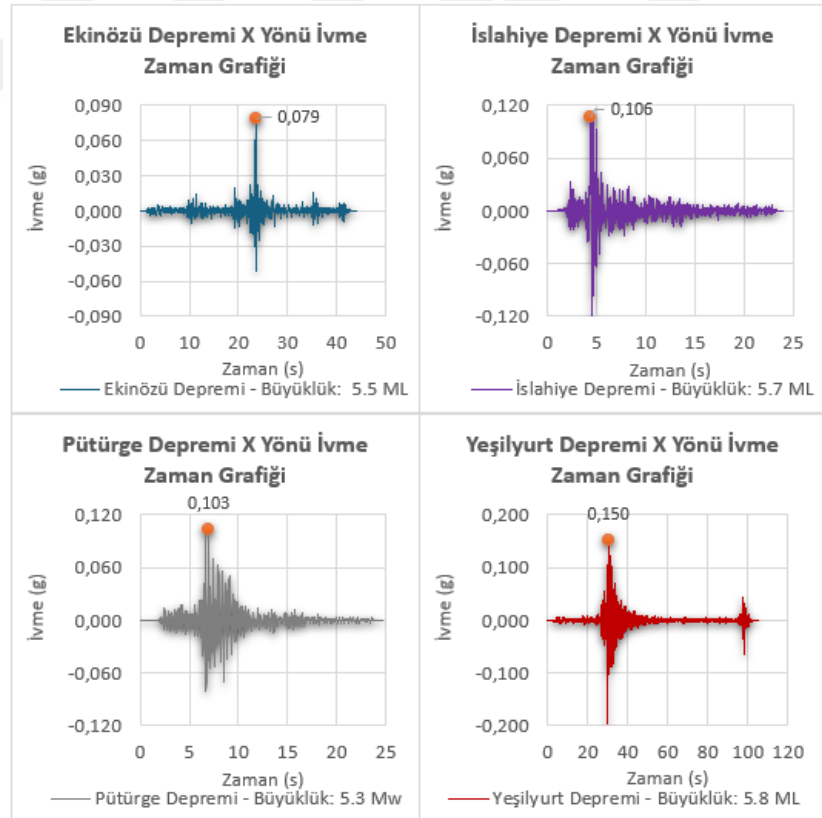
5.3. Seçilen Depremlerin Analiz Edilmesi

Birbirinden farklı olarak seçilen deprem kayıtları bilgisayar yazılımları kullanılarak analiz edilmiştir. Deprem verileri analiz edilirken her deprem kaydı için ivme zaman grafikleri, tepki spektrumları, kayıtların x ve y yönünde olmalarına dikkat edilerek oluşturulmuştur.

Elde edilen grafikler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için deprem kayıtları kendi aralarında farklı yönler için ve depremler aynı yön ancak farklı depremler olacak şekilde kıyaslama yapılmıştır. Bölüm 5.3.1’ de depremlere ait ivme zaman grafikleri verilmiştir.

5.3.1. Deprem Kayıtlarının X Yönündeki İvme Zaman Grafikleri

Seçilen artçı depremlerin x yönündeki ivme-zaman grafikleri Şekil 5.3’ de verilmiştir.

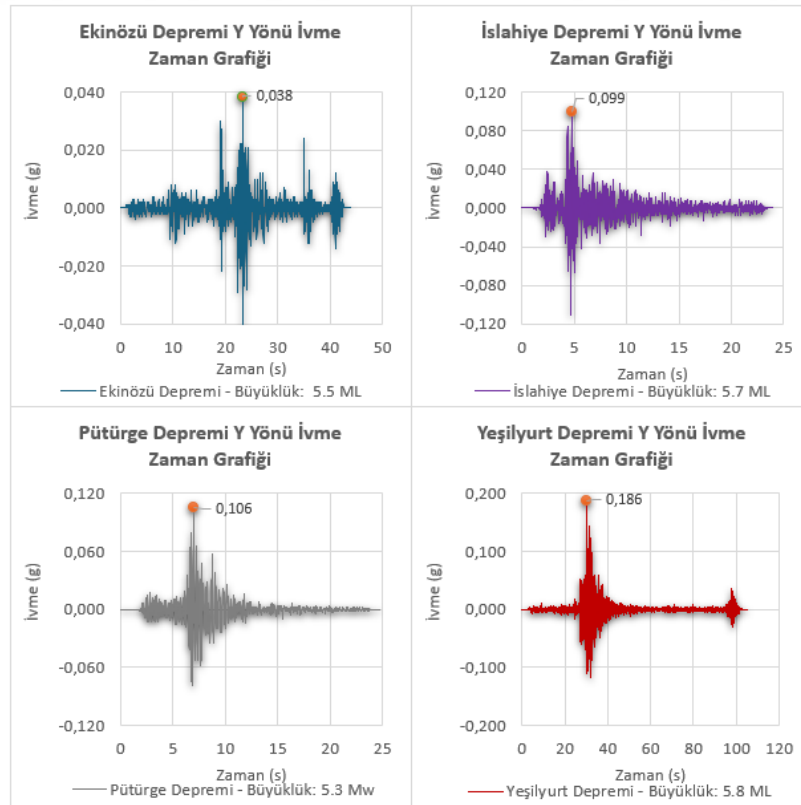


Şekil 5.3: Depremlerin X Yönü İvme Zaman Grafikleri.

Şekil 5.3' de depremlerin x yönü ivme zaman grafikleri incelendiğinde Ml 5.5 Ekinözü Depreminin ivme kayıtlarının kırk dört saniye boyunca alındığını, yirmi üçüncü saniye de ivme değerlerinin maksimum değerini aldığı ve ivme değerinin 0.079g olduğu gözlemlenmiştir. Ml 5.7 İslahiye Depremi ivme kayıtlarının yirmi dört saniye boyunca devam ettiği, dördüncü saniye de ivme değerinin maksimum değerini aldığı ve maksimum ivme değerinin 0.106g olduğu gözlemlenmiştir. Mw 5.3 Pütürge Depremi ivme kayıtlarının yirmi beş saniye boyunca devam ettiği, yedinci saniye de ivme değerinin maksimum değerini aldığı ve maksimum ivme değerinin 0.103g olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen son deprem olan Ml 5.8 Yeşilyurt depremi incelendiğinde, ivme kayıtlarının yüz beş saniye boyunca devam ettiği, otuzuncu saniyesinde maksimum ivme değerini aldığı ve maksimum ivme değerinin 0.150g olduğu gözlemlenmiştir. Depremler kendi aralarında incelendiğinde x yönünde en büyük ivme değerinin Yeşilyurt depreminden 0.150g olduğu bulunmuştur.

5.3.2. Deprem Kayıtlarının Y Yönündeki İvme Zaman Grafikleri

Seçilen artçı depremlerin y yönündeki ivme-zaman grafikleri **Şekil 5.4'** de verilmiştir.

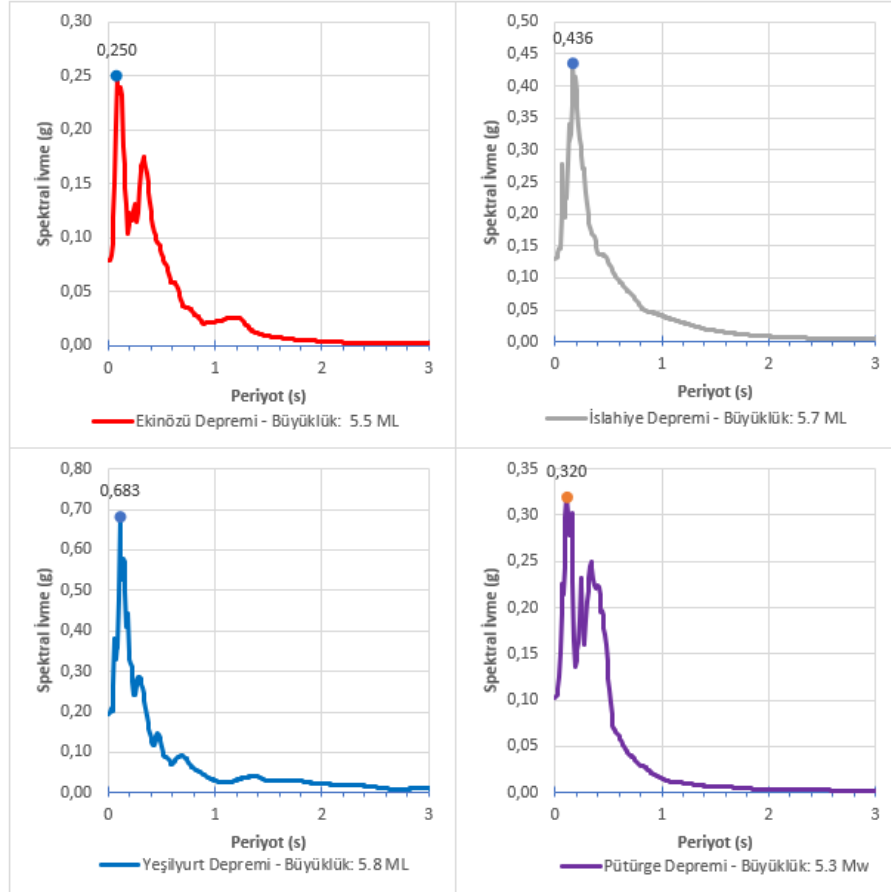


Şekil 5.4: Depremlerin Y Yönü İvme Zaman Grafikleri.

