

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET  
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**TARİHİ YIĞMA YAPILARIN YAKIN FAY ETKİSİ ALTINDAKİ  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çağlar KIZILPINAR**

**Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Deprem Mühendisliği Programı**

**HAZİRAN 2018**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET  
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**TARİHİ YIĞMA YAPILARIN YAKIN FAY ETKİSİ ALTINDAKİ  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çağlar KIZILPINAR  
(802121051)**

**Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Deprem Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Metin AYDOĞAN**

**HAZİRAN 2018**



İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 802121051 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Çağlar KIZILPINAR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “TARİHİ YIĞMA YAPILARIN YAKIN FAY ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Metin AYDOĞAN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**            **Prof. Dr. Turgut ÖZTÜRK** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Ali KOÇAK** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi**            : 04 Mayıs 2018  
**Savunma Tarihi**        : 06 Haziran 2018





*Oğluma,*





## ÖNSÖZ

Araştırma süreci boyunca yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Metin AYDOĞAN'a,

Bu süreçte her zaman yanımda olan, maddi ve manevi hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan aileme,

Bu noktaya ulaşmamda büyük payı olan başta amirlerim olmak üzere desteklerini her zaman yanımda hissettiğim mesai arkadaşlarıma,

İvazpaşa Camii'ne ait zemin etüd raporlarını temin etmemde yardımcı olan Manisa Büyükşehir Belediyesi Kentsel Dönüşüm Müdürlüğü'nde görevli jeoloji mühendisi Sayın Nurdan TORAMAN'a,

Yüksek lisans eğitimi boyunca yardımlarını asla unutamayacağım okul arkadaşlarıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Haziran 2018

Çağlar KIZILPINAR  
(İnşaat Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xv
ŞEKİL LİSTESİ .....	xvii
ÖZET .....	xix
SUMMARY .....	xxi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tarihi Yapıların Önemi .....	1
1.2 Deprem Hareketi ve Yığma Yapılara Etkisi .....	2
1.3 Yakın Fay Tanımı .....	3
1.4 Tezin Amacı .....	3
<b>2. TARİHİ YAPILARIN GENEL ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>5</b>
2.1 Malzeme Özellikleri .....	5
2.1.1 Taş .....	5
2.1.1.1 Volkanik taşlar.....	5
2.1.1.2 Tortul taşlar.....	5
2.1.1.3 Başkalaşmış taşlar.....	7
2.1.2 Tuğla.....	8
2.1.3 Harç .....	10
2.1.4 Ahşap.....	11
2.2 Taşıyıcı Sistem Özellikleri .....	11
2.2.1 Kubbe .....	12
2.2.2 Kemer ve tonoz .....	13
2.2.3 Döşeme.....	14
2.2.4 Duvar .....	14
2.2.5 Temel.....	15
2.3 Yapısal Özellikleri.....	16
2.3.1 Dış yükler altındaki davranışı .....	16
2.3.2 Deprem performansı.....	17
2.3.3 Deprem kuvvetine karşı alınan önlemler .....	18
<b>3. DEPREM HAREKETİ.....</b>	<b>21</b>
3.1 Deprem Oluşumu .....	21
3.2 Türkiye'nin Depremselliği .....	22
3.2.1 Kuzey Anadolu Fay Hattı .....	22
3.2.2 Ege Bölgesi horst-graben sistemi.....	23
3.2.3 Doğu Anadolu Fayı .....	24
<b>4. YAKIN FAY ETKİSİ .....</b>	<b>25</b>
4.1 Yakın Fay Hareketinin Genel Özellikleri.....	26

4.2 Yakın Fay Etkisinin Literatürdeki Yeri .....	27
4.3 Yakın Fay Etkisinin Elde Edilmesi .....	27
<b>5. ÖRNEK ÇALIŞMA 1: İVAZPAŞA CAMİİ .....</b>	<b>35</b>
5.1 İvazpaşa Camii'nin Tarihçesi ve Mimari Özellikleri .....	35
5.2 Manisa'nın Jeolojik Yapısı ve Depremselliği .....	38
5.3 Yapının Sonlu Elemanlar Modeli ve Analiz Aşamaları .....	40
5.4 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler .....	44
<b>6. ÖRNEK ÇALIŞMA 2: KOYUNBABA KÖPRÜSÜ .....</b>	<b>49</b>
6.1 Koyunbaba Köprüsü'nün Tarihçesi ve Mimari Özellikleri .....	49
6.2 Çorum'un Jeolojik Yapısı ve Depremselliği .....	51
6.3 Yapının Sonlu Elemanlar Modeli ve Analiz Aşamaları .....	53
6.4 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler .....	54
<b>7. ÖRNEK ÇALIŞMA 3: VALPRED APTMANI.....</b>	<b>59</b>
7.1 Valpreda Apartmanı'nın Tarihçesi ve Mimari Özellikleri .....	59
7.2 İstanbul'un Depremselliği .....	61
7.3 Yapının Sonlu Elemanlar Modeli ve Analiz Aşamaları .....	62
7.4 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler .....	65
<b>8. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>71</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>73</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>75</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>115</b>

## **KISALTMALAR**

<b>AFAD</b>	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
<b>BİMTAŞ</b>	: Boğaziçi İnşaat Müşavirlik A.Ş.
<b>İBB</b>	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
<b>KRDAE</b>	: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
<b>MTA</b>	: Maden Tetkik Arama
<b>JICA</b>	: Japan International Cooperation Agency
<b>PGA</b>	: Peak Ground Acceleration
<b>UBC</b>	: Uniform Building Code
<b>UNESCO</b>	: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
<b>USGS</b>	: United States Geological Survey



## SEMBOLLER

$N_v$	: Hız Faktörü
$N_a$	: İvme Faktörü
$t$	: Zaman
$u, v$	: Yer Değiştirme Vektörü Bileşenleri
$w$	: Açısal Hız
$T_p$	: Deprem Baskın Periyodu
$V_p$	: Hız Genliği
$\omega$	: Açısal Frekans
$\phi$	: Faz açısı





## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1 :</b> Taş türleri.....	5
<b>Tablo 2.2 :</b> Taşların mekanik özellikleri .....	8
<b>Tablo 2.2 :</b> Tuğlanın mekanik özellikleri.....	9
<b>Tablo 4.1 :</b> UBC-1997'ye göre sismik kaynak türleri.....	26
<b>Tablo 4.2 :</b> İvme faktörü (Na) sayısal değerleri.....	26
<b>Tablo 4.3 :</b> Hız faktörü (Nv) sayısal değerleri.....	27
<b>Tablo 4.4 :</b> Deprem kayıtlarının genel özellikleri .....	28
<b>Tablo 5.1 :</b> İvazpaşa Camii modlara göre periyod değerleri (sn).....	44
<b>Tablo 5.2 :</b> İvazpaşa Camii modlara göre kütle katılım oranları.....	44
<b>Tablo 5.3 :</b> İvazpaşa Camii 5 ayrı deprem kaydına ait normal fay ve yakın fay etkisindeki min. ve maks. değerleri .....	46
<b>Tablo 6.1 :</b> Koyunbaba Köprüsü modlara göre periyod değerleri (sn) .....	54
<b>Tablo 6.2 :</b> Koyunbaba Köprüsü modlara göre kütle katılım oranları.....	55
<b>Tablo 6.3 :</b> Koyunbaba Köprüsü 5 ayrı deprem kaydına ait normal fay ve yakın fay etkisindeki min. ve maks. değerleri .....	56
<b>Tablo 7.1 :</b> Valpreda Apartmanı modlara göre periyod değerleri (sn).....	65
<b>Tablo 7.2 :</b> Valpreda Apartmanı modlara göre kütle katılım oranları.....	65
<b>Tablo 7.3 :</b> Valpreda Apartmanı 5 ayrı deprem kaydına ait normal fay ve yakın fay etkisindeki min. ve maks. değerleri .....	67



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Volkanik taşlardan yapılan anı harabeleri.....	6
Şekil 2.2 : Kuvarsit taşından yapılmış sütun .....	7
Şekil 2.3 : Mermer sütun .....	7
Şekil 2.4 : Tuğla duvar.....	9
Şekil 2.5 : Tuğlanın gerilme-şekildeğiştine grafiği. ....	9
Şekil 2.6 : Duvarda harç örneği .....	10
Şekil 2.7 : Tarihi ahşap yapı örneği (Sivas-Gürün Konakları) .....	11
Şekil 2.8 : Pantheon. ....	12
Şekil 2.9 : Kubbede oluşan basınç ve çekme bölgeleri. ....	12
Şekil 2.10 : Kemer çeşitleri. ....	13
Şekil 2.11 : Tonoz çeşitleri. ....	13
Şekil 2.12 : Ahşap döşeme türleri.....	14
Şekil 2.13 : Yığma duvar türleri. ....	15
Şekil 2.14 : Yığma yapılarda temel türleri. ....	15
Şekil 2.15 : Yığma duvarda yatay ve düşey yükler altındaki şekil değiştirme.....	16
Şekil 2.16 : Yığma yapı malzemelerde gerilme-şekildeğiştirme grafiği. ....	17
Şekil 2.17 : Yığma duvarlarda hasar türleri.....	18
Şekil 2.18 : Payanda örneği .....	18
Şekil 2.19 : Tarihi yapılarda izolatör görevi gören örneği (a) Diyarbakır Ayaklı Minare (b) Sultanahmet'te bulunan Dikilitaş.....	19
Şekil 3.1 : Depremin oluşumu. ....	21
Şekil 3.2 : Türkiye'nin güncel deprem haritası. ....	22
Şekil 3.3 : Kuzey Anadolu fay hattı ile California San Andreas fayı.....	23
Şekil 3.4 : Ege Bölgesi fay haritası.....	23
Şekil 3.5 : Doğu Anadolu Bölgesi fay haritası. ....	24
Şekil 3.6 : Türkiye ve çevresindeki fayların hareket yönleri.....	24
Şekil 4.1 : Sıçrama ve doğrultu titreşimlerinin şematik gösterimi. ....	25
Şekil 4.2 : 1992 Erzincan Tip Cn darbe titreşimlerine ait grafikler.....	29
Şekil 4.3 : 1999 Düzce Tip Cn darbe titreşimlerine ait grafikler .....	29
Şekil 4.4 : 1999 Kocaeli Tip Cn darbe titreşimlerine ait grafikler .....	30
Şekil 4.5 : 1995 Kobe Tip Cn darbe titreşimlerine ait grafikler .....	30
Şekil 4.6 : 1994 Northridge Tip Cn darbe titreşimlerine ait grafikler ..	31
Şekil 4.7 : 1992 Erzincan deprem kaydı, darbe titreşimi ve yakın fay etkili deprem kaydı.....	31
Şekil 4.8 : 1999 Kocaeli deprem kaydı, darbe titreşimi ve yakın fay etkili deprem kaydı .....	32
Şekil 4.9 : 1999 Düzce deprem kaydı, darbe titreşimi ve yakın fay etkili deprem kaydı. .....	32
Şekil 4.10 : 1995 Kobe deprem kaydı, darbe titreşimi ve yakın fay etkili deprem kaydı. .....	33

<b>Şekil 4.11</b> : 1994 Northridge deprem kaydı, darbe titreşimi ve yakın fay etkili deprem kaydı.....	33
<b>Şekil 5.1</b> : İvaz Paşa camii planı .....	36
<b>Şekil 5.2</b> : İvaz Paşa Camii uydu görüntüleri .....	37
<b>Şekil 5.3</b> : İvaz Paşa Camii planı iç ve dış görünümü .....	38
<b>Şekil 5.4</b> : Manisa ve çevresine ait fay haritası.....	39
<b>Şekil 5.5</b> : İvaz Paşa Camii faya olan uzaklığı .....	40
<b>Şekil 5.6</b> : İvaz Paşa Camii modelleme aşamaları ve çeşitli açılardan görünüşü .....	42
<b>Şekil 5.7</b> : Manisa Merkez’de yapılan sondaj çalışmaları ve İvazpaşa Camii..... yanından alınan 16 no.lu sondaj.....	42
<b>Şekil 5.8</b> : İvaz Paşa Camii’nin bulunduğu konuma ait PGA değerlerinin..... bulunması ve elastik tasarım spektrumları.....	43
<b>Şekil 5.9</b> : Erzincan deprem kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.....	43
<b>Şekil 5.10</b> : İvaz Paşa Camii normal fay ve yakın fay etkili X yönündeki (a) ve Y yönündeki (b) yerdeğiştirme grafikleri .....	45
<b>Şekil 6.1</b> : Koyunbaba Köprüsü .....	49
<b>Şekil 6.2</b> : Koyunbaba Köprüsü’ne ait kitabe ve koyunbaba heykeli .....	50
<b>Şekil 6.3</b> : Koyunbaba Köprüsü’nün coğrafi konumu ve uydu görüntüleri .....	50
<b>Şekil 6.4</b> : Koyunbaba Köprüsü’nün rölövesi ve kemer detayları .....	51
<b>Şekil 6.5</b> : Koyunbaba Köprüsü’nde yapılan restorasyon çalışmaları .....	51
<b>Şekil 6.6</b> : Çorum ve çevresine ait fay haritası .....	52
<b>Şekil 6.7</b> : Koyunbaba Köprüsü’nün faya olan uzaklığı .....	52
<b>Şekil 6.8</b> : Koyunbaba Köprüsü’nün sonlu elemanlar modeli .....	53
<b>Şekil 6.9</b> : Koyunbaba Köprüsü’nün bulunduğu konuma ait PGA değerlerinin bulunması ve elastik tasarım spektrumları.....	53
<b>Şekil 6.10</b> : Erzincan deprem kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.....	54
<b>Şekil 6.11</b> : Koyunbaba Köprüsü normal fay ve yakın fay etkili X yönündeki (a) ve Y yönündeki (b) yerdeğiştirme grafikleri.. ..	56
<b>Şekil 7.1</b> : Valpreda Apartmanı’nın Coğrafi Konumu ve Uydu Görüntüsü .....	59
<b>Şekil 7.2</b> : Valpreda Apartmanı’na Ait Fotoğraflar .....	59
<b>Şekil 7.3</b> : Valpreda Apartmanı’na Ait Kat Planı ve Rölöve Çalışmaları .....	60
<b>Şekil 7.4</b> : Valpreda Apartmanı’nın Faya Olan Uzaklığı.....	61
<b>Şekil 7.5</b> : Marmara Bölgesinde son yüzyılda meydana gelmiş büyük depremler....	62
<b>Şekil 7.6</b> : Valpreda Apartmanı’na ait sonlu elemanlar modeli.....	63
<b>Şekil 7.7</b> : İstanbul Deprem Master Planı’na ait İstanbul zemin sınıfı haritası .....	63
<b>Şekil 7.8</b> : Valpreda Apartmanı’nın bulunduğu konuma ait PGA değerlerinin bulunması ve elastik tasarım spektrumları.....	64
<b>Şekil 7.9</b> : Erzincan deprem kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.....	64
<b>Şekil 7.10</b> : Valpreda Apartmanı normal fay ve yakın fay etkili X yönündeki (a) ve Y yönündeki (b) yerdeğiştirme grafikleri .....	66

# TARİHİ YIĞMA YAPILARIN YAKIN FAY ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

## ÖZET

Geçmiş ile gelecek arasında köprü vazifesi gören tarihi yapılar detaylı bir şekilde analiz edilmelidir. Malzeme ve yapısal özellikleri, zemin yapısı gibi etmenlerin yanı sıra deprem kaynağına olan uzaklığı da önem arz etmektedir. Çünkü son yıllarda meydana gelen depremler göstermiştir ki fay hattına yakın olan yapıların faya uzak olan yapılara göre daha fazla deprem enerjisine maruz kaldıkları görülmüştür.

Bu çalışmanın ilk bölümünde tarihi yapıların önemi ile giriş yapılmış, deprem hareketi ve depremin yığma yapılar üzerindeki etkisinden bahsedilmiş, ardından yakın fay kavramı açıklanarak tezin amacı ortaya konulmuştur.

İkinci bölümde tarihi yapıyı oluşturan malzemeleri ve taşıyıcı elemanların özellikleri hakkında bilgi verilmiş, tarihi yapıların yapısal özellikleri ve dış yükler altında nasıl davrandığı üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde depremin oluşma mekanizması şekiller ile gösterilmiş, fay türlerinden kısaca bahsedilerek Türkiye'nin depremselliği konusuna geçilmiştir.