Şekil 5.4' de depremlerin y yönü ivme zaman grafikleri incelendiğinde Ekinözü Depreminin ivme kayıtlarının kırk dört saniye boyunca alındığını, yirmi üçüncü saniye de ivme değerlerinin maksimum değerini aldığı ve ivme değerinin 0.038g olduğu gözlemlenmiştir. İslahiye Depremi ivme kayıtlarının yirmi dört saniye boyunca devam ettiği, dördüncü saniye de ivme değerinin maksimum değerini aldığı ve maksimum ivme değerinin 0.099g olduğu gözlemlenmiştir. Pütürge Depremi ivme kayıtlarının yirmi beş saniye boyunca devam ettiği, yedinci saniye de ivme değerinin maksimum değerini aldığı ve maksimum ivme değerinin 0.106g olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen son deprem olan Yeşilyurt depremi incelendiğinde, ivme kayıtlarının yüz beş saniye boyunca devam ettiği, otuzuncu saniyesinde maksimum ivme değerini aldığı ve maksimum ivme değerinin 0.186g olduğu gözlemlenmiştir. X yönündeki deprem kayıtlarından elde edilen maksimum ivme kaydına benzer olarak y yönünde en büyük ivme değerinin Yeşilyurt Depreminden 0.186g olarak bulunmuştur. Yeşilyurt depremi x ve y yönü karşılaştırıldığında y yönünde elde edilen maksimum ivme değerinin daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.

5.3.3. Deprem Kayıtlarının X Yönündeki Tepki Spektrumları

Seçilen artçı depremlerin x yönündeki tepki spektrum grafikleri Şekil 5.5’ de verilmiştir.

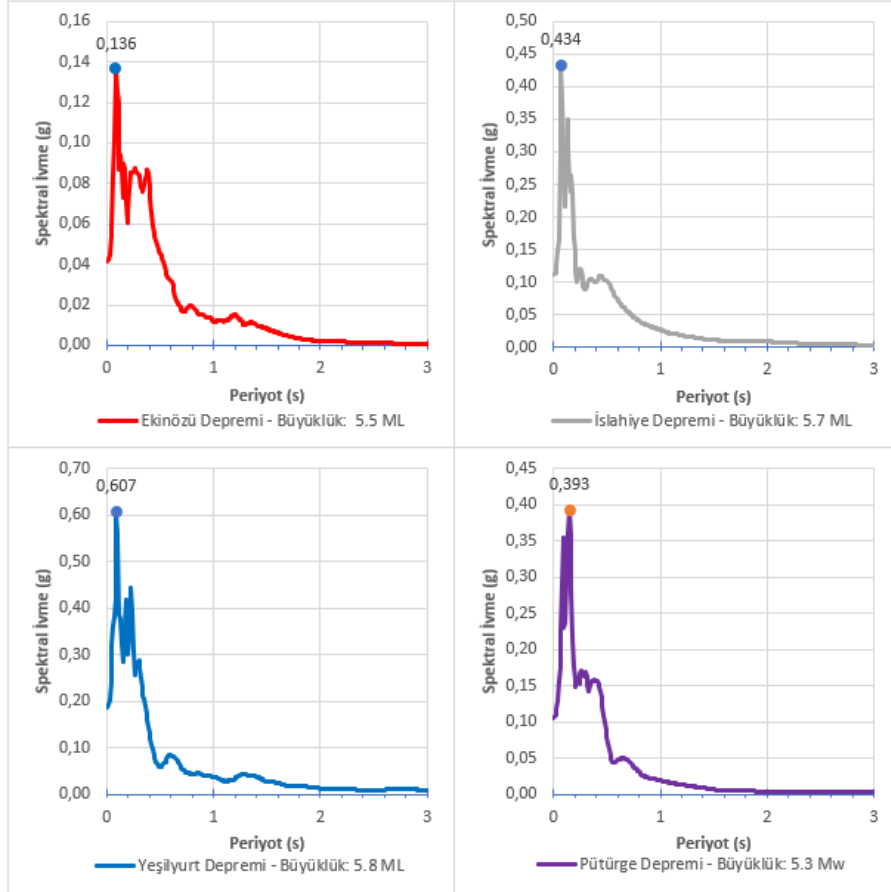


Şekil 5.5: Depremlerin X Yönü Tepki Spektrum Grafikleri.

Şekil 5.5 seçilen depremlerin x yönü tepki spektrumları incelendiğinde, depremlerin maksimum spektral ivme değerlerinin 0,2 saniye periyotlarında ulaştığı bulunmuştur. Ekinözü Depremi incelendiğinde en büyük spektral ivme değerinin 0,250g, İslahiye Depremi incelendiğinde en büyük spektral ivme değerinin 0,436g, Yeşilyurt Depremi incelendiğinde 0,683g ve son olarak Pütürge Depremi incelendiğinde en büyük spektral ivme değeri 0,320g olarak bulunmuştur. Depremler kendi aralarında karşılaştırıldığında en büyük spektral ivme değeri 5.8 ML büyüklüğünde olan Yeşilyurt Depreminde 0,683g olarak bulunmuştur.

5.3.4. Deprem Kayıtlarının Y Yönündeki Tepki Spektrumları

Seçilen artçı depremlerin y yönündeki tepki spektrum grafikleri Şekil 5.6' de verilmiştir.



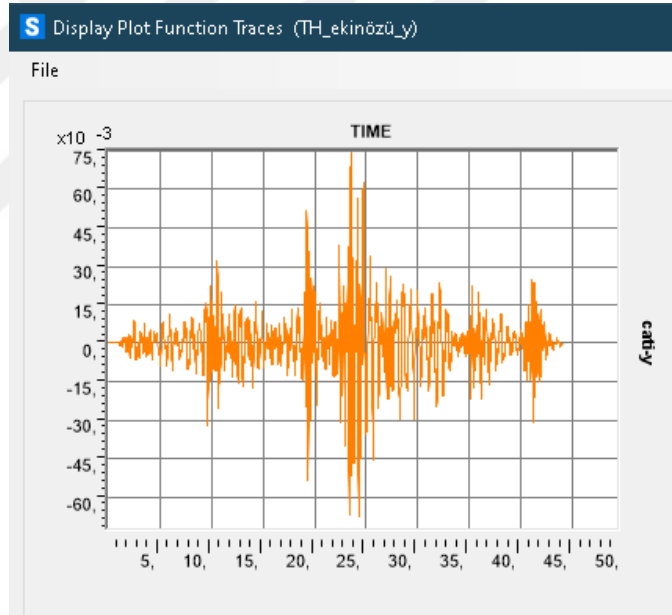
Şekil 5.6: Depremlerin Y Yönü Tepki Spektrum Grafikleri.

Şekil 5.6' de seçilen depremlerin y yönü tepki spektrumları incelendiğinde, depremlerin maksimum spektral ivme değerlerinin 0,1 saniye periyotlarında ulaştığı bulunmuştur. Ekinözü Depremi incelendiğinde en büyük spektral ivme değerinin 0,136g, İslahiye Depremi incelendiğinde en büyük spektral ivme değerinin 0,434g, Yeşilyurt Depremi incelendiğinde 0,607g ve son olarak Pütürge Depremi incelendiğinde en büyük spektral ivme değeri 0,393g olarak bulunmuştur. Depremler kendi aralarında karşılaştırıldığında en büyük spektral ivme değeri 5.8 ML büyüklüğünde olan Yeşilyurt Depreminde 0,607g olarak bulunmuştur. Her iki yön incelediğinde en büyük spektral ivme değerlerinin Yeşilyurt Depreminden elde edilmiştir.

5.4. Seçilen Depremlerin Nümerik Modele Aktarılması ve Sonuçların Karşılaştırılması

5.4.1. Nümerik Modelin Güncellenmesi

Seçilen deprem kayıtları, dördüncü bölümde oluşturulan nümerik modele aktarılmıştır. Deprem kayıtları x ve y yönü ayrı olmak üzere Sap2000 programı içerisinde bulunan zaman tanım alanı fonksiyonları oluşturulmuş ve analiz yapılmıştır. Analiz sonrasında model üzerinde dördüncü bölümde belirtmiş olduğumuz, zemin kat, üçüncü kat, sekizinci kat ve çatı katında bulunan ivmeölçerlerden ivme kayıtları alınmıştır. Alınan kayıtlar bilgisayar yazılımları kullanılarak düzenlenmiştir. **Şekil 5.7'** de elde edilen Ekinözü depremi için bir ivme zaman grafiğini gösterilmiştir.



Şekil 5.7: Ekinözü Depremi 5.5 Ml Y Yönü, Çatı Katı, İvme Zaman Grafiği.

5.4.2. Nümerik Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

Nümerik modelden alınan deprem kayıtlarının analiz edilmesi neticesinde çeşitli kuvvetli yer hareketi parametreleri için değerler elde edilmiştir. Elde edilen değerler **Tablo 5.3** ve **Tablo 5.4** de Ekinözü Depremi Ml 5.5 için, **Tablo 5.5** ve **Tablo 5.6** da İslahiye Depremi Ml 5.7 için, **Tablo 5.7** ve **Tablo 5.8.** de Yeşilyurt depremi Ml 5.8 için, **Tablo 5.9** ve **Tablo 5.10** da Pütürge depremi Mw 5.3 için verilmiştir.

Tablo 5.3: Ekinözü Depremi Ml 5.5 X Yönü Parametreler.

<i>Ekinözü Depremi (X yönü)</i>	Kat	Sensör Numarası	PGA (g)	Sa (g)	Arias Şiddeti (m/s)	RMS İvme (g)
	Zemin Kat	14	0,071	0,250	0,020	0,005
	3. Kat	11	0,073	0,354	0,022	0,006
	8. Kat	8	0,096	0,396	0,054	0,009
	Çatı Katı	5	0,182	0,466	0,114	0,013

Tablo 5.4: Ekinözü Depremi Ml 5.5 Y Yönü Parametreler.

<i>Ekinözü Depremi (Y yönü)</i>	Kat	Sensör Numarası	PGA (g)	Sa (g)	Arias Şiddeti (m/s)	RMS İvme (g)
	Zemin Kat	1	0,042	0,136	0,013	0,004
	3. Kat	10	0,045	0,160	0,020	0,005
	8. Kat	7	0,049	0,256	0,034	0,064
	Çatı Katı	3	0,075	0,288	0,086	0,110

Tablo 5.5: İslahiye Depremi Ml 5.7 X Yönü Parametreler.

<i>İslahiye Depremi (X yönü)</i>	Kat	Sensör Numarası	PGA (g)	Sa (g)	Arias Şiddeti (m/s)	RMS İvme (g)
	Zemin Kat	14	0,129	0,436	0,060	0,013
	3. Kat	11	0,136	0,558	0,074	0,014
	8. Kat	8	0,212	0,697	0,151	0,020
	Çatı Katı	5	0,239	0,866	0,281	0,028

Tablo 5.6: İslahiye Depremi Ml 5.7 Y Yönü Parametreler.

<i>İslahiye Depremi (Y yönü)</i>	Kat	Sensör Numarası	PGA (g)	Sa (g)	Arias Şiddeti (m/s)	RMS İvme (g)
	Zemin Kat	1	0,111	0,434	0,051	0,012
	3. Kat	10	0,162	0,536	0,081	0,015
	8. Kat	7	0,147	0,539	0,124	0,018
	Çatı Katı	3	0,172	0,600	0,193	0,023

Tablo 5.7: Yeşilyurt Depremi Ml 5.8 X Yönü Parametreler.

<i>Yeşilyurt Depremi (X yönü)</i>	Kat	Sensör Numarası	PGA (g)	Sa (g)	Arias Şiddeti (m/s)	RMS İvme (g)
	Zemin Kat	14	0,195	0,683	0,212	0,011
	3. Kat	11	0,269	0,868	0,379	0,015
	8. Kat	8	0,272	1,315	0,422	0,016
	Çatı Katı	5	0,362	1,401	0,728	0,021

Tablo 5.8: Yeşilyurt Depremi Ml 5.8 Y Yönü Parametreler.

<i>Yeşilyurt Depremi (Y yönü)</i>	Kat	Sensör Numarası	PGA (g)	Sa (g)	Arias Şiddeti (m/s)	RMS İvme (g)
	Zemin Kat	1	0,186	0,607	0,219	0,012
	3. Kat	10	0,218	0,750	0,509	0,018
	8. Kat	7	0,179	1,234	0,384	0,015
	Çatı Katı	3	0,353	1,337	0,933	0,024

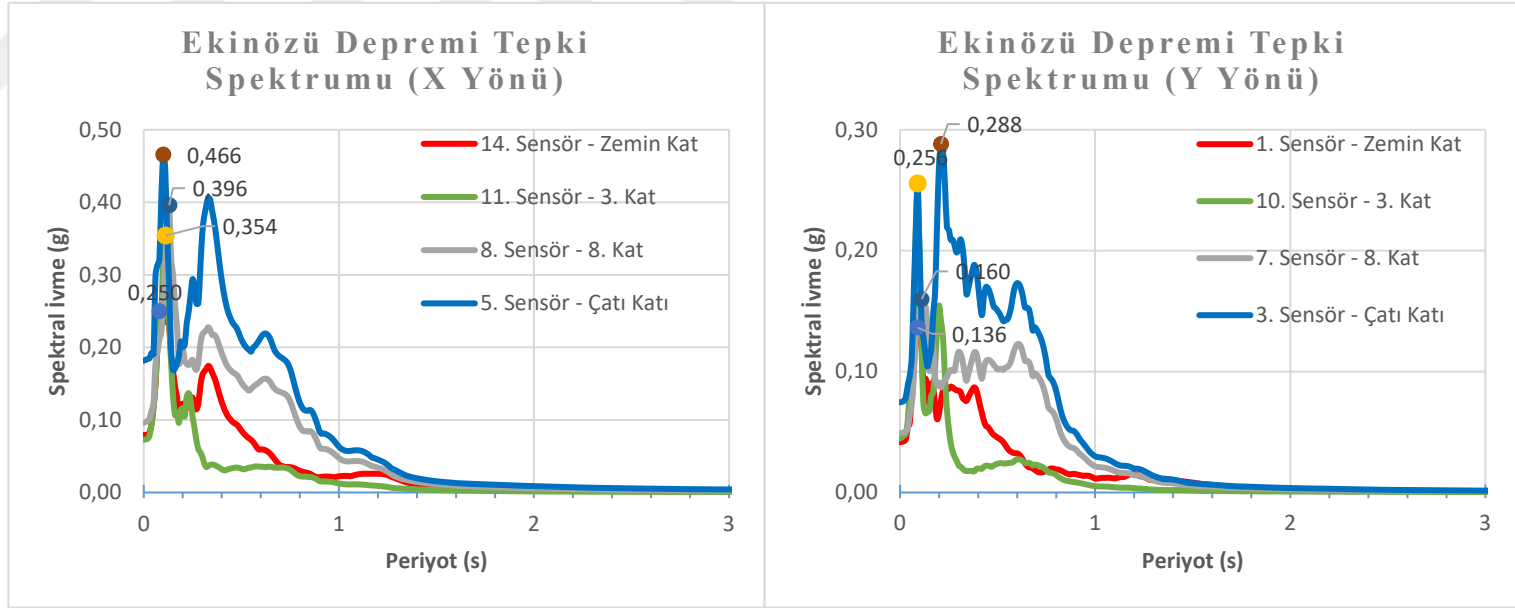
Tablo 5.9: Pütürge Depremi Mw 5.3 X Yönü Parametreler.

<i>Pütürge Depremi (X yönü)</i>	Kat	Sensör Numarası (X)	PGA (g)	Sa (g)	Arias Şiddeti (m/s)	RMS İvme (g)
	Zemin Kat	14	0,103	0,320	0,056	0,012
	3. Kat	11	0,114	0,470	0,064	0,013
	8. Kat	8	0,131	0,626	0,098	0,016
	Çatı Katı	5	0,198	0,791	0,260	0,026

Tablo 5.10: Pütürge Depremi Mw 5.3 Y Yönü Parametreler.

<i>Pütürge Depremi (Y yönü)</i>	Kat	Sensör Numarası (X)	PGA (g)	Sa (g)	Arias Şiddeti (m/s)	RMS İvme (g)
	Zemin Kat	1	0,106	0,393	0,046	0,011
	3. Kat	10	0,121	0,468	0,055	0,012
	8. Kat	7	0,131	0,567	0,110	0,017
	Çatı Katı	3	0,138	0,583	0,190	0,022

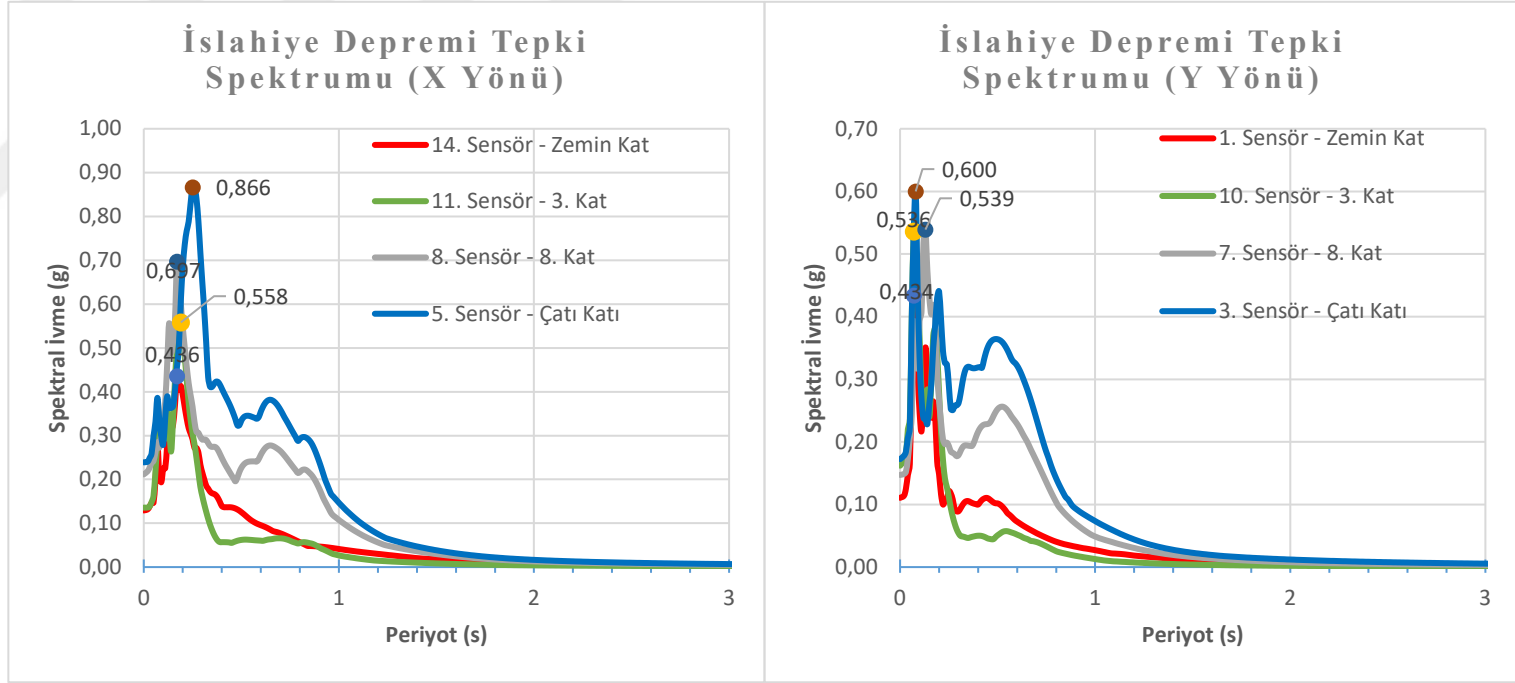
Analizler sonucunda zemin kat, üçüncü kat, sekizinci kat ve çatı katında elde edilen kayıtlar için tepki spektrumları oluşturulmuş ve karşılaştırılmıştır. **Şekil 5.8'** de Ekinözü depremine ait tepki spektrumları gösterilmiştir.