Dördüncü bölümde yakın fay etkisi irdelenmiş, yakın fay etkisinin literatürdeki yeri ve uygulaması hakkında bilgi verilmiştir. Beş ayrı deprem kaydı seçilerek bu kayıtların yakın fay etkisi bindirilmiş halleri ile arasındaki farklar grafikler ile gösterilmiştir.

Beşinci bölümde Manisa'da bulunan İvazpaşa Camii'nin deprem kaynağına yakın olması nedeniyle olası bir depremde nasıl etkileneceği incelenmiştir. Bilgisayar ortamında sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş, beş ayrı deprem kaydı etkililmiş, ardından yakın fay etkili deprem kaydı etkililerek meydana gelen kuvvet ve deplasman değerleri karşılaştırılmıştır.

Altıncı bölümde Çorum'da Kızılırmak nehri üzerine kurulu Koyunbaba Köprüsü incelenmiştir. Kuzey Anadolu Fay Hattı'na 15 km uzaklıktaki köprünün faya yakın olması sebebiyle olası bir depremde meydana gelecek hasarlar üzerinde durulmuştur.

Yedinci bölümde ise İstanbul Kadıköy'de bulunan İstanbul'un ilk apartmanlarından biri olan Valpreda Apartmanı incelenmiştir. Marmara fay hattına yaklaşık 15 km uzaklıkta bulunan ve taşıyıcı sistemi yığma olan 8 katlı binanın sahip olduğu özellikler nedeniyle yakın fay etkisinde nasıl davranış göstereceği sayısal yöntemlerle hesaplanmıştır.

Sekizinci bölümde farklı mimari özelliklere sahip tarihi yığma camii, köprü ve binanın normal deprem kaydı ile yakın fay etkisi bindirilmiş deprem kayıtlarının etkililmesi sonucu elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yakın fay etkisinin tarihi yapıları ne şekilde etkileyeceği konusunda yorum yapılmış ve gelecekte yapılacak olan onarım ve güçlendirme çalışmalarına ışık tutması hedeflenmiştir.



# **ASSESSMENT OF RESPONSE OF HISTORICAL MASONRY STRUCTURES UNDER EFFECT OF NEAR-FAULT**

## **SUMMARY**

Historical buildings that are subject to bridges between the past and the future should be analyzed in detail. In addition to factors such as material and structural characteristics, soil type, the distance to the source of the earthquake is also important. Because recent earthquakes have shown that the structures close to the fault line are subjected to more energy than those far from the fault..

In the first part of this study, the introduction of historical structures was introduced, the effect of earthquake motion and earthquake on the stacking structures was mentioned and then the concept of near fault was explained and the aim of the thesis was explained. References, figures and tables must not be given in Summary.

In the second part, information about the historical building materials and the characteristics of the structural elements are given, and the structural features of historical buildings and how they behave under external loads are emphasized.

In the third part, formation mechanism of the earthquake is indicated by figures, it has switched to briefly mentioning the issue of Turkey's seismicity of the fault type.

In the fourth part, the near-fault effect is examined, and the location and application of the near-fault effect in the literature are given. Five different earthquake records were selected and the differences between these records and the near-fault conditions of the records are shown in graphs.

In the the fifth part, it is examined how a possible earthquake will affect the Ivazpaşa Mosque in Manisa because it is close to the source of the earthquake. In the computer, a finite element model was created; five seismic recordings were affected, followed by a near-fault effective earthquake recording.

In the sixth part, the Koyunbaba Bridge built on Kızılırmak River in Çorum was examined. The damage caused by a possible earthquake has been emphasized since the bridge at the distance of 15 km from the North Anatolian Fault Zone is close to the fault.

In the seventh part, the Valpreda Apartment, one of the first apartments of Istanbul, located in Kadikoy, Istanbul, was examined. It has been analyzed how the building, which is located about 15 km away from the Marmara fault system and which has a multi-storey masonry building, will exhibit its behavior under near-fault effects.

In the eighth part, compared the results of the normal earthquake records and near-fault-effect earthquake records affected on the historical masonry mosque, bridge and building which have different architectural features and the near-fault effect on the historical buildings were interpreted and it is targeted to enlighten on the future restoration and strengthening studies.





# 1. GİRİŞ

## 1.1 Tarihi Yapıların Önemi

Tarihi yapılar; barınma, ulaşım, ibadet vb. amaçlar için zamanının koşullarında kısıtlı imkanlar ile inşa edilmiş ve günümüze kadar ayakta kalmayı başarabilmiş anıtsal nitelikteki yapılardır. Başta deprem olmak üzere sel, toprak kayması gibi doğal afetlere maruz kalan; rüzgar, sıcaklık değişimleri gibi mekanik etkiler ile oksidasyon, hidrasyon gibi kimyasal etkiler altında yıpranan tarihi yapıların korunmaya ihtiyacı olduğu bilinen bir gerçektir.

İnsanlığın hafızasında önemli bir yer teşkil eden tarihi yapıların korunarak gelecek kuşaklara güvenilir bir biçimde aktarılması gerektiği yadsınamaz. Günümüzde teknolojik gelişmeler ve ekonomik imkanlargöz önüne alındığında tarihi yapıların korunmasının teknik olarak çok zor olmadığı düşünölmekle birlikte, konuya hassasiyetle yaklaşılması büyük önem arz etmektedir.

1931 yılında Atina Tüzüğü ile 1964 yılında Venedik Tüzüğü'nün hazırlanması ile birlikte yasal düzenlemeler getirilerek tarihi yapıların korunması konusunun hukuki zemine oturtulması sağlanmış, 1972 yılında UNESCO (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization) tarafından düzenlenen "Dünya Kültürel ve Doğal Mirasın Korunmasına Dair Sözleşme" ile insanlığın ortak mirası olan yapıların korunması konusunda bütün dünya ölkelerine sorumluluk getirilmiştir. Ülkemiz yukarıda anılan sözleşmeleri imzalayarak uluslararası alanda kültürel varlıkların korunmasında gayret göstereceğini kabul etmiş ve 21/07/1983 tarih ve 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu'nu çıkararak bu gayretlerini ulusal anlamda da sürdüreceğini taahhüt etmiştir.

Kültürel mirasın korunması için çıkarılan kanunlar ya da imzalanan antlaşmalar yeterli olmayıp, bu konuda yetişmiş insanlara da büyük ihtiyaç duyulmaktadır. Şehir planları oluşturulurken tarihi yapıların varlığının temel esas alınması, tarihi yapıların korunması için bilimsel çalışmaların teşvik edilmesi gelişmiş toplum olmanın bir gereğidir.

Tarihi yapıların korunması arkeoloji, sanat tarihi, mimarlık ve inşaat mühendisliği gibi farklı disiplinlerin ilgi alanında kalmakta olup, inşaat mühendislerini ilgilendiren konu ise tarihi yapıların aslına sadık kalınması koşuluyla onarım ve güçlendirme gibi müdahaleler ile yapının ömrünün uzatılmasına katkı sağlamaktır. Onarım ve güçlendirme çalışmalarının yapılmasından önce yapı teknik açıdan çok iyi analizi edilmelidir. Malzeme ve taşıyıcı eleman özelliklerinin belirlenmesinden sonra yapının dış yükler altındaki davranışı tetkik edilmelidir. Deprem, rüzgar, sıcaklık ve zemin hareketleri bir yapıya etkiyen dış etkenlerde yapıları en çok etkileyen hiç kuşkusuz depremdir.

## **1.2 Deprem Hareketi ve Yığma Yapılara Etkisi**

Yerkürenin merkezindeki mağma tabakasında sıcaklık ve basınç değişiklikleri yerkabuğunu oluşturan plakaları etkilenmektedir. Bu basınç belli bir seviyeye ulaştığında plakalar mevcut durumunu koruyamaz duruma gelir ve hareket ederek deprem denilen sarsıntılar oluşur. Başta yapılar olmak üzere tabiatı ve insanları en çok etkileyen doğal afetlerin başında kuşkusuz deprem gelmektedir.

Dünyada yılda ortalama 500.000 deprem olmakta, bunların ancak 100.000 kadarı hissedilebilmektedir. Deprem mühendislerini ilgilendiren ise güçlü yer sarsıntılarıdır. 19. yy sonlarından itibaren yapı malzemesi olarak taş ve tuğlanın yerini beton ve çelik almaya başlamış, deprem hareketinin karakteristik yapısı ve yapılara etkisi araştırılarak depreme dayanıklı yapı tasarımı üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Deprem dinamik bir yük olduğu için zamana bağlı olarak değişmekte ve yapıyı büyük enerjiler tüketmeye mecbur bırakmaktadır. Bu nedenle günümüz yapı tekniğinde deprem enerjisini tüketmek için süneklik düzeyi yüksek yapılar inşa edilmekte, bu da sünek malzemelerle mümkün olabilmektedir.

Ancak yığma yapıların ana malzemesi olan taş ve tuğlanın gevrek malzemeler olması nedeniyle deprem kuvvetine karşı sünek davranış gösterememektedir. Tarihi yığma yapılarda taşıyıcı unsur olan duvarların özellikle kalın kesitli ve ağır olmasına özen gösterilerek yatay deprem yük vektörünün yönünün duvar ağırlık yük vektörü ile düşeye yönlendirme amaçlanmıştır [1].

### **1.3 Yakın Fay Tanımı**

Depremler oluşurken plakaların zayıf olduğu noktalarda fay denilen kırılmalar meydana gelmektedir. Fay hatlarının olduğu bölgelerde deprem dalgaları yeryüzüne ulaşarak yapıları sarsmaya başlamaktadır. Depremin kaynağı olan fayların yapıya uzak ya da yakın olması yapılar için oldukça önemlidir. Deprem dalgaları yeryüzüne doğru ilerledikçe enerjileri azalmaktadır. Faya uzak olan noktalardaki deprem sarsıntısı ile yakın olan noktalardaki sarsıntıların birbirinden farklı olması doğal bir durumdur.

1994 yılında meydana gelen Northridge depreminden sonra araştırmacılar fay kaynağına yakın olan yapıların faya uzak olan yapılara göre oldukça farklı bir etkiye maruz kaldıklarını gözlemlemiştir. Faya yakın istasyonlardan elde edilen ivmeölçerlerden elde edilen bulgular hız ve yerdeğiştirme spektrumlarının faya uzak noktalardakinden oldukça farklı olduğu anlaşılmış ve yakın fay etkisi hakkında daha yoğun araştırmalar yapılmaya başlanmıştır.

Yakın fay etkisindeki yapıların farklı karakterdeki deprem kuvvetine maruz kalması yapı tasarımında farklı bir açıdan bakılmasına neden olmuştur. Aynı durum mevcut yapılar için de geçerli olup, onarım ve güçlendirme konularında da araştırmacıları önlem almaya mecbur bırakmıştır.

### **1.4 Amaç**

Asırlar boyunca birçok medeniyete ev sahipliği yapmış, tarihi yapı bakımından oldukça zengin olan Türkiye aynı zamanda büyük bir deprem kuşağında yer almaktadır. Ülkemizin büyük bir kısmı aktif fay hatlarının etkisinde kalması, yakın fay etkisinin tarihi yapılar üzerindeki etkilerinin araştırılmasını zorunlu kılmaktadır. Tezin amacı tarihi yapıların deprem kaynağına yakın olmasından dolayı bundan nasıl etkileneceğini analiz etmek, olası hasar durumlarını belirleyerek güçlendirme çalışmalarına katkı sağlamaktır.



## 2. TARİHİ YAPILARIN GENEL ÖZELLİKLERİ

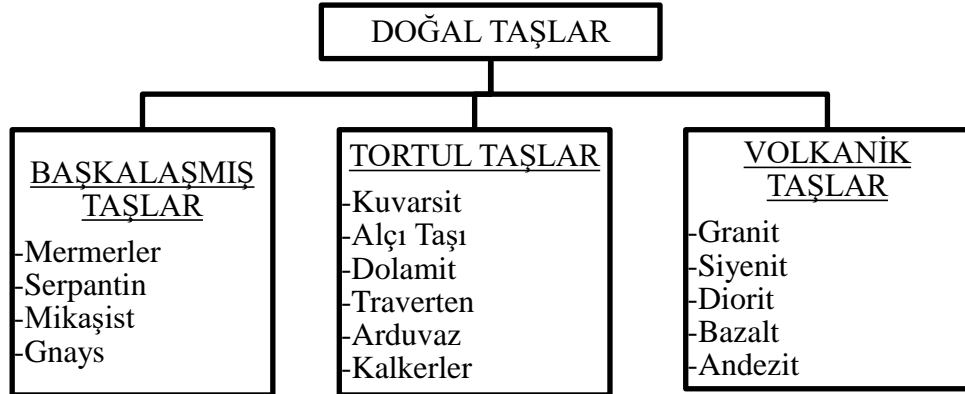
### 2.1 Yapı Malzemesi Özellikleri

Yapının dış yükler altındaki davranışının belirlenmesinde kullanılan yapı malzemesinin türü büyük önem taşımaktadır. Tarihi yığma yapılarda en çok kullanılan malzeme taş, tuğla, harç ve ahşaptır. Bu malzemelerin yapısal özelliklerinin öğrenilmesi tarihi yapıların değerlendirilmesi için elzemdir.

#### 2.1.1 Taş

Doğada elde edilmesi en kolay ve bilinen en eski yapı malzemesi taştır. Taşın basınç mukameti yüksek olmasının yanı sıra, çekme mukavemeti düşük olan bir yapı malzemesidir. Bu nedenle tarihi yapılar inşa edilirken taşın bu özelliği göz önüne alınmıştır. Doğal taşlar volkanik taşlar, tortul taşlar ve başkalaşmış taşlar olmak üzere üç gruba ayrılır (Tablo 2.1).

**Tablo 2.1 : Taş türleri.**



#### 2.1.1.1 Volkanik taşlar

Mağma kökenli olan bu taşlar erimiş haldeki mağmanın yüzeye yakın yerlerde soğuyarak katılaşması ile oluşmuştur. Mağmatik kayaların yapıları ince ve kaba kristalli olabilir. Volkanik taşların en çok bilinen ve yapılarda en çok kullanılan türleri granit, andezit ve bazalttır (Şekil 2.1).

Granitler genellikle %60 oranında potasyum feldspat, %30 kuvarz ve mika minerallerinden oluşur. Granit sert ve dayanıklı olup, yoğunlukları  $2600\sim 2800\text{ kg/m}^3$ , basınç dayanımları ise  $1600\sim 2400\text{ kg/cm}^2$ dir. Volkanik dağlarda bulunan andezitler ise çok az kuvars içerir ve kesme taş halinde kullanılır. Bazaltların renkleri koyu gri ve siyahtır. Çok sert ve ağır olmaları nedeniyle temellerde, köprü ve yol gibi yapılarda tercih edilir.



Şekil 2.1 : Volkanik taşlardan yapılan Ani Harabeleri.

### 2.1.1.2 Tortul taşlar

Doğada bulunan taşların zamanla mekanik etkilerle ufalanmaları ve sonradan birbirleriyle karışarak tabii bir bağlayıcı ile yeniden katılaşması sonucu oluşan taşlardır. Bu taşlar minerallerin değişik yollarla taşınarak bir yerde çökmesi sonucu meydana gelmişlerdir. En çok bilinen türleri kuvarsit, kalker, alçı taşı ve travertendir (Şekil 2.2).

Kalkerin yapı taşı kalsiyum karbonattır ( $\text{CaCO}_3$ ). Saf kalkerin özgül ağırlığı  $2700\text{ kg/m}^3$  olup, işlenmesi oldukça kolay bir taş türüdür. Travertenler yüksek sıcaklığa sahip olan kalsiyum bikarbonatlı mağmanın yer yüzüne çıkışı sırasında oluşur. Büyük gözeneklere sahiptir ve genellikle dış mekanlarda kaplama amacıyla kullanılır. Silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) minarellerinden oluşan kuvars taşının özgül ağırlığı  $2,65\text{ g/cm}^3$ , sertlik derecesi ise 7'dir.



**Şekil 2.2 :** Kuvarsit taşından yapılmış sütun.

### **2.1.1.3 Başkalaşmış taşlar**

Volkanik ve tortul kayaçların sıcaklık, basınç ve kimyasal etkilerin altında kalması sonucu oluşan taş türüdür. En bilinen türü mermer ve serpantindir.