Şekil 5.8: Ekinözü Depremi Ml 5.5 Tepki Spektrumları.

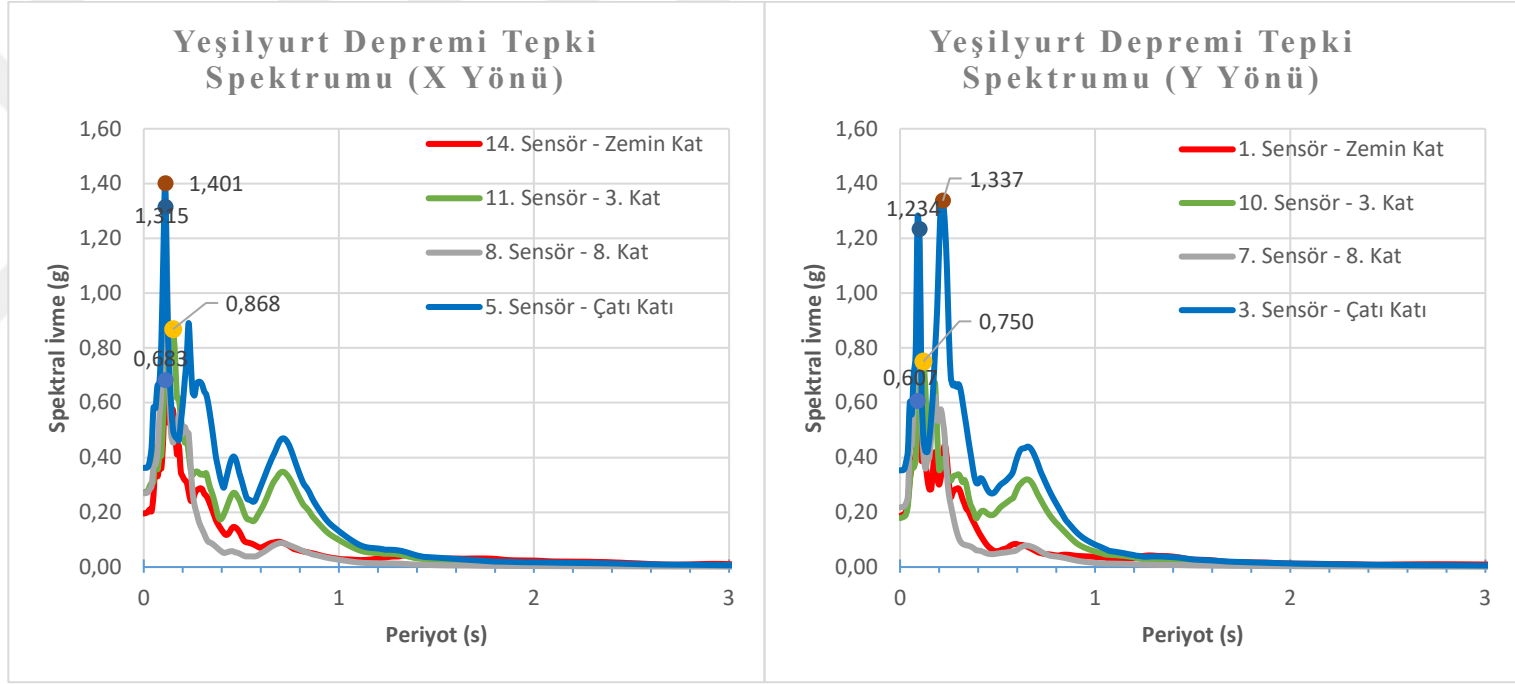
Ekinözü Depremi için Tepki Spektrumları incelendiğinde, en büyük spektral ivme değerlerinin zemin kattan çatı katına doğru arttığı ve her iki yönde de en büyük spektral ivme değerinin çatı katı seviyesinde olduğu bulunmuştur. Buna karşılık periyot değerlerine bakıldığında x yönünde 0,1 saniye de en büyük spektral ivmeye yakalarken, y yönü incelendiğinde bu en büyük spektral ivmeyi yakaladığı periyodun 0,2 saniye de olduğu görülmüştür.

Şekil 5.9’ da Ekinözü depremine ait tepki spektrumları gösterilmiştir.



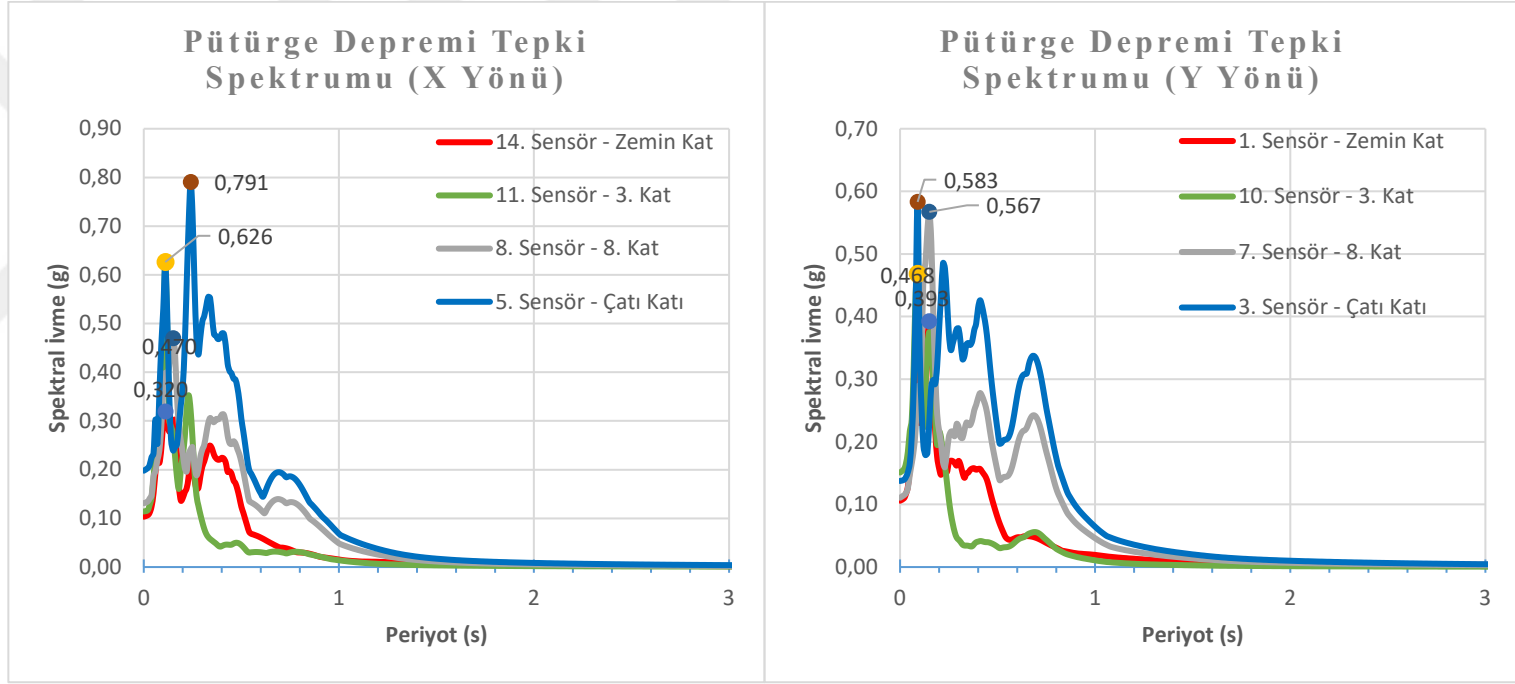
Şekil 5.9: İslahiye Depremi Ml 5.7 Tepki Spektrumları.

İslahiye Depremi için Tepki Spektrumları incelendiğinde, en büyük spektral ivme değerlerinin zemin kattan çatı katına doğru arttığı ve her iki yönde de en büyük spektral ivme değerinin çatı katı seviyesinde olduğu Şekil 5.9 da görülmektedir. Buna karşılık periyot değerlerine bakıldığında x yönünde 0,25 saniye de en büyük spektral ivmeye yakalarken, y yönü incelendiğinde bu en büyük spektral ivmeyi yakaladığı periyodun 0,1 saniye de olduğu görülmüştür.



Şekil 5.10: Yeşilyurt Depremi Ml 5.8 Tepki Spektrumları.