Mermerler %95 kalsit, az miktarda silis, silikat ve demir oksit gibi minerallerden oluşur. Orta sertliğe sahip mermerin yapılarda kullanımı oldukça yaygındır. Kesme ve işleme zorlukları olan serpantinin aşınma direnci yüksek, yoğun ve serttir. Genellikle sütunlarda ve kemerlerde kullanılır (Şekil 2.3).



**Şekil 2.3 :** Mermer sütun.

Taş malzemenin mukavemetinin boyutlarını anlamak için bazı bilgiler verilmiştir. Mesela ortalama sağlamlıktaki bir kum taşından 2 km yüksekliğinde bir sütun yapılabilirken, bir granit sütun da ezilmeden 10 km boyunca inşa edilebilir [2]. Tablo 2.2’de bazı taşların mekanik özellikleri verilmiştir.

**Tablo 2.2 :** Taşların mekanik özellikleri [3].

Taş Türü	Özgül Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (GPa)	Kayma Mukavemeti (MPa)	Basınç Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)
Mermer	2,70	30-70	10-45	25-60	2-15
Serpantin	2,70-2,80	25-45	2-10	7-28	6-11
Kuarsit	2,70	15-55	3-10	10-30	3-4
Kalker	2,70	15-45	3-11	5-30	2-5
Granit	2,70	30-55	15-35	30-70	4-7
Andezit	2,60-2,80	20-50	5-25	10-35	3-8

Yapılarda taşlar şekillerine göre moloz taş, kaba yontu taş, ince yontu taş ve kesme taş olarak adlandırılır. İşlenmemiş taşlara moloz taş denilirken, bir yüzeyi pürüzlendirilen taşlara kaba yontu taş, en fazla üç yüzeyi pürüzlendirilen taşlara ince yontu taş ve altı düzgün kesilerek düzeltilmiş, kalınlıkları 8-10 cm arası olan taşlara da kesme taş denilmektedir.

### 2.1.2 Tuğla

Tuğla; killi toprak ve suyun belli oralarda karıştırılması aşamasından sonra yaklaşık 800-1000 °C arasındaki sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde edilen, bünyesinde feldspat ve kuvars barındıran bir yapı malzemesidir (Şekil 2.4). İnsanoğlu tarafından ilk üretilen yapı malzemesi olması bakımından önemlidir. İlk olarak Babiller zamanında kullanıldığı bilinmektedir. Eski zamanlarda tuğla elde etmek için insanlar dere yataklarında akarsuların taşıdığı ince kum taşlarını kullanırlardı. Fırında pişirme imkanı olmadığında güneşin altında kurumaya bırakılırdı.





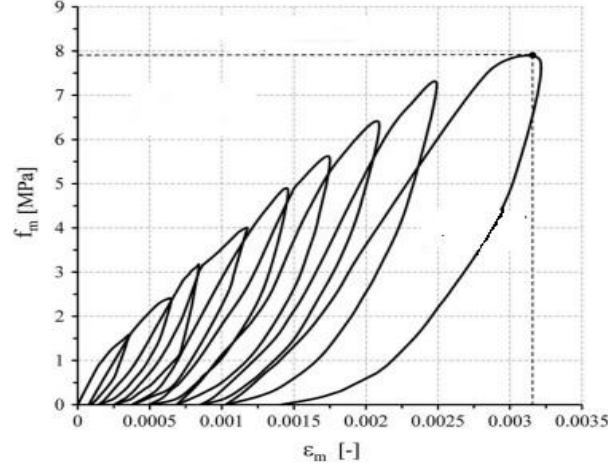
**Şekil 2.4 : Tuğla duvar**

Tuğlaların basınç dayanımı 10 Mpa ile 30 Mpa arasında değişmektedir. Tuğlaya ait basınç, çekme ve kayma dayanımına ait bilgiler Tablo 2.3’de verilmiştir.

**Tablo 2.3 : Tuğlanın mekanik özellikleri.**

Basınç Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Kayma Dayanımı (Mpa)
10-30	2.7	10-25

Tuğla; elastisite modülü yüksek bir malzeme olmamasının yanı sıra tekrarlı yüklemeler altında mukavemeti de azalmaktadır (Şekil 2.5). Tuğla da tıpkı taş gibi basınç mukavemeti yüksek olup çekme mukavemeti oldukça düşüktür.



**Şekil 2.5 :** Tuğlanın gerilme-şekil değiştirme grafiği [4].

### 2.1.3 Harç

Harç; taş ya da tuğla gibi yapı malzemelerini birbirine bağlayıcı özelliği olan, kireç, kil, taş ve tuğla tozlarının su ile karıştırılmasıyla elde edilen malzemedir (Şekil 2.6). Geçmiş dönemlerde mukavemeti artırmak için yumurta akı, saman, bitki lifleri gibi katkı maddelerinin kullanıldığı bilinmektedir. Harçlar taş ve tuğla gibi taşıyıcı özellikteki malzemeleri bağlayarak yapının bir bütün olarak çalışmasını sağlar. Ayrıca dış ortam koşullarının yapıyı etkilemesini de engeller.



**Şekil 2.6 :** Duvarda harç örneği.

İlk harç malzemesi olarak çamur kullanılmış, daha sonra kil toprağı ve kirecin kullanımıyla harcın mukavemetinin arttığı anlaşılmıştır. İnce agrega ile pişirilmiş tuğlanın öğütülerek harca katılmasıyla horasan harcı elde edilmiştir. Yapılan araştırmalar horasan harcının diğer harçlara göre basınç ve çekme mukavemetinin daha fazla olduğunu göstermiştir. Ayasofya Camii, Süleymaniye Camii gibi eserlerde

horasan harcı kullanıldığı bilinmektedir. Horasan harcının suya karşı dayanıklı olması nedeniyle özellikle hamam ve su kemerleri gibi yapılarda kullanılmıştır [3].

Harcın mekanik özellikleri içeriğindeki karışımların oranına büyük ölçüde bağlıdır. Yapılan deneylerde harcın basınç mukavemetinin yaklaşık 5 Mpa olarak saptanmıştır [4].

#### 2.1.4 Ahşap

Dış ortam koşullarına taş ya da tuğla kadar dayanıklı olmayan ahşap, bir yapı malzemesi olarak tarihi yapılarda ana taşıyıcı unsur olmaktan ziyade genellikle hatıl ya da döşeme elemanı olarak kullanılmıştır. Ahşabın basınç ve çekme mukavemeti iyi olduğundan geniş açıklıkları geçmek amacıyla döşemelerde tercih edilmiştir. Ahşabın rahat işlenebilme özelliği olmasından dolayı konak gibi estetik kaygı gözetilen yapılarda daha çok tercih edilmiştir (Şekil 2.7).



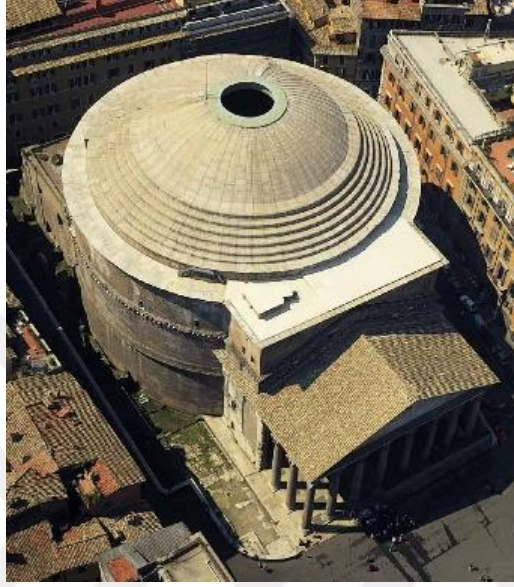
Şekil 2.7 : Tarihi ahşap yapı örneği (Sivas-Gürün Konakları).

#### 2.2 Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Tarihi yapılar yığma (kagir) yapılar sınıfına girmektedir. Yığma yapılarda ana taşıyıcılar duvarlardır. İbadet yapılarda mekanı örtme amaçlı olarak genellikle kubbe tercih edilmiş, kubbeler dev sütunlara veya payandalarla desteklenen duvarlara taşınmıştır. Mimari görselliği ön planda tutmak amacıyla kemerler ve tonozlar yük aktarılması sağlanmıştır. Döşemelerde ahşap kullanılmış, temellerde ise basınç dayanımı iyi olan taşlar tercih edilmiştir.

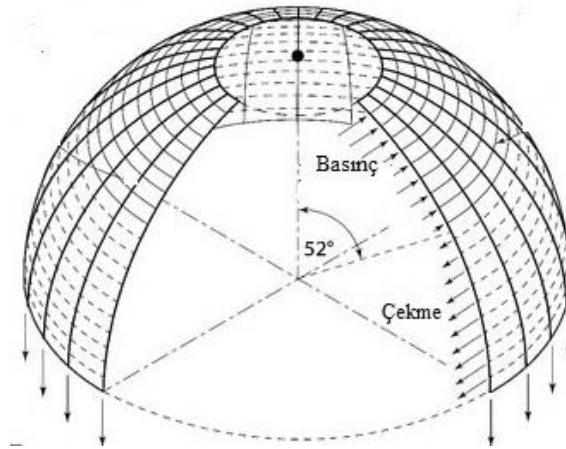
### 2.2.1 Kubbe

Yapıların üzerini örtmek amacıyla, bir kemerin simetri eksenini etrafında 360 derece döndürülmesiyle oluşan yarım küre şeklindeki yapıya kubbe denir. Dünya’da ilk kubbe Romalılar döneminde M.S. 126 yılında Pantheon adlı yapıda inşa edilmiştir (Şekil 2.8). M.S.537 yılında Ayasofya’nın inşası ile kubbe tasarımı zirve yapmıştır.



Şekil 2.8 : Pantheon.

Kubbede yük aktarımı incelendiğinde üst kısımlarında basınç kuvvetlerinin oluştuğu, alt kısımlarında ise çekme kuvvetlerinin oluştuğunu görebiliriz (Şekil 2.9). Yığma yapılardaki malzemeler çekme mukavemeti bakımında düşük olduğu için kubbenin alt kısımlarındaki çekme bölgesinde yatay yükü karşılamak amacıyla payandalar veya gergi çubuklarıyla desteklenme ihtiyacı doğmuştur.

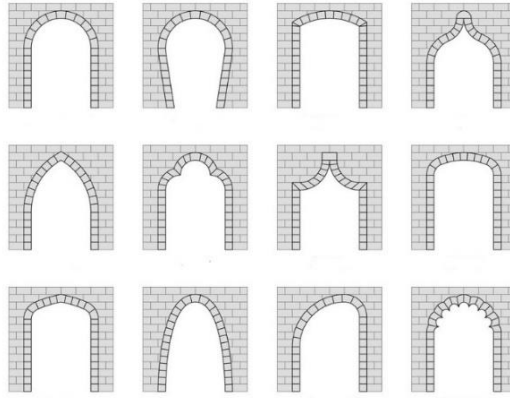


Şekil 2.9 : Kubbede oluşan basınç ve çekme bölgeleri.

### 2.2.2 Kemer ve tonoz

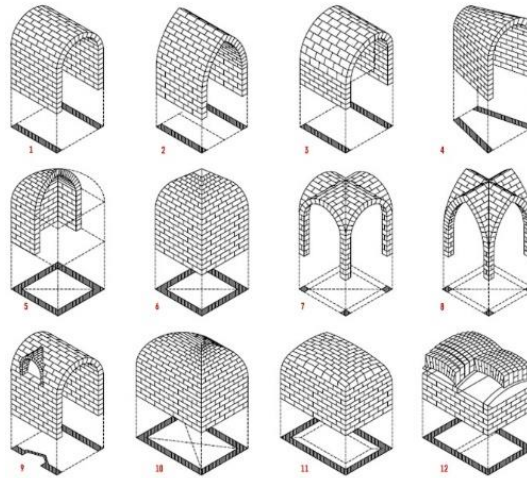
Tarihi yapılarda açıklıkları geçmek için kullanılan kemerler eğri eksenli kiriş olarak adlandırılabilir. Mimari formları ile kullanıldıkları mekanlara estetik katarlar (Şekil 2.10). Kemerler çekme mukavemeti almayacak ve basınç gerilmelerini rahatlıkla karşılayacak şekilde tasarlanırlar.

Kemerlerin tasarımı statik dengesini bağlaması bakımından önemlidir. Kemerlerin ayak açıklığı arttıkça mesnetlere gelen yük de artar. Mesnetlerde meydana gelebilecek bir çökme kemerin tamamen göçmesine yol açar.



Şekil 2.10 : Kemer çeşitleri.

Tonozlar ise kemerin aralıksız devam etmesiyle oluşan taşıyıcı elemanlardır (Şekil 2.11). Dikdörtgen planlı yapıların kapalı bir hacim meydana getirmek amacıyla kullanılırlar.

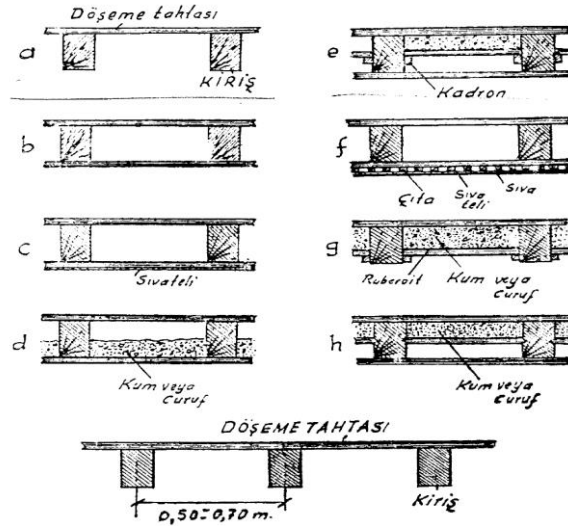


Şekil 2.11 : Tonoz çeşitleri.

Tonozların çalışma prensibi kemerler ile aynıdır. Tonoz açıklığı arttıkça mesnetlere gelen yatay kuvvet de artmaktadır. Yatay kuvveti karşılamak için payandalar ile destek alınmalı veya gergi çubuklar ile çekme kuvveti alınmalıdır.

### 2.2.3 Döşeme

Döşemeler; mekanların üzerini örtmek ve üzerindeki işleve uygun zemin oluşturan, yatay ve düşey yükleri taşıyıcı duvar ya da sütunlara ileten taşıyıcı elemanlardır (Şekil 2.12). Tarihi yapılarda kullanılan taş, ahşap gibi malzemeler çekme mukavemeti düşük olduğundan geniş açıklıklı döşemeler yapılamamıştır. Döşemelerde genel olarak ahşap malzeme tercih edilmiştir. Ahşap döşemeler genellikle ahşap kirişlerin tek doğrultuda yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur.

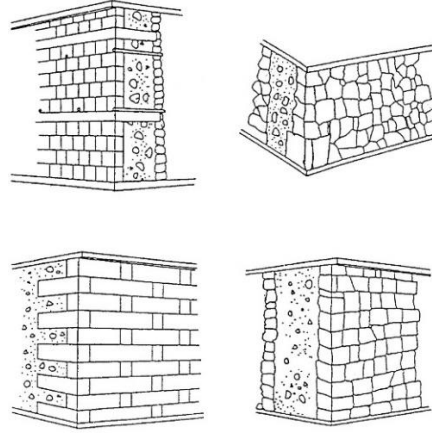


Şekil 2.12 : Ahşap döşeme türleri.

### 2.2.4 Duvar

Yığma yapılarda duvarlar esas taşıyıcı unsur oldukları için önemlidir. Tarihi yığma yapıların ayakta durabilmesi için duvarların sağlam olması esastır, çünkü hem düşey yükleri hem deprem gibi yatay yükleri duvarlar karşılamaktadır. Duvar malzemesi olarak genelde yapının ilk katlarında taş duvar, sonraki katlarda tuğla tercih edilmiştir (Şekil 2.13).

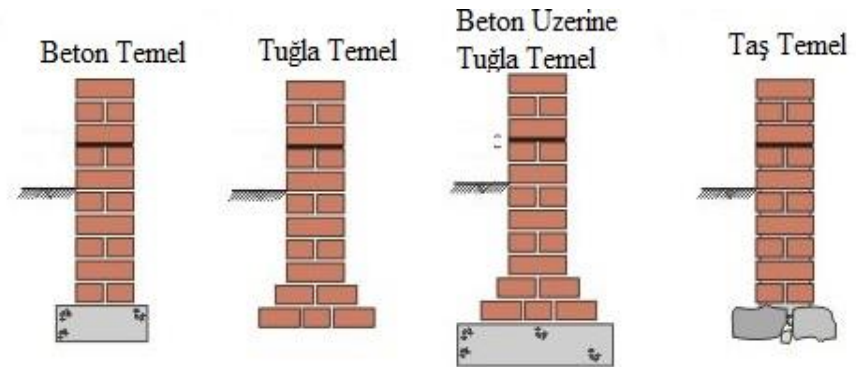
Mekanların aydınlatılması için açılan pencereler taşıyıcı olan duvarların yük taşıma kapasitesini ciddi ölçüde azaltmaktadır. Bu sorunu aşmak için lento, hatıl veya kemerler kullanılmıştır [5].



**Şekil 2.13 : Yığma duvar türleri.**

### 2.2.5 Temel

Bütün yapı türlerinde olduğu gibi tarihi yığma yapılarda da düşey ve yatay yükler temeller vasıtasıyla zemine aktarılır (Şekil 2.14). Zeminin yapısına bağla olarak temeller derin ve yüzeysel olarak tasarlanmışlardır. Sağlam zeminlerde fazla derinlere inilmesine gerek kalmadığından yüzeysel temeller ile yetinilmiş, zayıf zeminlerde ise sağlam tabakaya inilinceye kadar temel kazısı yapılarak derin temeller yapılmıştır. Nuruosmaniye Camii'nin temelleri sağlam zeminin çok derin olması nedeniyle ahşap kazıklarla sağlam zemine aktarılmıştır.



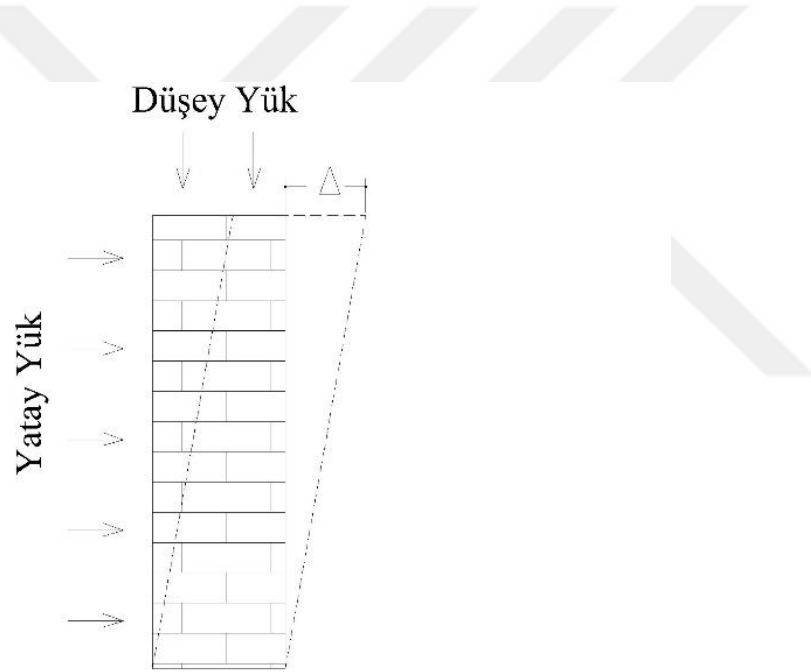
**Şekil 2.14 : Yığma yapılarda temel türleri.**

## 2.3 Yapısal Özellikleri

### 2.3.1 Dış yükler altında davranış

Yapılara etkiyen yükler temel olarak yatay ve düşey yükler olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 2.15). Düşey yükleri de sabit ve hareketli yükler olmak üzere kendi içinde ikiye ayırabiliriz. Yapının ömrü boyunca zaman bağılı değişmeyen yükler sabit yük, zaman bağılı değişen yükler de hareketli yüklerdir.

Tarihi yapılar yığma tipi yapılar oldukları için esas taşıyıcı unsurları duvarlardır ve duvarlara iletilen yükler temeller vasıtasıyla zemine aktarılır. Bu yükler etkisiyle basınç gerilmeleri oluşur. Basınç gerilmelerinin emniyet gerilmesini geçmemesi için duvar kesitlerinin büyük olmasına dikkat edilmiştir [6].



**Şekil 2.15 :** Yığma duvarda yatay ve düşey yükler altındaki şekil değişimi.

Yığma yapılarda duvarlarda büyük basınç gerilmeleri oluşur. Düşey yüklerden gelen bu basınç gerilmeleri duvarın emniyet basınç gerilme değerini geçmemesi gerekir, aksi takdirde duvar taşıma gücünü kaybederek göçmeye uğrar. Benzer şekilde yatay yüklerden meydana gelen kayma gerilmesi, duvarın kayma emniyet gerilmesinden daha az olmalıdır. Duvarlarda oluşan kayma gerilmesi kullanılan harcın türüne ve birleşim şekline de bağlıdır [7].

Kayma gerilmesinin denklemi şu şekildedir.

$$\tau = \tau_0 + f_n \mu \quad (2.1)$$



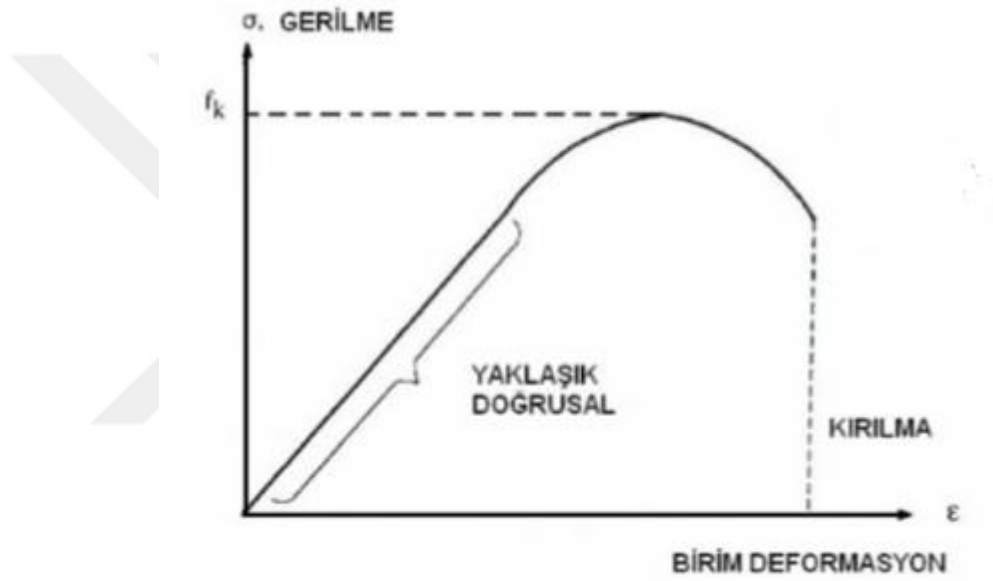
$\tau$  : Kayma dayanımı (Mpa)

$\tau_0$  : Kohezyon değeri

$\mu$  : İç sürtünme açısı

$f_n$  : Basınç dayanımını (Mpa) göstermektedir.

Yığma yapıların elastisite modüllerinin belirlenmesi için yapılan deneyler yığma yapının ana malzemeleri olan taş ve tuğlanın yük aldıkça dayanımının daha da arttığını, ancak taşıma gücünü aşan noktadan itibaren kırılmanın meydana geldiği gibi göstermiştir (Şekil 2.16).



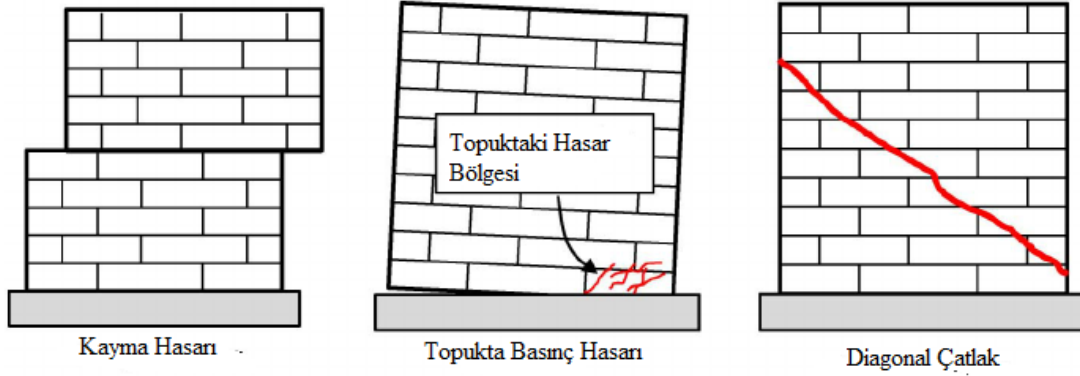
**Şekil 2.16** : Yığma yapı malzemelerde gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Yığma yapılar gevrek malzemelerden oluştuğu için çekme bölgelerinde meydana gelebilecek ani değişimlerde kırılma riski taşırlar. Kubbe, tonoz gibi kabuk yapılarında alt kısımlar çekme bölgeleri olduğundan onarım ve güçlendirme çalışmalarında buralara ayrı önem verilmektedir.

### 2.3.2 Deprem performansı

Tarihi yapılarda düşey yüklerden oluşan basınç gerilmeleriyle birlikte deprem gibi yatay yüklerden oluşan kayma gerilmeleri meydana gelmektedir. Kayma gerilmelerinin de kayma emniyet gerilmesinden küçük olması beklenir. Yığma yapılar ağır ve rijit bir yapıya sahip olmaları nedeniyle büyük deprem kuvvetinin oluşmasına sebep olurlar. Yığma yapının çekme ve basınç altındaki sünek olmayan davranışı,

yapının önemli bir plastik şekil değiştirme göstermeden ani göçmesine sebep olur [5].  
şekil 2.17’de yığma duvarlarda meydana gelen hasar türleri gösterilmiştir.



Şekil 2.17 : Yığma duvarlarda hasar türleri.

### 2.3.2 Deprem kuvvetine karşı alınan önlemler

Deprem kuvvetine karşı tarihi yapıları stabilitesini artırabilmek için payandalar ile desteklenmiştir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 : Payanda örneği.

Deprem titreşimlerini yapıya etkimesini en aza indirmek için izalatör görevini gören birtakım yapısal çözümler geliştirilmiştir. Şekil 2.19 (a)’da Diyarbakır Dört Ayaklı Minare dört adet sütun üstünde yükselmiştir. Deprem kuvveti sütunlara etkilmesi düşünülerek minarenin daha az yerdeğiştirme hareketi yapması amaçlanmıştır. Şekil

2.19 (b) de ise Sultanahmet'te bulunan Dikilitaş'ın depremden daha az etkilenmesi için dört adet taşın üzerine oturtulmuştur.



(a)



(b)

**Şekil 2.19 :** Tarihi yapılarda izolatör görevi gören örneği (a) Diyarbakır 4 Ayaklı Minare (b) Sultanahmet'te bulunan Dikilitaş.

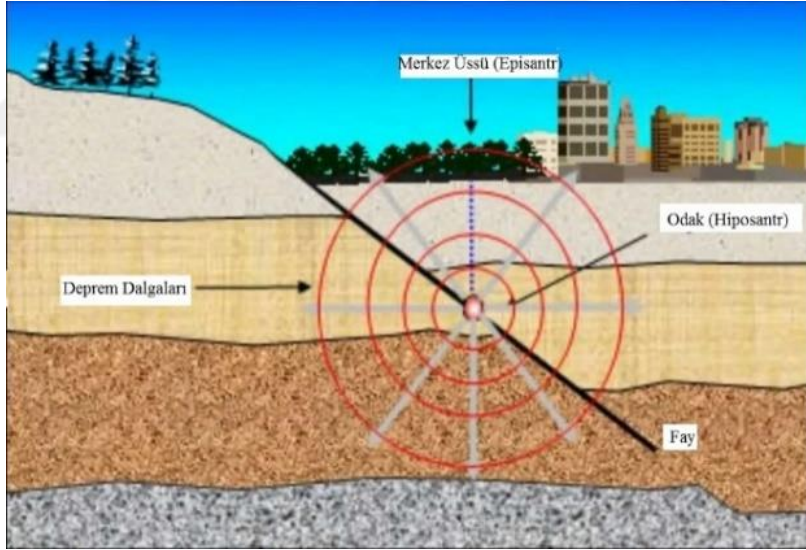


### 3. DEPREM HAREKETİ

#### 3.1 Deprem Oluşumu

Yerküreyi oluşturan plakalar hareket ettikçe üzerlerinde kuvvet birikir. Bu kuvvet yeterince büyükse yer kabuğunu kırmaya zorlar. Kırılma oluştuğunda biriken gerilmeler enerji olarak açığa çıkar. Bu enerji dalgalar halinde yayılmaya başlar. Bu olaya deprem denir.

Depremler çöküntü, volkanik ve tektonik olmak üzere üçe ayrılır. Boşlukların, mağaraların çökmesi ile oluşan küçük sarsıntılara çöküntü depremler, volkanik faaliyetler sonucu oluşan sarsıntılara volkanik, yerkabuğundaki fayların hareketi ile oluşan depremlere tektonik depremler denir.



Şekil 3.1: Deprem oluşumu.

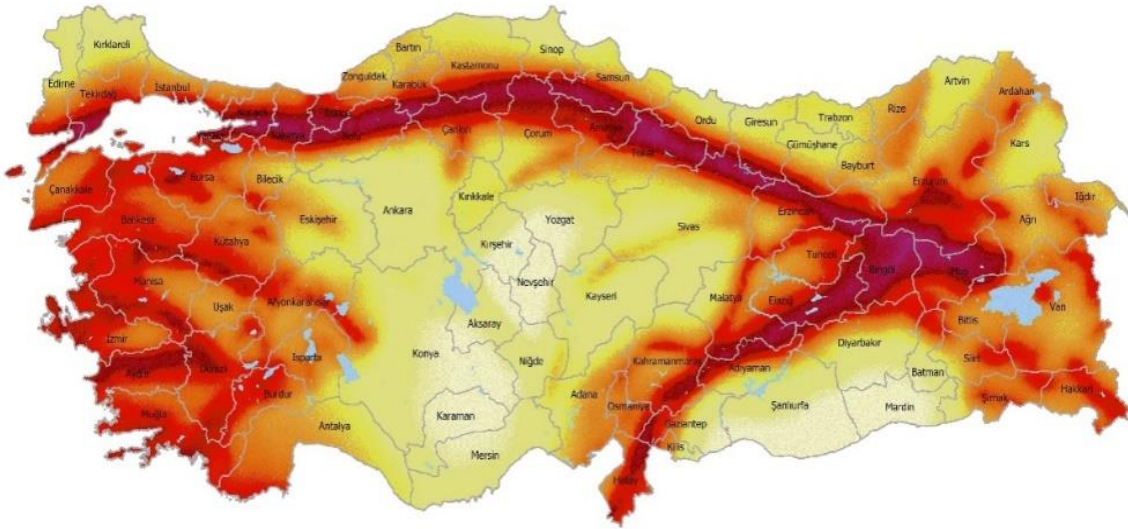
Basınç ve gerilme kuvvetleriyle blokların birbirine göre yer değiştirmesine fay (kırık), kırılmanın meydana geldiği yere odak noktası (hiposantr), kırılmanın olduğu noktanın yeryüzündeki izdüşümüne merkez üssü (episantr), kırılma sonucu oluşan dalgalara deprem dalgası denir (Şekil 3.1).

Deprem derinliğine göre ise depremler, sığ, orta ve derin deprem olarak üçe ayrılırlar. Deprem odak noktası 0-700 km arası olması durumunda sığ deprem, 70-300 km arasında olması durumunda orta deprem, 300 km'den fazla olması durumunda derin

deprem olarak anlandırılır. 5.0-5.9 büyüklüğünde yaklaşık 800, 6.0-6.9 büyüklüğünde 120, 7.0-7.9 büyüklüğünde 18, 8.0 ve üzeri büyüklüğünde 1 deprem meydana gelmektedir. Şimdiye kadar ölçülebilen en büyük deprem 22 Mayıs 1960 yılında Şili’de meydana gelen 9.5 büyüklüğündeki depremdir [6]. Türkiye’de ise ölçülen en büyük deprem 26 Aralık 1939 yılında Erzincan’da meydana gelen 7.6 büyüklüğünde olmuştur.