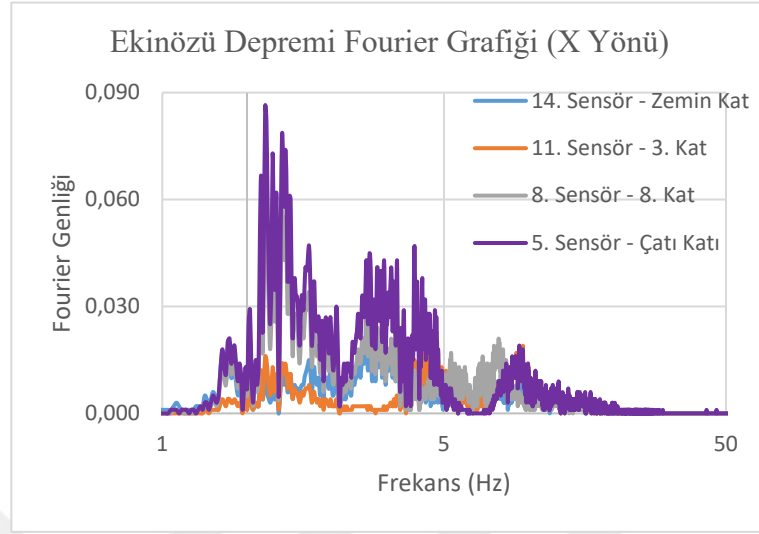
Yeşilyurt Depremi için **Şekil 5.10'** da verilen Tepki Spektrumları incelendiğinde, en büyük spektral ivme değerlerinin zemin kattan çatı katına doğru arttığı ve her iki yönde de en büyük spektral ivme değerinin çatı katı seviyesinde olduğu bulunmuştur. Buna karşılık periyot değerlerine bakıldığında x yönünde 0,1 saniye de en büyük spektral ivmeye yakalarken, y yönü incelendiğinde bu en büyük spektral ivmeyi yakaladığı periyodun 0,22 saniye de olduğu görülmüştür.



Şekil 5.11: Pütürge Depremi Mw 5.3 Tepki Spektrumları.

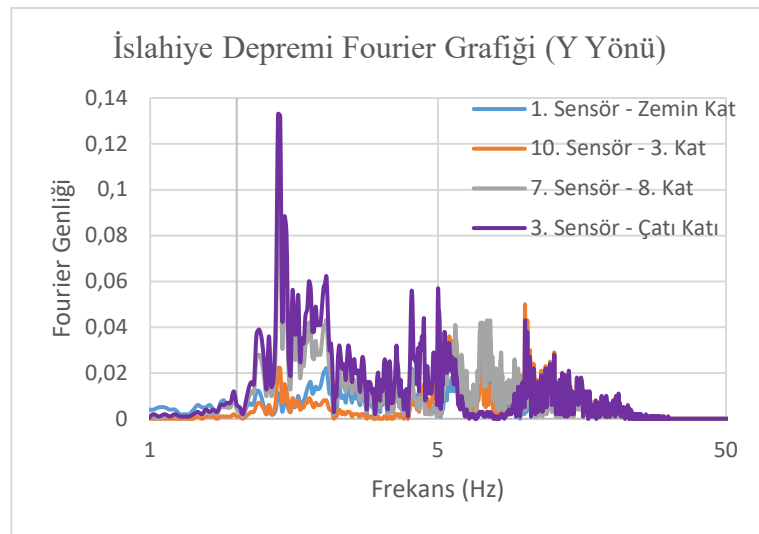
Pütürge Depremi için **Şekil 5.11'** de verilen Tepki Spektrumları incelendiğinde, en büyük spektral ivme değerlerinin zemin kattan çatı katına doğru arttığı ve her iki yönde de en büyük spektral ivme değerinin çatı katı seviyesinde olduğu bulunmuştur. Buna karşılık periyot değerlerine bakıldığında x yönünde 0,24 saniye de en büyük spektral ivmeye yakalarken, y yönü incelendiğinde bu en büyük spektral ivmeyi yakaladığı periyodun 0,1 saniye de olduğu görülmüştür.

Ekinüzü Depremi Ml 5.5 için nümerik modelden alınan sonuçlar ile her kat için oluşturulan fourier spektrumları **Şekil 5.12'** de verilmiştir.



Şekil 5.12: Ekinüzü Depremi Ml 5.5 Fourier Spektrumu.

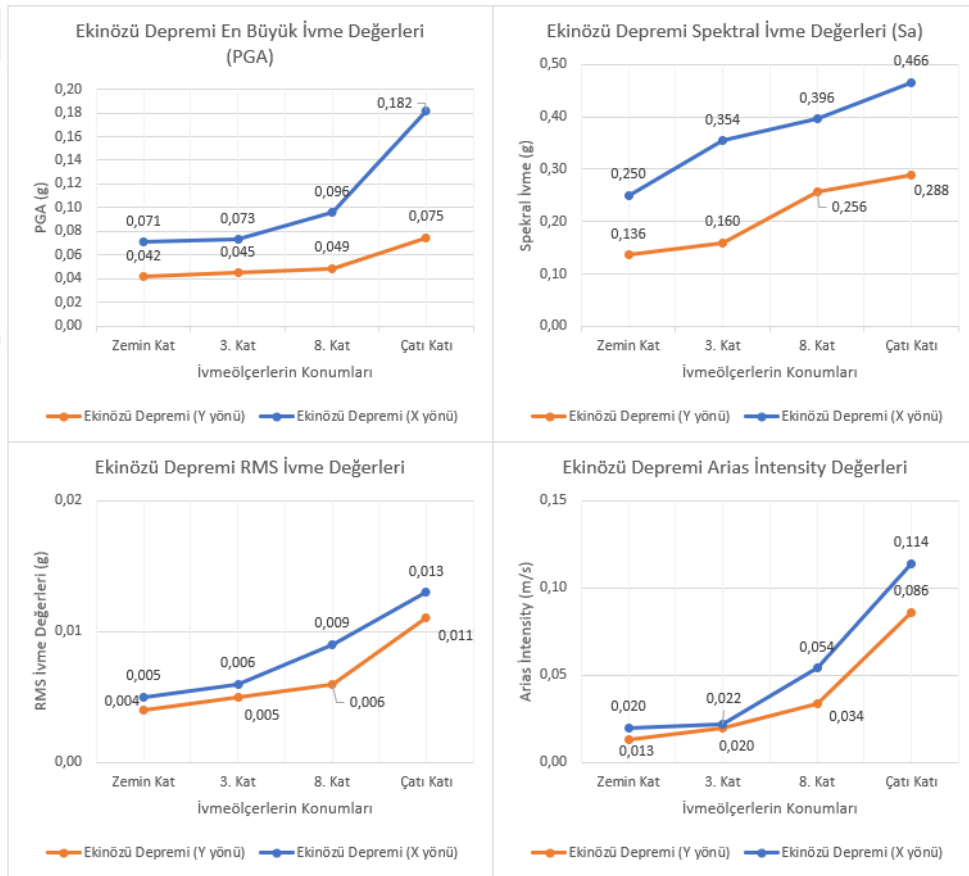
Ekinüzü Depremi x yönünde fourier spektrumu oluşturulmuştur. Elde edilen grafik **Şekil 5.12'** de verilmiştir. Grafik incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru frekans genliklerinde artış olduğu ve en büyük frekans genlikleri çatı katı seviyesinde bulunan beş numaralı sensörden elde edilmiştir. Başka bir deprem olan İslahiye Depremi Ml 5.7 için y yönünde Fourier spektrumu oluşturulmuştur. Elde edilen grafik **Şekil 5.13'** de verilmiştir.



Şekil 5.13: İslahiye Depremi Ml 5.7 Fourier Spektrumu.

Grafik incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru frekans genliklerinde artış olduğu ve en büyük frekans genlikleri çatı katı seviyesinde bulunan üç numaralı sensörden elde edilmiştir.

Ekinüzü Depremi analiz edildiğinde x ve y yönü için çeşitli parametreler elde edilmiştir. Elde edilen parametreler x ve y yönü için karşılaştırma grafikleri oluşturulmuştur. **Şekil 5.14'** de görüldüğü üzere en büyük ivme değerleri karşılaştırıldığında, x ve y yönü için benzer olarak katlardan okunan en büyük ivme değerleri zemin kattan çatı katına doğru sürekli olarak arttığı bulunmuştur. X yönünden elde edilen katlara göre en büyük ivme değerlerinin her kat için y yönüne göre daha büyük olduğu belirlenmiştir.