### 3.2 Türkiye’nin Depremselliği

Türkiye deprem aktivitesi olarak dünyanın en aktif deprem bölgelerinden birinde yer almaktadır. 20. yy’ın başından günümüze kadar meydana gelen depremlere baktığımızda Türkiye’de kaydedilen en büyük depremin 1939 yılında Erzincan’da meydana gelen 7.6 büyüklüğündeki deprem olduğunu görüyoruz. 1992 yılında 6.8 büyüklüğündeki Erzincan, 1999 yılındaki 7.4 büyüklüğünde Kocaeli ve 7.2 büyüklüğündeki Düzce depremleri de ülkemizin bir deprem ülkesi olduğu gerçeğini göstermektedir. Şekil 3.2’de Türkiye’nin güncel deprem haritası yer almaktadır.

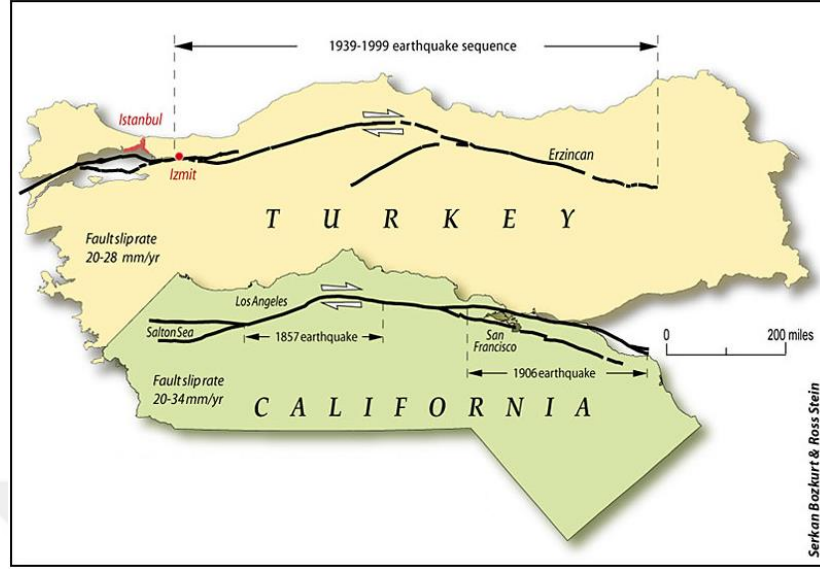


Şekil 3.2: Türkiye’nin güncel deprem haritası

#### 3.2.1 Kuzey Anadolu Fay Hattı

Kuzey Anadolu Fay Hattı dünyanın en diri faylarından biridir. Doğuda Bingöl Karlıova üçlü birleşim noktasından başlayarak Bolu’ya kadar devam eder. Bolu Mudurnu’da iki ana kola ayrılır. Kuzeydeki kol Armutlu Yarımadası’nı izleyerek Marmara Denizi’nden Saros Körfezi’ne kadar uzanır (Şekil 3.3). Güney kolu ise İznik boyunca uzanarak

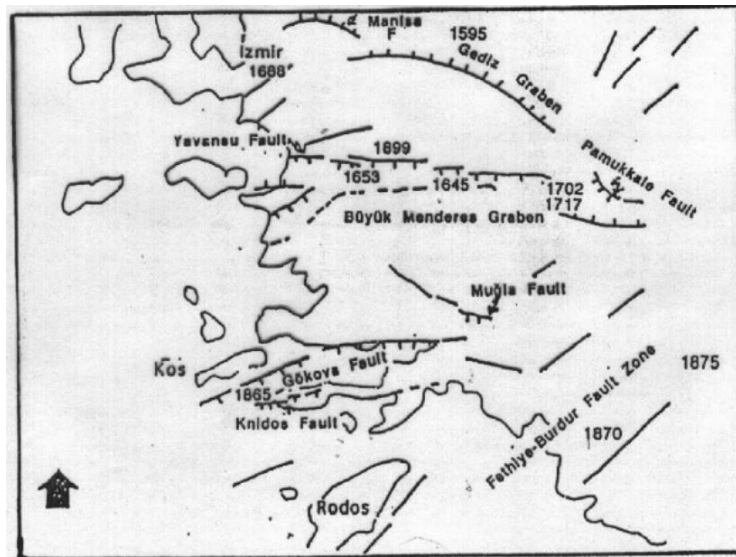
Bandırma'ya, oradan da Ege Denizine doğru devam eder. Toplam uzunluğu 1000 km olan fayın toplam atım miktarı 25 km ile 85 km arasındadır [7].



Şekil 3.3 : Kuzey Anadolu Fay Hattı ile California San Andreas Fayı.

### 3.2.2 Ege Bölgesi horst-graben sistemi

Ege Bölgesi horst-graben sistemi doğu-batı doğrultusunda normal faylar ile sınırlanmış birçok bloktan meydana gelmiştir. Ege Bölgesi'nin Edremit Körfezini içine alan kuzey kesimi, Kuzey Anadolu Fay Hattı ile Batı Anadolu çekme rejimi etkisi altındadır (Şekil 3.4). Güney kesimi ise Bakırçay grabeni ile Simav grabeni oluşturur [8].

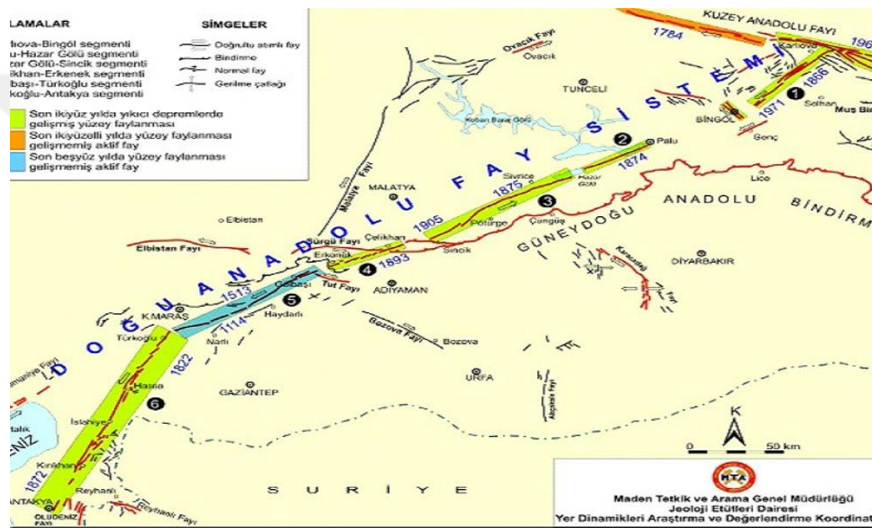


Şekil 3.4 : Ege Bölgesi fay haritası.

### 3.2.3 Doğu Anadolu Fayı

Doğu Anadolu Fayı bölgesi üç alt bölge altında incelenebilir; Kuzey Anadolu fayının doğu uzantısı olan Varto segmenti, Doğu Anadolu fayının Ermenistan'a doğru olan uzantısı ve Varto segmentine paralel ve aynı doğrultuya sahip Çaldıran fayı gibi faylar ile Ana Güncel Fayın Türkiye içerisine olan uzantısı [9].

Karlıova üçlü birleşim noktasının yakınında Kuzey Anadolu Fayı ile Doğu Anadolu fayının arasında doğrultu atımlı fay takımları bulunmaktadır (Şekil 3.5). Bu bölge içerisinde bulunan Bitlis-Zagros bindirme kuşağı Arap plakası tarafından kuzeye doğru itilmektedir (Şekil 3.6).





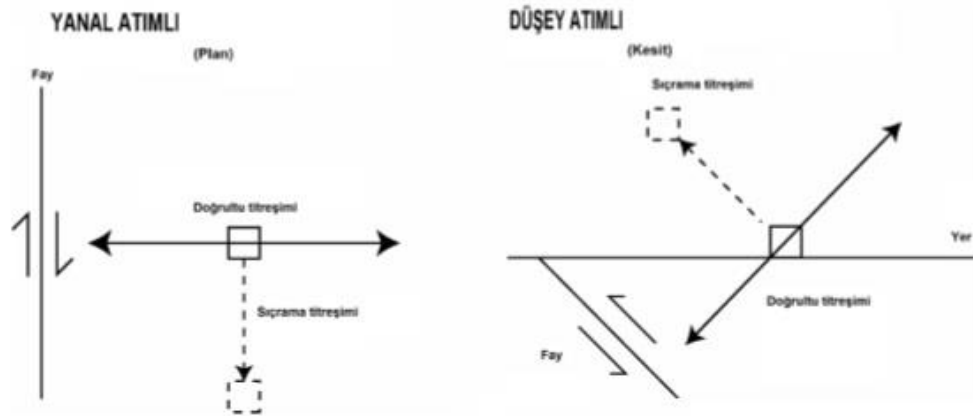
## 4. YAKIN FAY ETKİSİ

### 4.1 Yakın Fay Hareketinin Genel Özellikleri

Deprem kaynağına yakın bölgelerde meydana gelen yer hareketlerine yakın fay yer hareketi, bu hareketin yapıları üzerindeki etkisine de yakın fay etkisi olarak tanımlanır. 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinden sonra faya yaklaşık 15 km'ye kadar uzaklıkta bulunan bölgelerde bulunan yapıların diğer bölgelerde bulunan yapılara göre daha fazla hasar aldığı gözlemlenmiş ve yakın fay üzerine araştırmalar hız kazanmıştır.

Sismograflardan elde edilen kayıtlar incelendiğinde fay hattının yakınında bulunan deprem kayıtlarının fay hattına uzak olan deprem kayıtlarından oldukça farklı karaktere sahip olduğu anlaşılmıştır.

Deprem anında kırılan fay iki türlü titreşim yaratır; sıçrama titreşimi ve doğrultu titreşimi (Şekil 4.1). Faya paralel olan ve kalıcı yerdeğişirmelere neden olan titreşimler sıçrama titreşimi olarak adlandırılırken, faya dik olan ve büyük hız değişiklikleri yaratan titreşimlere de doğrultu titreşimi adı verilir [10].



Şekil 4.1 : Sıçrama ve doğrultu titreşimlerinin şematik gösterimi.

## 4.2 Yakın Fay Etkisinin Literatürdeki Yeri

Yakın fay etkisinin yer aldığı ilk yönetmelik UBC-1997 (Uniform Building Code) olmuştur. Bu yönetmelikte maksimum moment büyüklüğü ( $M_w$ ) ve kayma oranı (SR (mm/yıl)) gibi faktörlere bağlı olarak 3 tip sismik kaynak belirlenmiştir [11].

**Tablo 4.1 :** UBC-1997'ye göre sismik kaynak türleri.

Sismik Kaynak Tipi	Maksimum Moment Büyüklüğü, $M_w$	Kayma Oranı, SR (mm/yıl)
A	$M_w \geq 7.0$	$SR \geq 7.0$
B	$6.5 \leq M_w < 7.0$	$2 \leq SR < 5.0$
C	$M_w < 6.5$	$SR < 2$

Tasarım spektrumunun büyütülmesi için sismik kaynak türüne ve faya olan uzaklığa bağlı olarak ivme faktörü ( $N_a$ ) ve hız faktörü ( $N_v$ ) tanımlanmıştır.

**Tablo 4.2 :** İvme Faktörü ( $N_a$ ) sayısal değerleri.

Sismik Kaynak Tipleri	Sismik Kaynağa En Yakın Mesafe		
	$\leq 2$ km	5 km	$\geq 10$ km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.5	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

**Tablo 4.3 : Hız Faktörü (Nv) sayısal değerleri.**

Sismik Kaynak Tipleri	Sismik Kaynağa En Yakın Mesafe			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 10 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

Çizelge incelendiğinde moment büyüklüğü 7.0 ve üzeri olan ve kayma oranı 5 mm/yıl'dan büyük ve eşit olan sismik kaynak A tipi, moment büyüklüğü 6.5 ve 7 arası olan ve kayma oranı 2 mm/yıl ile 5 mm/yıl arasındak olan sismik kaynak B tipi, moment büyüklüğü 6.5'den az olan ve kayma oranı 2 mm/yıl'dan az olan kaynak tipi ise C olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 4.2 incelendiğinde A tipi sismik kaynağa olan mesafe 2 km veya daha az ise ivme faktörünün 1.5, 5 km uzaklıkta olması durumunda 1.2 ve 10 km veya daha fazla ise 1.0 olması öngörülmektedir. B tipi sismik kaynağa olan mesafe 2 km veya daha az ise ivme faktörü 1.3, 5 km veya daha fazla ise 1.0 öngörülmektedir. C tipi sismik kaynağa ise yakın fay etkisi beklenilmemektedir.

### 4.3 Yakın Fay Etkisinin Elde Edilmesi

Araştırmacılar tarafından yakın fay etkisi içeren çeşitli titreşim hareket denklemleri geliştirilmiştir. Bunlardan en bilineni Makris'in önerdiği denklemlerdir [12]. Sadece ileri doğrultulu olan Tip A tipi, ileri ve geri doğrultulu olan Tip B tipi titreşim hareketlerine ait denklemler 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.5'da gösterilmiştir.

$$a(t) = \omega_p * V_p / 2 * \sin(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (4.1)$$

$$v(t) = V_p / 2 - V_p / 2 * \cos(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (4.2)$$

$$x(t) = V_p / 2 * t - V_p / (2\omega) * \sin(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (4.3)$$

$$a(t) = \omega_p * V_p * \cos(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (4.4)$$

$$v(t) = V_p * \sin(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (4.5)$$

$$x(t) = V_p/\omega_p - V_p/\omega_p \cdot \cos(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (4.6)$$

Tip A ve Tip B titreşim hareketlerine ait ivme-zaman, hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri MATLAB programı ile oluşturulmuş ve Ek-A ile Ek-B'de yer verilmiştir [13].

Makris ve Chang, üçüncü tip basitleştirilmiş darbe titreşimi de tanımlamışlardır. Tip Cn olarak adlandırdıkları bu titreşim pozitif ve negatif yönde salınım yaptığı varsayılmıştır. Denklem 4.7, 4.8 ve 4.9'da belirtilen denklemlerde n; salınım sayısını,  $\varphi$ ; faz açısını,  $T_p$ ; depremin hakim periyodunu,  $V_p$ ; hız genliğini temsil etmektedir [14].

$$a(t) = \omega_p \cdot V_p \cdot \cos(\omega_p t + \varphi) \quad 0 \leq t \leq (n+1/2 - \varphi/n) \leq T_p \quad (4.7)$$

$$v(t) = V_p \cdot \sin(\omega_p t + \varphi) \quad 0 \leq t \leq (n+1/2 - \varphi/n) \leq T_p \quad (4.8)$$

$$x(t) = V_p/\omega_p \cdot \cos(\omega_p t + \varphi) - V_p t \cdot \sin(\varphi) + V_p/\omega_p \cdot \cos(\varphi) \quad 0 \leq t \leq (n+1/2 - \varphi/n) \leq T_p \quad (4.9)$$

Titreşim sonunda yerdeğiştirme sıfır olması gerektiği için d(t) denklemi sıfıra eşitlendiğinde aşağıdaki denklem (4.10) elde edilmektedir. Bu denklemden salınım sayısına göre faz açısı bulunabilmektedir [15].

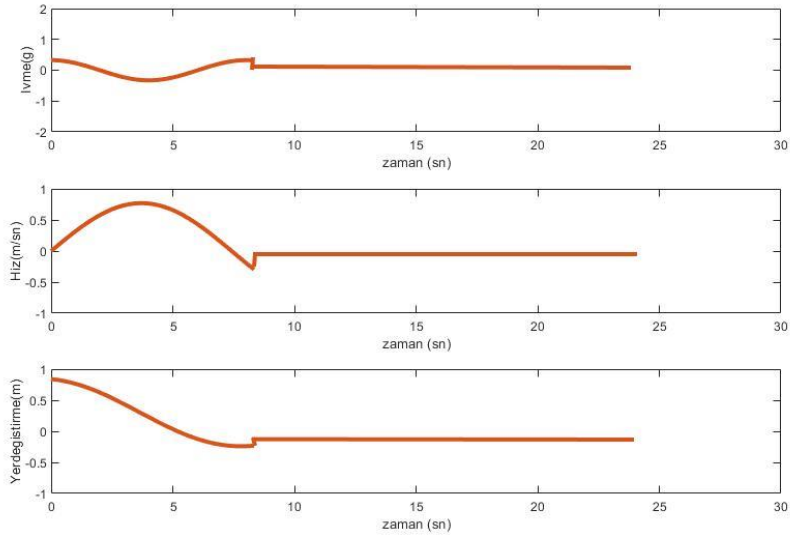
$$\cos[(2n+1)\pi + \varphi] + [(2n+1)\pi - 2\varphi] \sin \varphi - \cos \varphi = 0 \quad (4.10)$$

Bu çalışmada 1999 Düzce Depremi, 1992 Erzincan Depremi, 1995 Kobe Depremi, 1999 Kocaeli Depremi ve 1994 Northridge Depremi kayıtları kullanılmıştır. Deprem kayıtlarına ait ivme-zaman, hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri Ek-C'de, depremlerin genel özellikleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

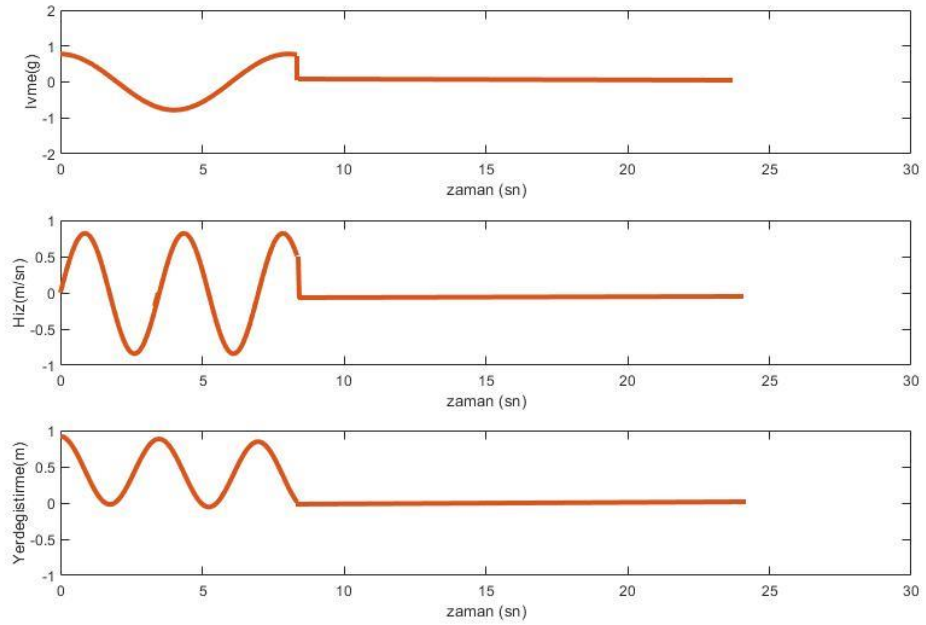
**Tablo 4.4 :** Deprem kayıtlarının genel özellikleri.

No	Deprem	Tarih	Manyitüd (Mw)	En Büyük Yer İvmesi (g)	Odak Derinliği (km)
1	Erzincan	13/03/1992	6.7	0.27	20
2	Northridge	17/01/1994	6.7	0.36	37.9
3	Kobe	16/01/1995	6.9	0.35	157.2
4	Kocaeli	17/08/1999	7.6	0.35	183.4
5	Düzce	12/11/1999	7.1	0.34	30.2

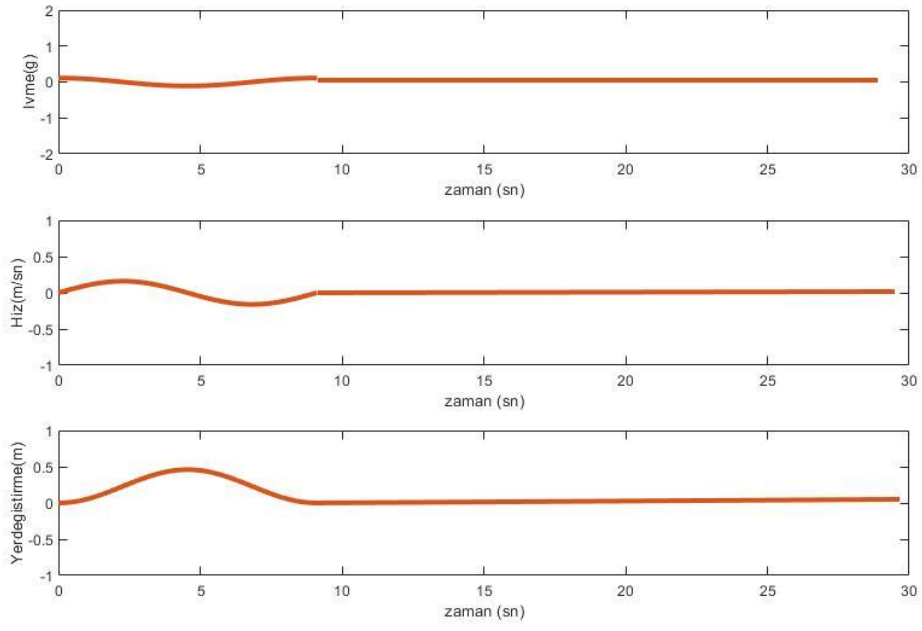
1992 Erzincan depremine ait Tip Cn darbe titreşim grafiği Şekil 4.2’de, 1999 Düzce depremine ait Tip Cn darbe titreşim grafiği Şekil 4.3’te, 1999 Kocaeli depremine ait Tip Cn darbe titreşim grafiği Şekil 4.4’de, 1995 Kobe depremine ait Tip Cn darbe titreşim grafiği Şekil 4.5’de ve 1994 Northridge depremine ait Tip Cn darbe titreşim grafiği Şekil 4.6’da yer almaktadır.



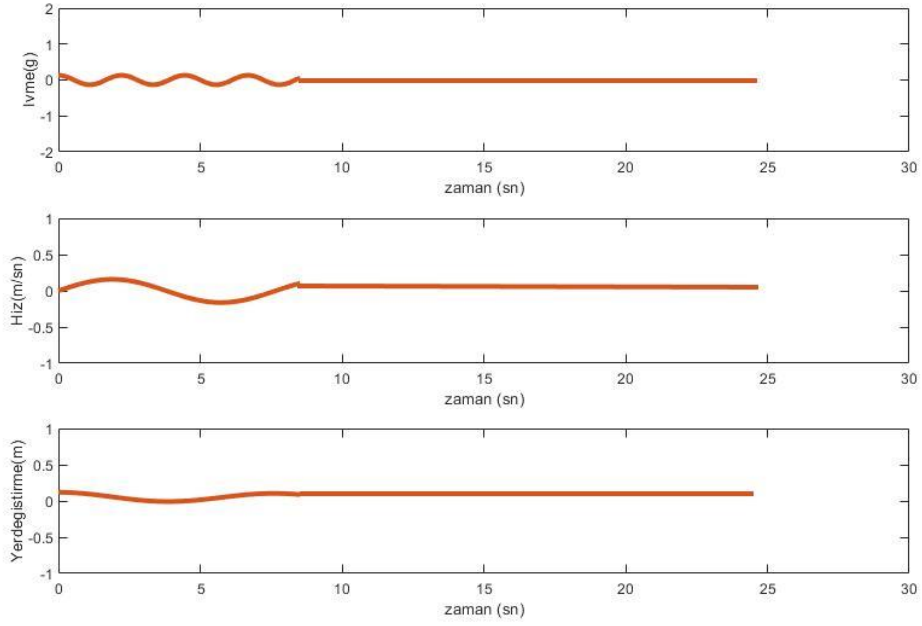
Şekil 4.2 : 1992 Erzincan depremi Tip Cn darbe titreşimlerine ait grafikler.



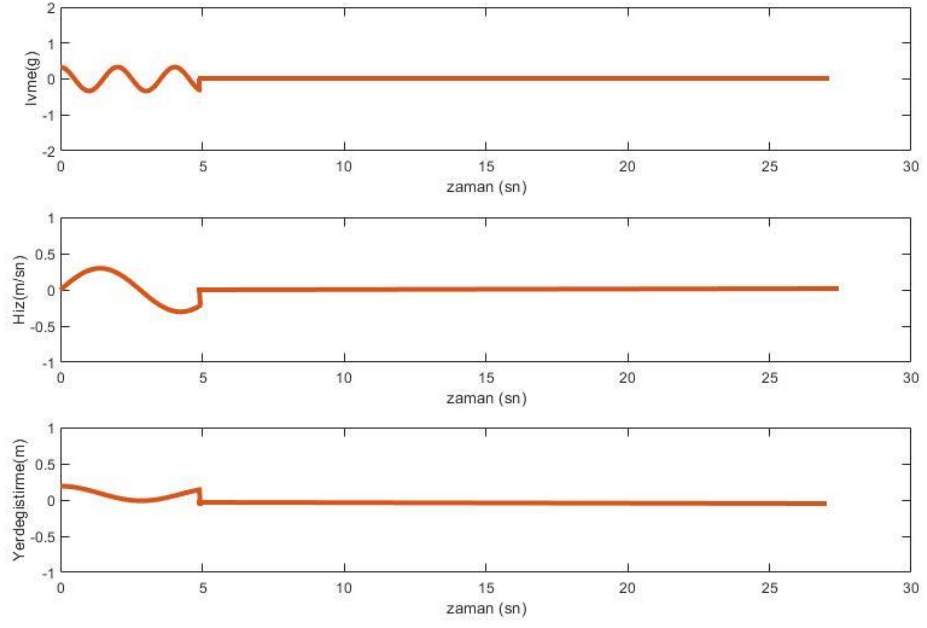
Şekil 4.3 : 1999 Düzce depremi Tip Cn darbe titreşimlerine ait grafikler.



Şekil 4.4 : 1999 Kocaeli depremi Tip Cn darbe titreşimlerine ait grafikler.

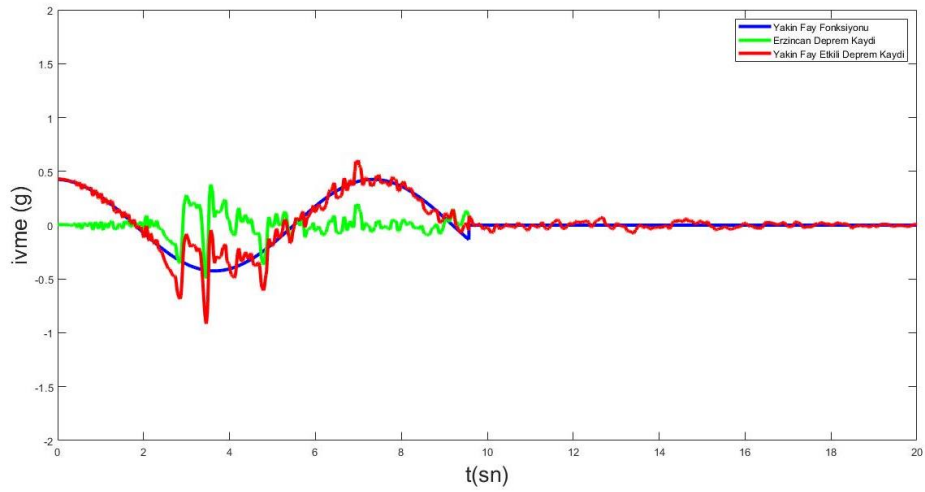


Şekil 4.5 : 1995 Kobe depremi Tip Cn darbe titreşimlerine ait grafikler.

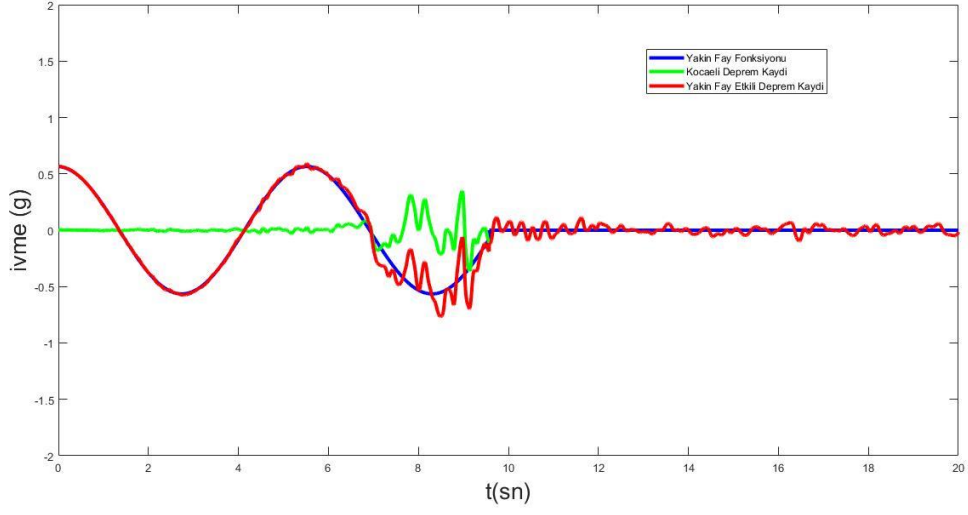


**Şekil 4.6 :** 1994 Northridge depremi Tip Cn darbe titreşimlerine ait grafikler.

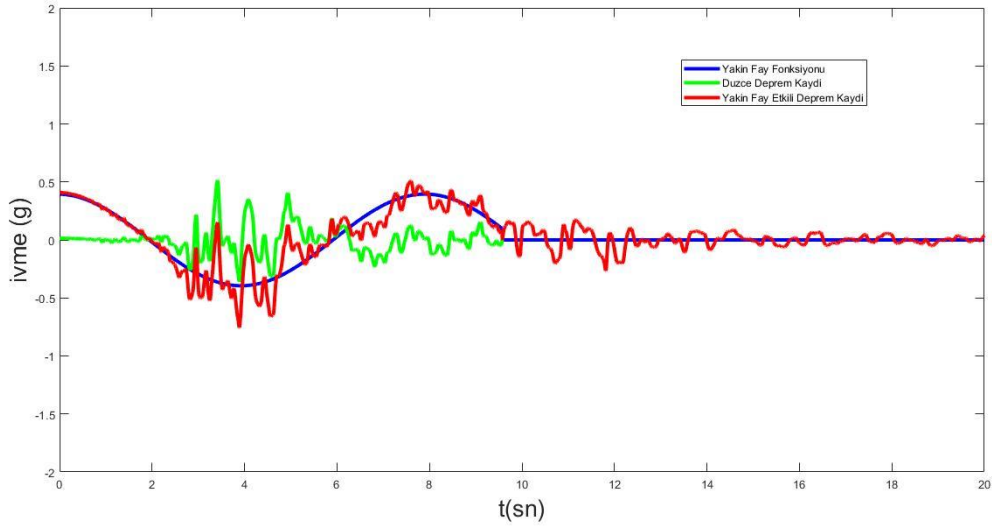
Makris tarafından önerilen Tip Cn darbe titreşimi deprem kayıtları ile üst üste bindirildiğinde yakın fay etkili deprem kaydı elde edilmektedir. 1992 Erzincan depremine ait yakın fay etkili ivme kaydı Şekil 4.7’de, 1999 Düzce depremine ait yakın fay etkili ivme kaydı Şekil 4.8’de, 1999 Kocaeli depremine ait yakın fay etkili ivme kaydı Şekil 4.9’da, 1995 Kobe depremine ait yakın fay etkili ivme kaydı şekil 4.10’da ve 1994 Northridge depremine ait yakın fay etkili ivme kaydı şekil 4.11’de yer almaktadır.