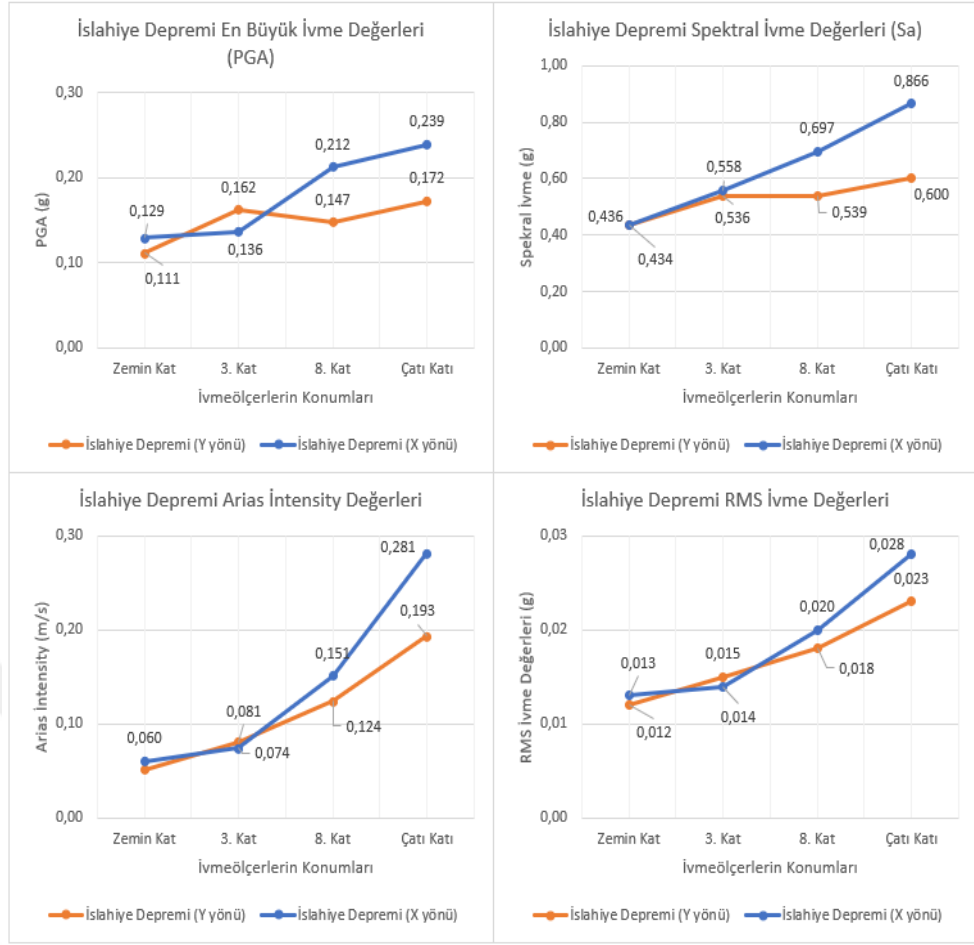
Şekil 5.14: Ekinüzü Depremi Yer Hareketi Parametreleri Karşılaştırması.

Başka bir parametre olan spektral ivme değerleri incelendiğinde benzer olarak zemin katından çatı katına doğru artış olduğu ve en büyük spektral ivme değerini x ve y yönlerinde çatı katında olduğu bulunmuştur. X yönünden elde edilen spektral ivme

değerlerinin y yönüne kıyasla daha büyük olduğu belirlenmiştir. Benzer sonuçlar diğer iki parametre olan RMS ivmesi ve Arias şiddeti içinde elde edilmiştir.

Ekinözü Depremi Ml 5.5 PGA değerleri zemin katta x yönü 0,071g, üçüncü katta 0,073g, sekizinci katta 0,096g ve çatı katında 0,182g olarak bulunmuştur. Ekinözü depremi x yönü için zemin kattan çatı katına doğru artış olduğu görülmüştür. Ekinözü depremi y yönü incelendiğinde zemin katta 0,042g, üçüncü katta 0,045g, sekizinci katta 0,049g ve çatı katında 0,075g sonuçları bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru PGA değerlerinin %178 artış gösterdiği görülmüştür. Ekinözü Depremi Spektral İvme değerleri incelendiğinde x yönü için zemin katta 0,250g, üçüncü katta 0,354g, sekizinci katta 0,396g ve çatı katında 0,466g sonuçlarına ulaşılmıştır. Y yönü için zemin katta 0,136g, üçüncü katta, 0,160g, sekizinci katta 0,256g ve çatı katında 0,288g sonuçlarına ulaşılmıştır. Spektral ivme parametresi incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru değerlerin x yönünde %86, y yönünde %111 artış göstermiştir. Arias şiddeti parametresi incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru her iki yön için sekizinci kata kadar düzenli artış gösterirken, sekizinci kattan çatı katına gelindiğinde sonuçların x yönü için %111, y yönü için %152 artış gösterdiği görülmüştür. İncelenen son parametre olan RMS ivme değerlerine bakıldığında diğer parametrelerle benzer olarak x ve y yönü için zemin kattan çatı katına doğru değerlerin arttığı görülmüştür.

İslahiye Depremi analiz edildiğinde x ve y yönü için çeşitli parametreler elde edilmiştir. **Şekil 5.15'** de gösterilen parametreler incelendiğinde en büyük ivme değerleri x yönünde zemin kattan çatı katına doğru artmış ve çatı katında en büyük değerine ulaşmıştır. Y yönü incelendiğinde ise sekizinci katta en büyük ivme değerinin üçüncü kata göre daha az olmasına karşılık x yönünde olduğu gibi çatı katı seviyesinde en büyük ivme değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.

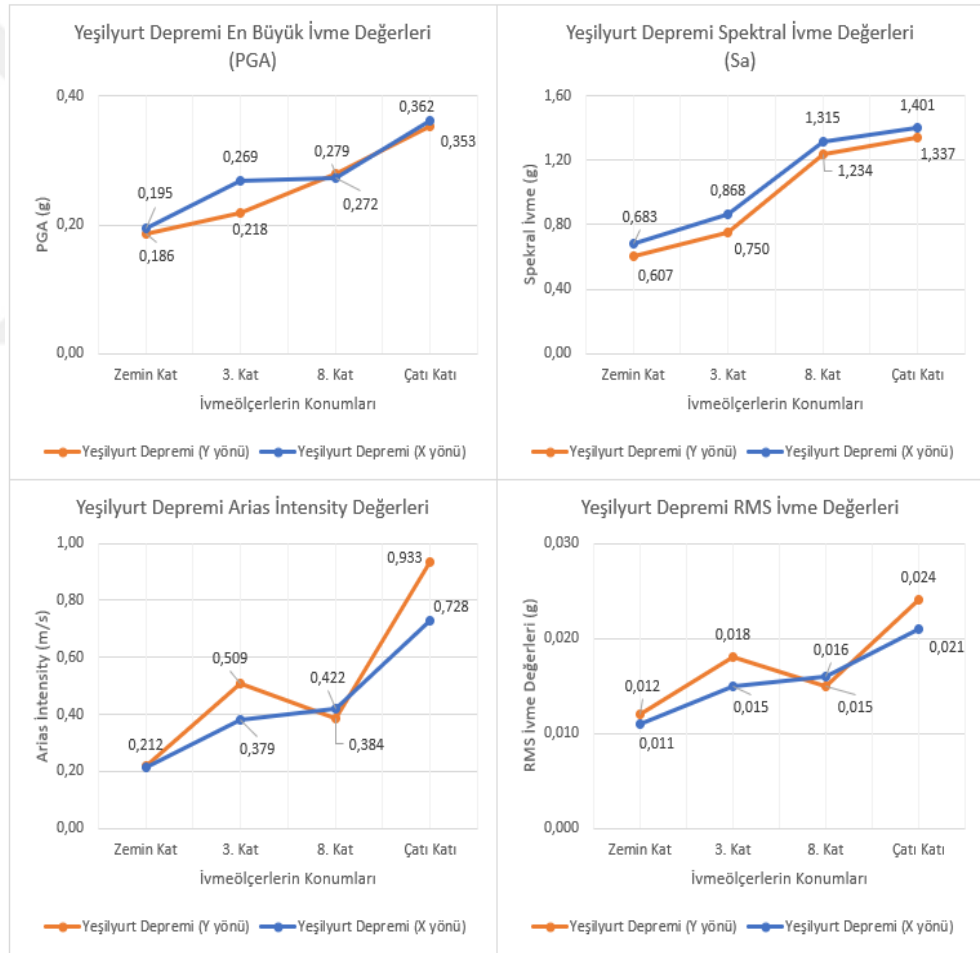


Şekil 5.15: İslahiye Depremi Yer Hareketi Parametreleri Karşılaştırması.

İslahiye Depremi için sonuçlar incelendiğinde, PGA değerlerinin x yönünde zemin katta 0,129g, üçüncü katta 0,136g, sekizinci katta, 0,212g ve çatı katında 0,239g sonuçlarına ulaşılmıştır. X yönü için sonuçlar incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru sonuçların arttığı ve çatı katında zemin katta göre %85 artarak en büyük sonuca ulaştığı bulunmuştur. Y yönü incelendiğinde zemin katta 0,111g, üçüncü katta 0,162g, sekizinci katta 0,147g ve çatı katında 0,172g sonuçlarına ulaşılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde zemin kattan üçüncü kata geçildiğinde %45,94 artış olduktan sonra üçüncü kattan sekizinci kata geçildiğinde %9,26 azalış olmuştur. Sekizinci kattan çatı katına geçildiğinde %17 artış olmuş ve PGA değeri en büyük sonucuna ulaşmıştır. İslahiye Depremi için spektral ivme sonuçları incelendiğinde, x yönü için zemin katta 0,436g, üçüncü katta 0,558g, sekizinci katta 0,697g ve çatı katında 0,866g sonuçları bulunmuştur. Y yönü için zemin katta 0,434g, üçüncü katta 0,536g, sekizinci katta 0,539g ve çatı katında 0,600g sonuçları bulunmuştur. Sonuçlar her iki yön için incelendiğinde x yönü zemin kattan çatı katına doğru %98,62, y yönü zemin kattan

çatı katına gelindiğinde %38,24 artış göstermiştir. İslahiye depremi için diğer iki parametre olan arias şiddeti ve RMS ivmesi değerlerine bakıldığında benzer şekilde zemin kattan çatı katına doğru gidildikçe değerlerin arttığı ve çatı katına gelindiğinde sonuçların en büyük değerlerine ulaştığı görülmüştür. İslahiye depremi için tüm parametrelerin en büyük olduğu değerler x ve y yönü için karşılaştırıldığında x yönündeki sonuçların y yönüne göre, PGA değeri %38,95, Sa değeri %44,33, Arias şiddeti %45,60, RMS ivme değeri %21,74 daha büyük olduğu bulunmuştur.