**Şekil 4.7 :** 1992 Erzincan deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili ivme kaydı.

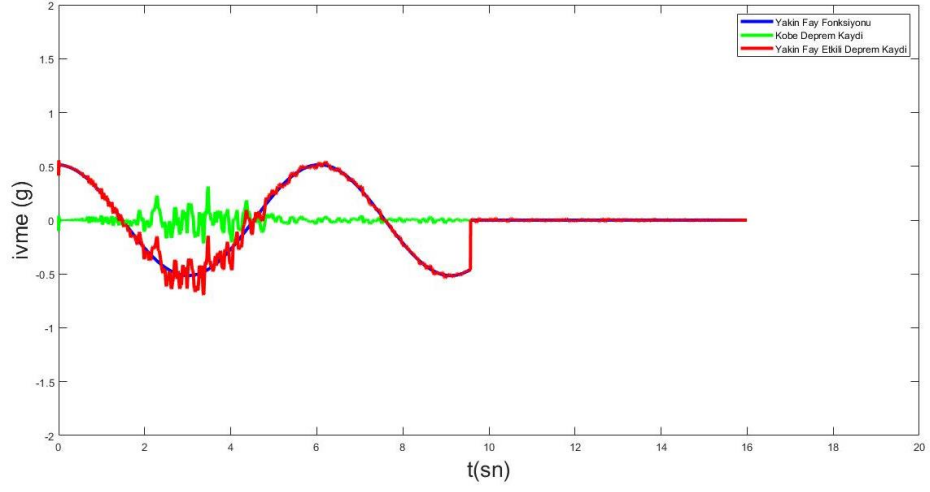


**Şekil 4.8 :** 1999 Kocaeli deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili ivme kaydı.

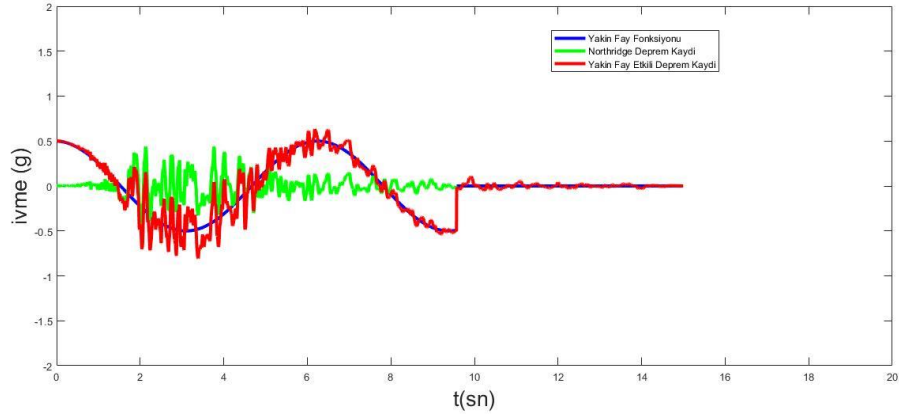


**Şekil 4.9 :** 1999 Düzce deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili ivme kaydı.





Şekil 4.10 : 1995 Kobe deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili ivme kaydı.



Şekil 4.11 : 1994 Northridge deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili ivme kaydı.



## 5. ÖRNEK ÇALIŞMA 1: İVAZ PAŞA CAMİİ

### 5.1 İvazpaşa Camii'nin Tarihçesi ve Mimari Özellikleri

Manisa'nın Mutlu Mahallesi'nde bulunan İvazpaşa Camii, Evliya Çelebi tarafından Çaybaşı Camii olarak da adlandırılan mabedi girişinde bulunan Arapça kitabesine göre İvaz bin Abdülmûîn Hicri 889 yılı Ramazan ayında (Miladi Ekim 1484) yaptırmıştır.

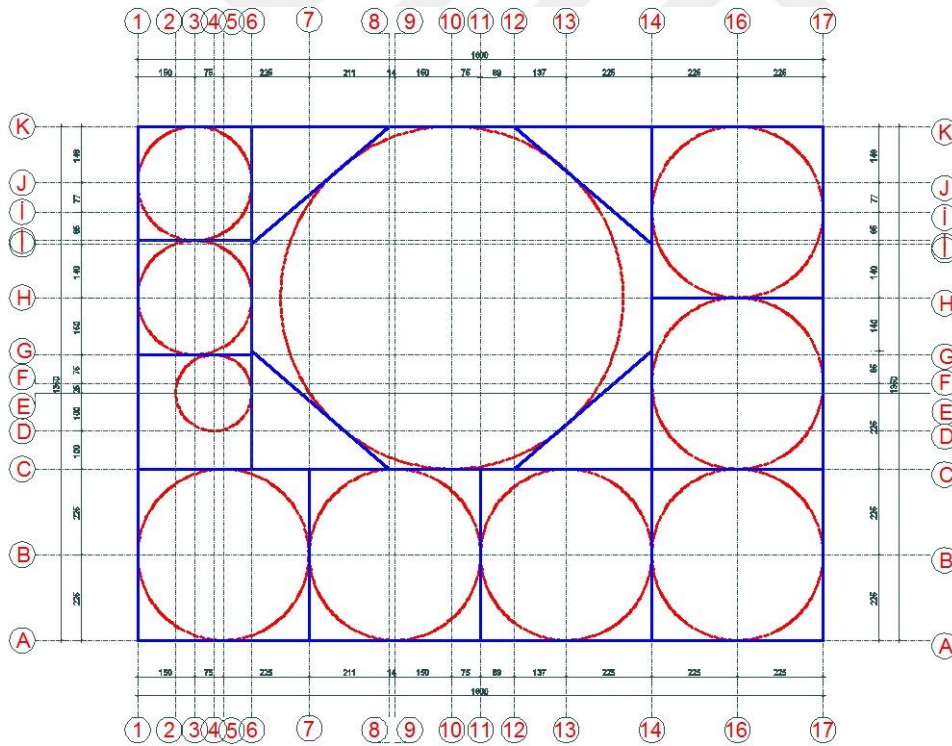
Cami, İstiklâl Savaşı'ndan sonra bir süre asker işgalinde kaldığından bakımsız duruma gelmiş ve 1940'lara doğru kullanılamaz derecede harap olmuşken 1950'li yıllarda onarılarak yenilenmiştir. İvaz Paşa Camii plan bakımından, 1438-1447 arasında yapılan Edirne'deki Üç Şerefeli Cami'nin küçük bir örneğidir. Erken dönem Osmanlı-Türk mimarisinde başka benzerleri de olan bu tip (Tokat, Hayrabolu, İstanbul, İzmir), yine Manisa'da Hicri 879'da (Miladi 1474) Sinâan bin Abdullah'ın yaptırdığı Çaşnigir, Sultan II. Bayezid'in eşi Hüsnüşah Hatun için Hicri 896'da (Miladi 1491) inşa ettirilen Hatuniye, I. Selim'in zevcesi ve Kanûnî Sultan Süleyman'ın annesi Ayşe Hafsa Sultan adına Hicri 929'da (Miladi 1523) yaptırılan sultan camilerinde de tekrarlanmıştır [18].

İvaz Paşa Camii'nde mimari bakımdan ilgi çekici değişik uygulamalarla karşılaşmaktadır. Beş bölümlü olması gereken son cemaat yeri, her biri bir kubbe ile örtülü dört bölüm halinde olup cümle kapısı yana kaydırılmış ve solda olan minare kürsüsü harimin içine alınmıştır. Minare kürsüsüyle cümle kapısı arasında son cemaat yeri mihrap nişi oyulmuştur. Caminin ana eksenine aykırı düşen bu düzenleme sol köşede daha da arttırılarak burada minare kürsüsüne bitişik iki cephesi açık türbe yapılmıştır. Ortada bir büyük kubbe, iki yanlarda birer sütunla ayrılmış çifte küçük mekânlardan oluşan harimin sol tarafı sağ tarafa daha ufaktır.

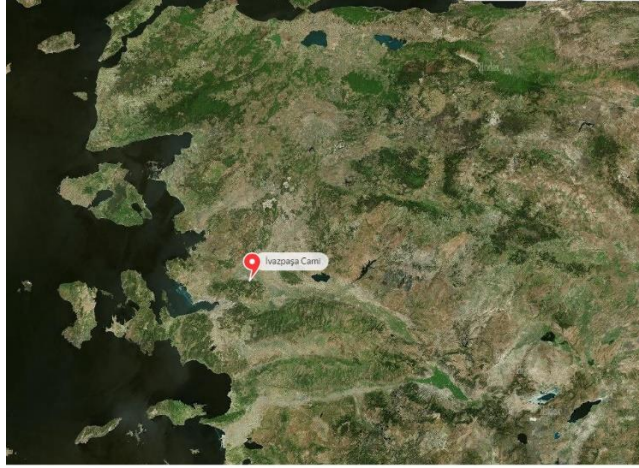
İvaz Paşa Camii, erken Osmanlı döneminde hâkim olan duvar örgüsü tekniğinde değişik ölçü ve biçimlerde kesilmiş taş ve tuğlalardan inşa edilmiştir. Taşların aralarında ayrıca dikine konulmuş tuğlalar yer alır. Sekiz köşeli ve çok yüksek kasnaklı kubbe de aynı teknikte yapılmış, her cephesinde birer pencere açılmıştır. Duvarların ve kubbe kasnağının mahyalarında iki sıra tuğla testere dişi çıkmalar vardır. Son

cemaat yerinin sivri kemerleri devşirme başlıklı mermer sütunlara oturmaktadır. Büyük bir sivri kemerin içinde bulunan yayvan kemerli cümle kapısı üstünde beş satırlık Arapça kitâbe yer almıştır. Evliya Çelebi, bu kitâbenin aşırı derecede girift oluşundan dolayı okuyup kopyasını yazamadığını bildirir.

Harimin üstü 8,20 m. çapında kubbe ile örtülüdür (Şekil 5.1). Bunun iki tarafında, birer sütuna oturan sivri kemerlerle ayrılmış küçük kubbeli mekânlar mevcut olup soldakiler daha küçük ve ayırıcı sütun da dolayısıyla sağdakiyle aynı hizada değildir. Devşirme olan bu sütunlardan sağdaki yivli bir gövdeye sahip olduğuna göre Korint nizamında bir İlkçağ yapısından getirilmiştir. Soldakinin gövdesi düzdür. Bunların başlıkları da devşirmedir. Sağdaki kesik piramit biçiminde yüzeyleri kaboşonlu bir Bizans başlığı, soldaki ise Korint üslûbunda İlkçağ'a ait bir başlıktır. Kubbeye geçişi sağlayan pandantiflerin içlerinde zengin bir mukarnas dolgu vardır. Yanlardaki küçük kubbelerin geçişleri ise daha sade, baklavalı ve üçgenlidir.



Şekil 5.1 : İvaz Paşa Camii planı.



Şekil 5.2 : İvaz Paşa Camii uydu görüntüleri





**Şekil 5.3 :** İvaz Paşa Camii iç ve dış görünümü [url-3].

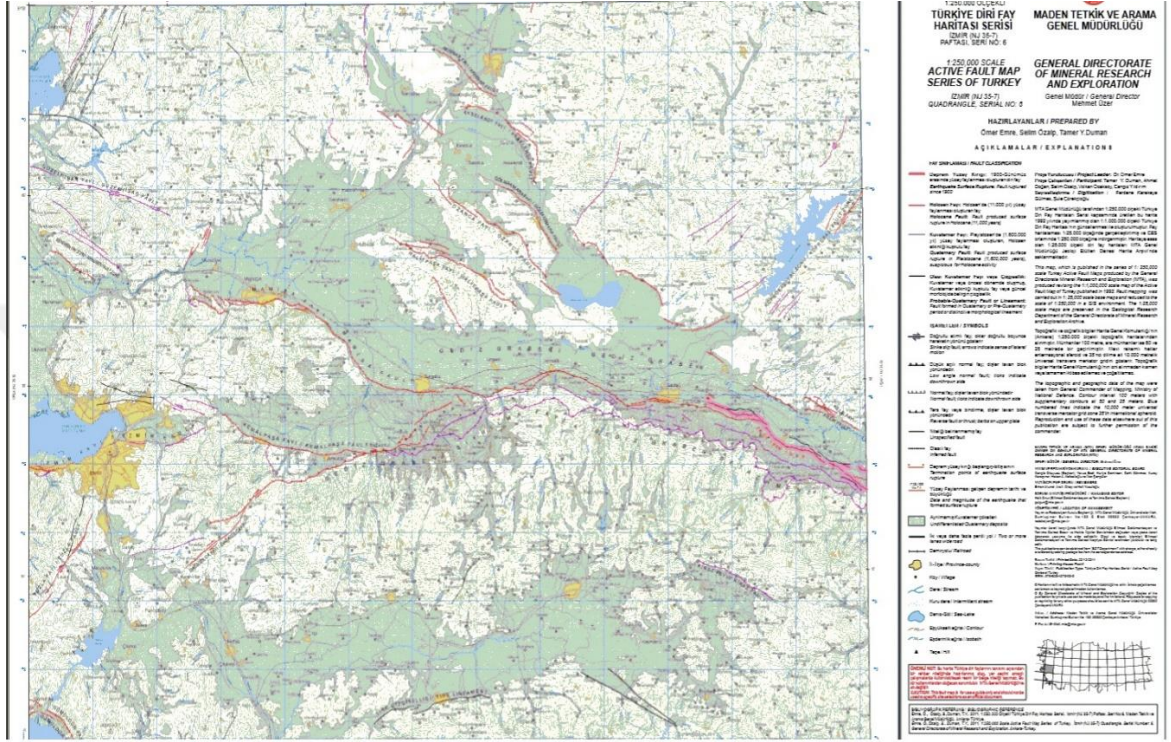
## 5.2 Manisa'nın Jeolojik Yapısı ve Depremselliği

Manisa ve çevresinde temeli paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar oluşturur. Menderes masifi olarak adlandırılan temeldeki kayalar, bir çekirdek ve bunun üzerinde bir örtüden oluşmuş iki birim olarak düşünülmektedir. Çekirdek gnaylardan oluşmuştur. Bunlar gözlü gnaylar ve mavi gözlü gnayların üzerinde şistlerden oluşmuş kalın bir örtü yer alır. Metamorfizma derecesi çekirdekten dışa doğru azalmaktadır. Metamorfik kayaların üzerine mesozoyik yaşlı kireçtaşları gelir. Mesozoyik kireçtaşlarının üzerinde uyumsuz olarak neojenin karasal çökelleri ve Kula volkanik kayalarından bazaltlar yer alır.

En üstte Gediz Nehri ve yan derelerin getirdiği kum ve çakılların alüvyonları yer almaktadır. Manisa ve çevresinde temeli paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar oluşturur. Menderes masifi olarak adlandırılan temeldeki kayalar, bir çekirdek ve bunun üzerinde bir örtüden oluşmuş iki birim olarak düşünülmektedir. Çekirdek gnaylardan oluşmuştur. Bunlar gözlü gnaylar ve mavi gözlü gnayların üzerinde şistlerden oluşmuş kalın bir örtü yer alır. Metamorfizma derecesi çekirdekten dışa doğru azalmaktadır. Metamorfik kayaların üzerine mesozoyik yaşlı kireçtaşları gelir. Mesozoyik kireçtaşlarının üzerinde uyumsuz olarak neojenin karasal çökelleri ve Kula volkanik kayalarından bazaltlar yer alır. En üstte Gediz Nehri ve yan derelerin getirdiği kum ve çakılların alüvyonları yer almaktadır [19].