Yeşilyurt Depremi analiz edildiğinde en büyük yer ivmesi ve spektral ivme parametreleri için zemin kattan çatı katına doğru değerlerin arttığı **Şekil 5.16'** da görülmektedir.



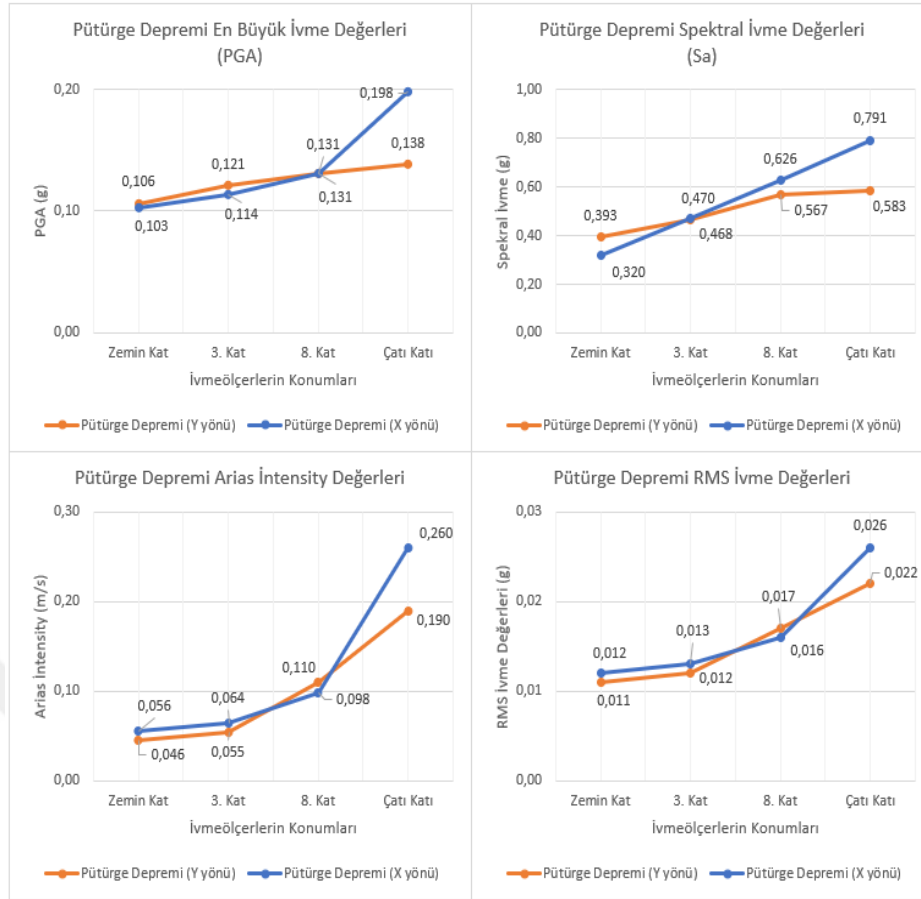
Şekil 5.16: Yeşilyurt Depremi Yer Hareketi Parametreleri Karşılaştırması.

Bu parametrelerin yanı sıra diğer iki parametre olan Arias şiddeti ve RMS ivme parametrelerinin y yönü incelendiğinde zemin kattan üçüncü kata doğru değerler

artmış sonrasında sekizinci katta değerler üçüncü kata göre azalmıştır. Sekizinci kattan çatı katına doğru ise değerler artmış ve en büyük değerlerin çatı katı seviyesinde olduğu görülmüştür. Bu duruma karşılık x yönü incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru değerlerin arttığı ve en büyük değerlere çatı katı seviyesinde ulaştığı görülmektedir.

Yeşilyurt Depremi için sonuçlar incelendiğinde, PGA değerlerinin x yönü için, zemin kat, üçüncü kat, sekizinci kat ve çatı katı olmak üzere sırasıyla, 0,195g, 0,269g 0,279g ve 0,362g olarak bulunmuştur. Y yönü için bu değerler sırasıyla, 0,186g, 0,218g, 0,272g, 0,353g olarak bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde her iki yön için PGA değerlerinin zemin kattan çatı katına doğru arttığı gözlemlenmiştir. X yönü %85,64 artış olurken, y yönü için %89,78 artış olmuştur. Spektral ivme parametresi incelendiğinde, x yönü için zemin kat, üçüncü kat, sekizinci kat ve çatı katı değerleri sırasıyla, 0,683g, 0,868g, 1,315g, 1,401g olarak bulunmuştur. Y yönü için sırasıyla bu değerler, 0,607g, 0,750g, 1,234g ve 1,337g olarak bulunmuştur. Değerler incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru değerlerin arttığı ve çatı katına gelindiğinde sonuçların en büyük değerlerine ulaştığı sonucuna varılmıştır. Arias şiddeti parametresi incelendiğinde, x yönü için, zemin kat, üçüncü kat, sekizinci kat ve çatı katı olmak üzere sırasıyla, 0,212 m/s, 0,379 m/s, 0,422 m/s, 0,728 m/s sonuçları bulunmuştur. Y yönü için bu değerler sırasıyla, 0,212 m/s, 0,509 m/s, 0,384 m/s, 0,933 m/s olarak bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde x yönünde arias şiddeti değerlerinin zemin kattan çatı katına doğru arttığı görülürken, y yönü incelendiğinde üçüncü kattan sekizinci kata geçildiğinde sonuçların azaldığı ancak çatı katına doğru sonuçların tekrar artarak en büyük değerlere ulaştığı görülmüştür. RMS ivme parametresi incelendiğinde, x yönü için, zemin kat, üçüncü kat, sekizinci kat ve çatı katı olmak üzere sırasıyla, 0,011g, 0,015g, 0,016g, 0,021g olarak bulunmuştur. X yönü için zemin kattan çatı katına doğru sonuçların %90,9 artış gösterdiği görülmektedir. Y yönü için RMS ivme parametresi incelendiğinde sonuçları sırasıyla, 0,012g, 0,018g, 0,015g, 0,024g olarak bulunmuştur. Y yönü için zemin kattan üçüncü kata doğru RMS ivme değerleri artarken üçüncü kattan sekizinci kata gelindiğinde RMS ivme değerleri %16,67 düşmüştür. Sekizinci kattan çatı katına gelindiğinde sonuçlar %60 artarak en büyük RMS ivme değeri çatı katında en büyük değerine ulaşmıştır.

Pütürge Depremi analiz edildiğinde, en büyük ivme değerleri x ve y yönü için benzer olarak zemin kattan çatı katına doğru arttığı **Şekil 5.17'** de görülmektedir.



Şekil 5.17: Pütürge Depremi Yer Hareketi Parametreleri Karşılaştırması.

Şekil 5.17’ de grafikleri verilen Pütürge Depremi için sonuçlar incelendiğinde, PGA değerlerinin zemin kattan çatı katına doğru sırasıyla x yönü için, 0,103g, 0,114g, 0,131g ve 0,198g olarak bulunmuştur. Y yönü için bu değerler sırasıyla, 0,106g, 0,121g, 0,131g, 0,138g olarak bulunmuştur. X ve y yönü için sonuçlar karşılaştırıldığında PGA değerleri zemin kat, üçüncü kat ve sekizinci katta yakın olmasına karşılık, çatı katı sonuçları incelendiğinde x yönü PGA değerinin y yönü PGA değerinden %69,70 büyük olduğu bulunmuştur. Spektral ivme parametresi incelendiğinde, x yönü için sırasıyla, 0,320g, 0,470g, 0,626g, 0,791g değerleri bulunmuştur. Y yönü için bu değerler sırasıyla, 0,393g, 0,468g, 0,567g ve 0,583g olarak bulunmuştur. Sonuçlar karşılaştırıldığında her iki yön için de zemin kattan çatı katına doğru Sa değerlerinin arttığı görülmektedir. Çatı katı seviyesinde x yönü Sa değeri y yönü Sa değerinden %26,30 büyük olduğu bulunmuştur. Benzer sonuçlar diğer iki parametre olan arias şiddeti ve RMS ivmesi için de Şekil 5.17’ de verilmiştir.

6.SONUÇ

Bu tez kapsamında Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya eyaletine bağlı Walnut Creek ilçesinde bulunan örnek bir yapı seçilmiştir. Seçilen yapı on katlı, içerisinde çekirdek perde bulunan betonarme bir ofis binasıdır. Seçilen yapı üzerinde zemin kat, üçüncü kat, sekizinci kat ve çatı katı olmak üzere dört farklı katında toplamda on altı adet ivmeölçer mevcuttur.

Yapının maruz kaldığı altı farklı depreme ait kayıtlar, yapının farklı katlarında bulunan sekiz adet ivmeölçerden elde edilmiştir. Deprem kayıtları incelendiğinde, yapının yaklaşık olarak periyot değerinin x yönünde 0,70- 0,82 saniye arasında, y yönünde ise 0,60- 0,70 saniye arasında olduğu tespit edilmiştir.

CESMD web sayfası üzerinden elde edilen bilgiler referans alınarak seçilen yapının nümerik modeli Sap2000 bilgisayar programı aracılığıyla oluşturulmuştur. Yapılan modal analizler neticesinde oluşturulan nümerik modelin periyot değerleri x yönünde 0,91 saniye, y yönünde ise 0,70 saniye olarak bulunmuştur. Nümerik model ve cihazlar aracılığıyla elde edilen deprem kayıtlarının analizleri doğrultusunda hesaplanan periyot değerlerinin tutarlı olduğu tespit edilmiştir.

Livermore depremi için y yönü doğrultusundaki ivmeölçer kayıtları dikkate alındığında, yapı üzerinden elde edilen en büyük spektral ivme değerinin 0,49 g, nümerik model üzerinden elde edilen en büyük spektral ivme değerinin 0,48 g olduğu bulunmuştur. Loma Prieta depremi için x yönü doğrultusundaki ivmeölçer kayıtları dikkate alındığında, yapı üzerinden elde edilen en büyük spektral ivme değerinin 1,296 g, nümerik model üzerinden elde edilen en büyük spektral ivme değerinin 1,294 g olduğu bulunmuştur. Bahsedilen iki depremde, nümerik model ve cihazlar için hesaplanan spektral ivme değerleri ve frekans içeriklerinin son derece yakın olduğu tespit edilmiştir. Fakat South Napa depremi için y yönü doğrultusundaki ivmeölçer kayıtları incelendiğinde, yapı üzerinden elde edilen en büyük spektral ivme değerinin 0,3505 g olmasına karşın nümerik model üzerinden elde edilen en büyük spektral ivme değerinin 0,2483 g olduğu görülmüştür. South Napa depreminde nümerik model frekans aralıkları ile yapının frekans aralıklarının birbirine yakın olmasına rağmen en büyük spektral ivme değerlerinde %30 mertebelerinde bir fark olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında, genlik parametresi için PGA (g), frekans içeriği için Sa (g), enerji içeriği olarak Arias Şiddet (I_a) vb. deprem yer hareketi şiddet parametreleri dikkate alınmıştır. Bu parametrelerin katlara göre değişimi seçilen depremler için incelenmiştir. Seçilen depremler için PGA (g) parametresi yapı ile nümerik model karşılaştırıldığında zemin kattan çatı katına doğru artmış ve çatı katında en büyük değerine ulaşmıştır. Livermore depreminde x yönündeki ivmeölçer kayıtları dikkate alındığında yapının zemin katından alınan PGA değeri 0,029 g, üçüncü katında 0,040g, sekizinci katında 0,059g ve çatı katında 0,106g olarak bulunmuştur. Aynı Şekilde nümerik modelden alınan değerlerin de zemin katta 0,029g iken üst katlara doğru gidildikçe arttığı ve çatı katı seviyesinde 0,146g' ye ulaştığı görülmüştür. Sa (g) parametresi için de aynı karşılaştırma yapıldığında aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Arias Şiddeti değeri için karşılaştırma yapıldığında, Livermore depremi için x yönündeki ivmeölçer kayıtları dikkate alındığında, yapının zemin katından alınan Arias Şiddeti değerlerinin 0,014 m/s, üçüncü kat için 0,025 m/s, sekizinci kat için 0,109 m/s ve çatı katı için 0,237 olarak bulunmuştur. Nümerik model için bu değerler zemin kat 0,014 m/s, üçüncü kat 0,018 m/s, sekizinci kat 0,107 m/s ve çatı katı için 0,239 m/s olarak bulunmuştur. Değerler incelendiğinde zemin kattan çatı katına doğru Arias Şiddeti değerlerinde artış olduğu görülmüş ve yapıdan alınan sonuçlar ile nümerik modelden alınan sonuçların yakın olduğu görülmüştür. RMS İvme ve Kümülatif Mutlak Hız parametreleri incelendiğinde iki parametre için de zemin kattan çatı katına doğru artış olduğu bulunmuştur. RMS İvme parametresi için yapıdan alınan sonuçlar ile nümerik modelden alınan sonuçlarda genel olarak yakın gelmesine karşın Kümülatif Mutlak Hız parametresi için yapıdan alınan sonuçlar ile nümerik modelden alınan sonuçların arasındaki farkın seçilen depremlerde farklı geldiği tespit edilmiştir. İncelenen bir diğer parametre olan V_{maks}/A_{maks} (s) parametresi için ise bu durum diğer parametrelere göre daha farklıdır. Bu parametre için gerek yapıdan alınan sonuçların gerekse nümerik modelden alınan sonuçların zemin kattan çatı katına doğru arttığı, azaldığı ve değişmediği durumlar bulunmuştur.

Ülkemizde, anlatılan analizlerin yapılması için seçilen yapı gibi ivmeölçer yerleşimi yapılmış, farklı büyüklüklerde depremlere maruz kalmış ve maruz kaldığı depremlerin kayıtlarını saklamış yapılar sınırlıdır. Bu etmenlerin karşılandığı yapılarda ise yapı üzerinde depremlere ait ivmeölçer kayıtları internet üzerinden paylaşılmadığı bilinmektedir. Dolayısıyla Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan bu yapı,

06.02.2023 tarihinde Kahramanmaraş' ta gerçekleşen merkez üssü Pazarcık ve Elbistan olan, Mw 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüklerindeki depremlerden sonra meydana gelen dört artçı depremlere maruz kalması durumu incelenmiştir. İncelemeler için TADAS internet sayfası ziyaret edilmiş ve uygun dört adet artçı deprem kaydı seçilmiştir. Devamında benzer analiz ve değerlendirmeler söz konusu seçilen artçı kayıtlar için de gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında dikkate alınan çeşitli şiddet parametrelerinin yapının farklı katlarındaki değerleri bilinmektedir. Söz konusu değerlendirmelerin, yapıda ağır hasar oluşturma potansiyeline sahip çok sayıda deprem için de uygulanması durumunda yapısal hasar ile şiddet parametreleri arasındaki ilişkinin kurulması mümkündür. Bu ilişki sayesinde olası bir depremden hemen sonra yapının mevcut hasar durumunun tespit edilebilmesi mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Web 1, (2023), <https://eski.imo.org.tr> , (Erişim Tarihi: 02/05/2023).
- [2] Aoki, T., Komiyama, T., Sabia, D., & Rivella, D., (2004), “Theoretical and experimental dynamic analysis of Rakanji stone arch bridge”, In Proceedings of 7th International Conference on Motion and Vibration Control Movic, 1-9, Honyabakei, Oita, Japan, 1 January.
- [3] Brownjohn, J.M.W., 2007, “Structural Health Monitoring of Civil Infrastructure”, Philosophical Transactions of the Royal Society, 3 (65), 589-622.
- [4] Brencich, A. and Sabia, D. (2008). Experimental Identification of a multi-span masonry bridge: The tanaro bridge. Construction and Building Materials, 22(10), 2087-2099.
- [5] Bayraktar A., Türker T., Sevim B., Altunışık A.C., Yıldırım F., (2009), “Modal Parameter Identification of Hagia Sophia Bell-Tower via Ambient Vibration Test”, Journal of Nondestructive Evaluation, 28(1), 37–47.
- [6] Michel C., Gueguen P., (2006) “Dynamic Behaviour of the first instrumented building in France: The Grenoble Town Hall”, 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 941, Geneva Switzerland, 3-8 September.
- [7] Carden, E.P., and P., Fanning., (2004), “Vibration-Based Condition Monitoring-A Review”, Structural Health Monitoring, Vol. 3, No. 4, pp. 355-377.
- [8] Basset Abdo M., 2014, “Structural Health Monitoring, History, Applications and Future”, 1st Edition, Editors “Open Science”.
- [9] “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”, (2018).
- [10] T.C. İçişleri Bakanlığı, (2020), “Yapı Sağlığı İzleme Sistemi Uygulama Yönergesi”, Strateji Geliştirme Başkanlığı.
- [11] Chang, F.-K., 2003, “Structural Health Monitoring”, DEStech Publications, Inc., pp 1559.

[12] Kramer. S.,1996, “Geotechnical Earthquake Engineering”, II Series, Prentice-Hall. Inc., pp 54-106

[13] Beyen K., Kunatis M, Tanöz Ö., Başkan D., 2011, “Yapı Sağlığı İzleme ve Yapı Tanı Çalışmaları için Akıllı Aktarma Protokollu Kablosuz Sensör Ağı”, “Yedinci Ulusal Deprem Mühendiliği Konferansı”, 30.05.2011.

[14] Web 2, (2023),<http://yapisagligilab.com>, (Erişim Tarihi: 06/08/2023).

[15] Web 3, (2023),<https://tdg.com> , (Erişim Tarihi: 07/08/2023).

[16] Web 4, (2023),<https://www.cesmd.org> , (Erişim Tarihi: 16/01/2023).

[17] Web 5, (2023),<https://earth.google.com> , (Erişim Tarihi: 25/09/2023).

[18] Web 6, (2023),<https://deprem.afad.gov.tr> , (Erişim Tarihi: 12/11/2023).

[19] Web 7, (2023),<https://tadas.afad.gov.tr> , (Erişim Tarihi: 12/11/2023).

[20] Web 8, (2024),<https://tadas.afad.gov.tr> , (Erişim Tarihi: 10/04/2024).

[21] Web 9, (2024),<https://earth.google.com> , (Erişim Tarihi: 12/04/2024).

[22] Yesilyurt, A., Akram, M. R., & Zulfikar, A. C. (2019). “Assessment of Engineering Demand Parameters Through SHM for RC-Structures.”, Journal of Civil Structural Health Monitoring, 9, 253-261.

ÖZGEÇMİŞ

Mahmut Melih DEMİRBAŞ, 2020 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2021 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Deprem ve Yapı Anabilim Dalında yüksek lisans eğitime başladı.

2022 yılında Alacalı İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş. şirketinde yapısal tasarım mühendisi olarak görev almaya başlamıştır. Halen görevine devam etmektedir.



TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Demirbaş M. M., Zülfikar A.C., 2023, “Structural Health Monitoring and Algorithm Development in High Rise Buildings”, 5. International Disaster & Resilience Congress, 531-532, Gebze, Turkey, 11-13 October.