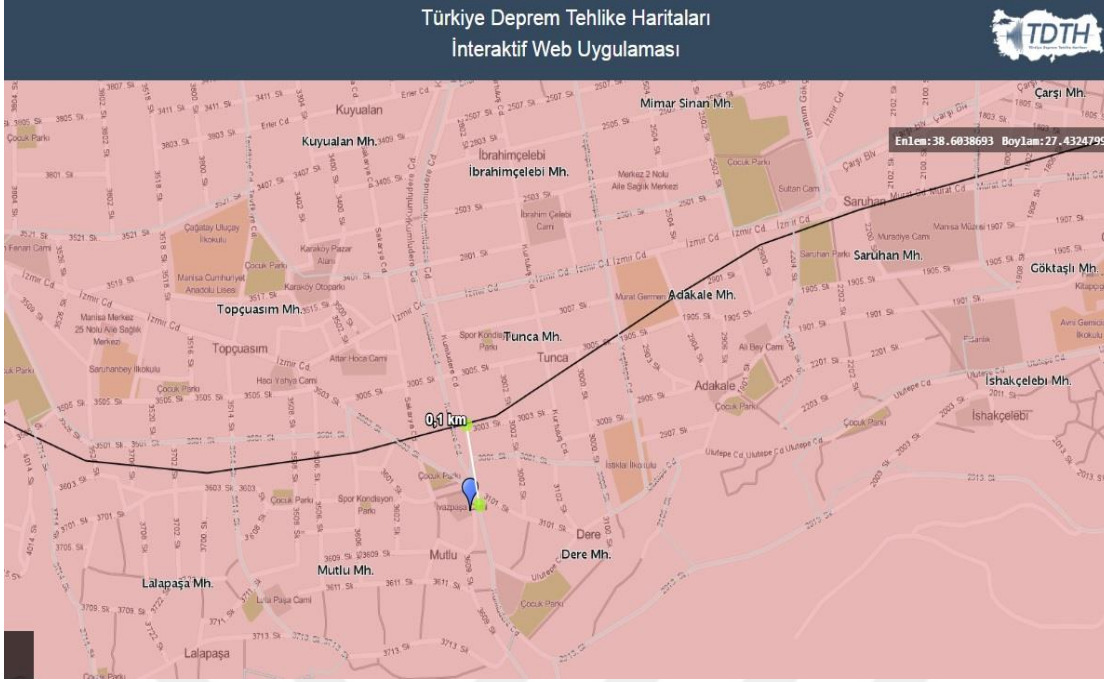
Manisa ili güneyde dik bir topografya sunan Spil dağı ile kuzeyde düzlük alanı oluşturan Manisa Ovası arasında yer almaktadır. Manisa'da bilinen en büyük fay Manisa Ovası ve Spil dağını sınırlayan faydır (Manisa Fayı). Bu fay batıda Gürle köyü ile Manisa arasında doğu-batı istikametinde; Manisa'nın doğusunda Manisa-Turgutlu

karayolu boyunca KB-GD istikametinde uzanmaktadır. Gediz grabenini oluşturan fay sisteminin devamı olan bu fay olası aktif 50 özellik taşımaktadır. Fayın güney kesiminde eğimin yüksek olmasından kaynaklanan değişik boyutta pek çok heyelan gözlenmektedir.



Şekil 5.4 : Manisa ve çevresine ait fay hattı [url-4].

AFAD Türkiye Deprem Haritaları İnteraktif Web Uygulamaları üzerinden yapılan incelemede İvazpaşa Camii'nin faya olan uzaklığı yaklaşık 100 m olduğu tespit edilmiş ve yakın fay etkisi altında kaldığı anlaşılmıştır.



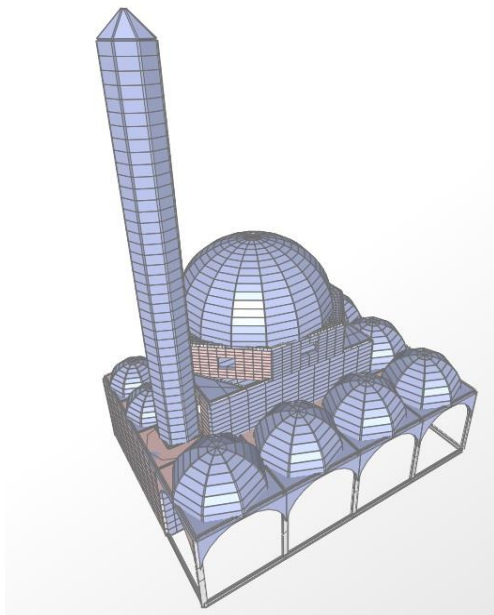
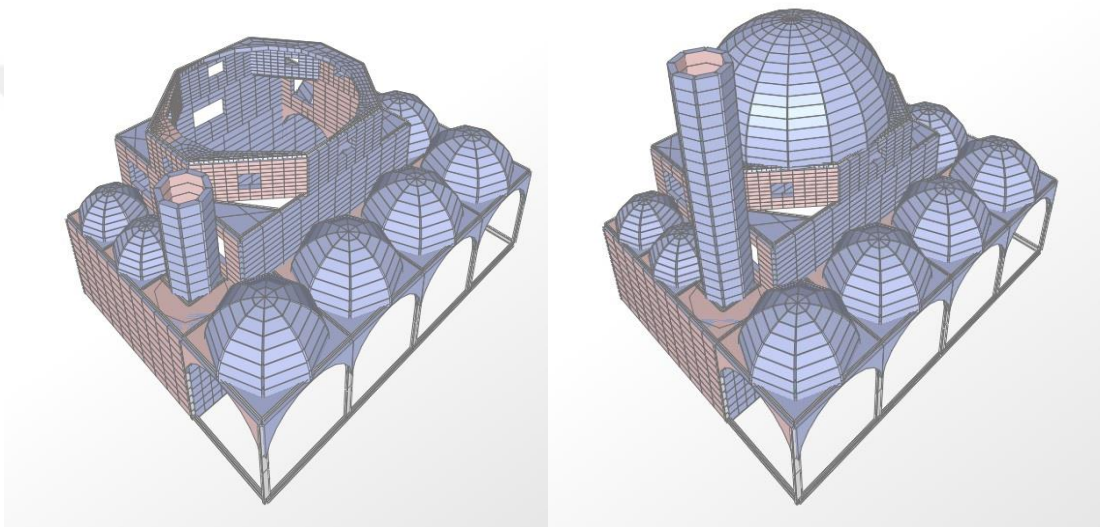
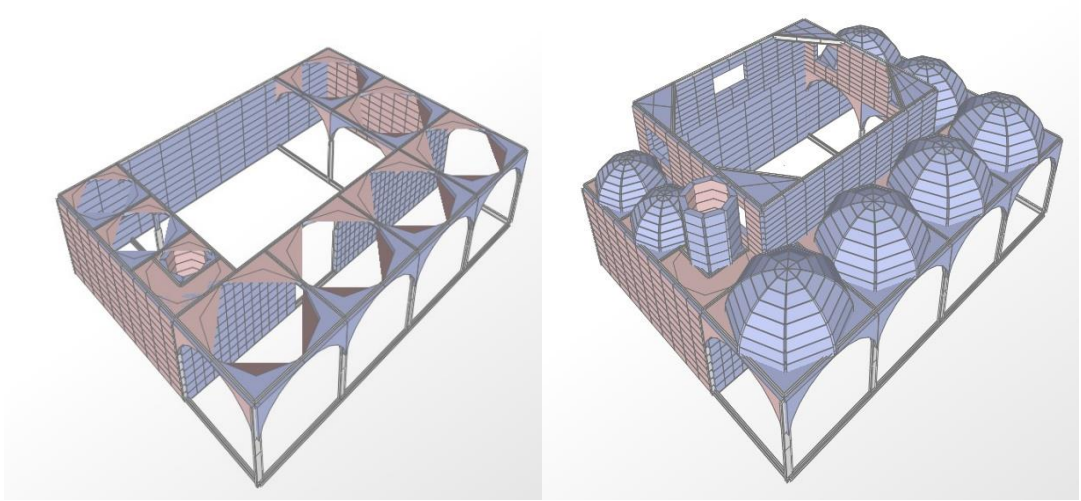
Şekil 5.5 : İvaz Paşa Camii faya olan uzaklığı.

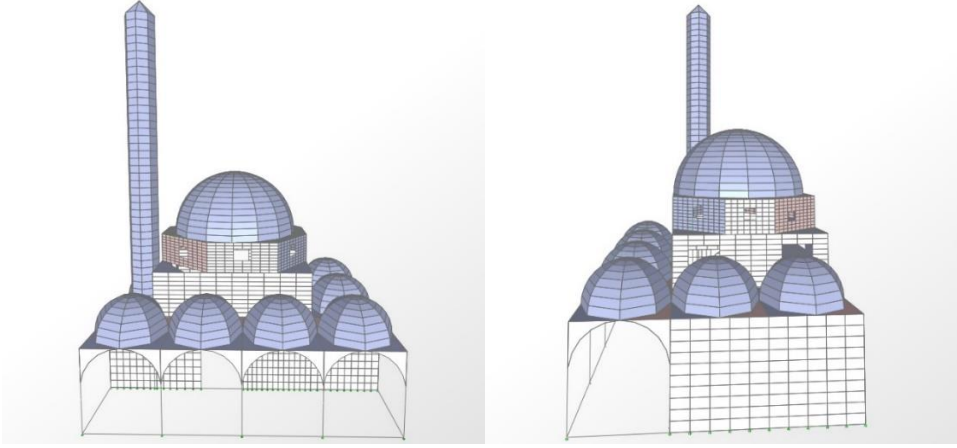
### 5.3 Yapının Sonlu Elemanlar Modeli ve Analiz Aşamaları

Camii'nin sonlu elemanlar modeli SAP2000 programında modellenmiş, modelde 5366 düğüm noktası ve 18353 kabuk eleman tanımlanmıştır [20]. Duvarlar ve minarenin elastisite modülü taştan yapıldığı için 10.000 MPa, kubbe ve tonozlar ise tuğladan yapıldığı için 3.000 MPa olarak seçilmiştir. Özgül ağırlıklar ise taş için 2.200 Mpa, tuğla için 1.800 Mpa olarak seçilmiştir.

Gerçeğe en yakın sonuç elde etmek için sonlu eleman boyutları 40-60 cm arasında olmasına özen gösterilmiştir [21]. Kubbe ve minare analizde yanlış sonuçlar doğurabileceği için modelin analizinde kubbe ve minare kullanılmamıştır.

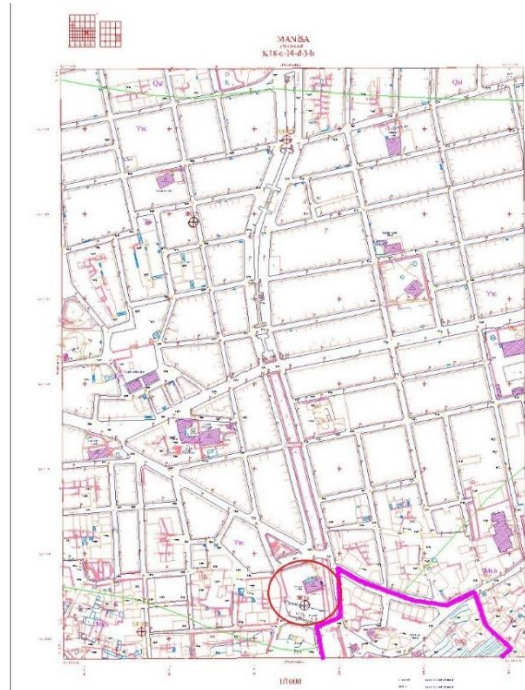




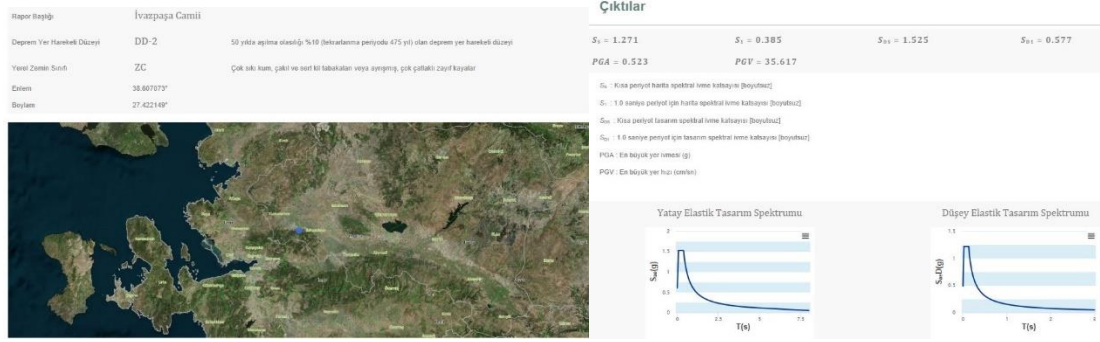


**Şekil 5.7 :** İvaz Paşa Camii modelleme aşamaları ve çeşitli açılardan görünüşü

Zaman tanım alanında analiz yaparken yapının bulunduğu zeminin koşullarını ve en yüksek ivme değeri (PGA) gibi bilgiler ışığında ölçeklendirme yapmak gerekir [22]. Manisa Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılan zemin etüt çalışmaları kapsamında İvazpaşa Camii'nin yanında alınan sondaj sayesinde camii'nin zemin yapısı bilgilerine ulaşılmıştır (Şekil 5.8). Camii zemininin ayrılmış metamorfik kayalardan oluştuğu anlaşılmış ve zemin sınıfının Z3 olduğu kabul edilmiştir. AFAD İnteraktif Web Uygulamalarından ise bölgedeki PGA değeri elde edilmiştir.

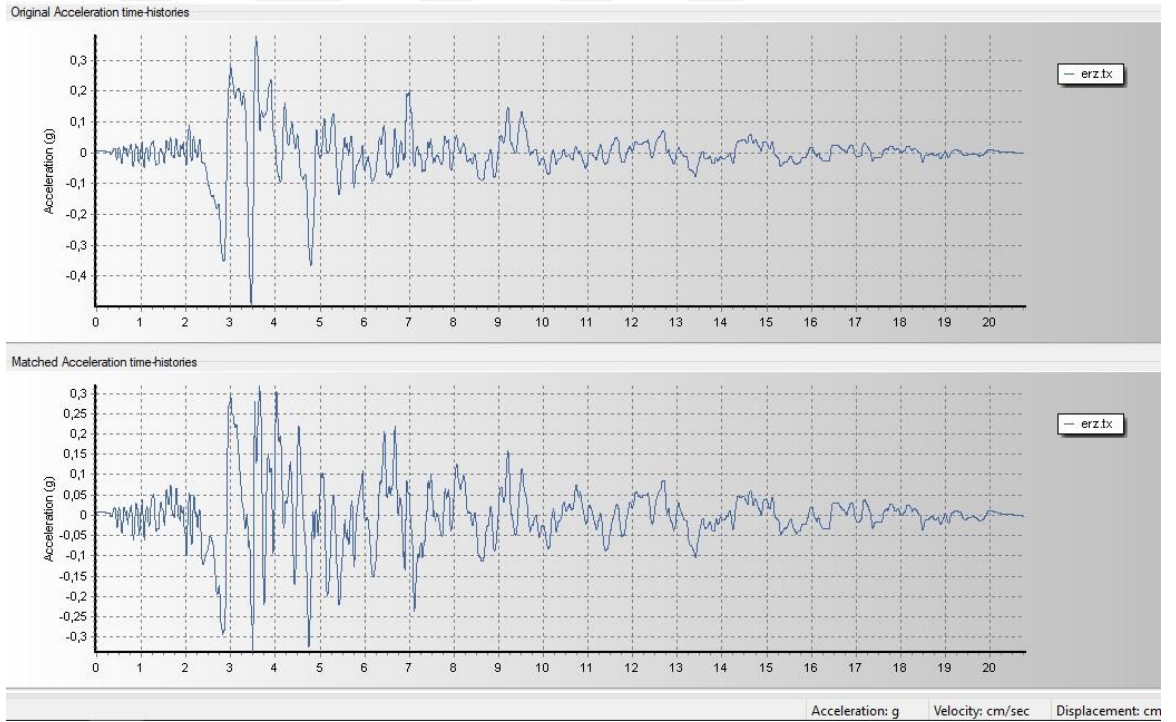


**Şekil 5.8 :** Manisa Merkez'de yapılan sondaj çalışmaları ve İvaz Paşa Camii yanından alınan 16 no.lu sondaj



**Şekil 5.9 :** İvaz Paşa Camii'nin bulunduğu konuma ait PGA değerlerinin bulunması ve elastik tasarım spektrumları.

Ölçeklendirme için SeismoMatch programı kullanılmıştır [23]. AFAD'dan elde edilen PGA değeri ve zemin etüt raporlarından elde edilen zemin sınıfı bilgileri girilerek deprem kayıtları ölçeklendirilmiş ve yapıya uygun hale getirilmiştir.



**Şekil 5.7 :** Erzincan deprem kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.

Diğer deprem kayıtlarının ölçeklendirilmiş halleri EK-E'de verilmiştir.

### 5.3 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler

Yapıya önce 1992 Erzincan deprem kaydı etkililerek zaman tanım alanında hesap yapılmıştır. Ardından sırasıyla 1999 Kocaeli ve Düzce, 1995 Kobe ve 1994 Northridge depremlerinin ölçeklendirilmiş halleri etkililmiştir. Daha sonra yakın fay titreşimi bindirilerek elde edilen deprem kayıtları etkililerek mod sayılarına göre periyot değerleri (Tablo 5.1), Kütle katılım oranları (Tablo 5.2), X ve Y yönündeki yerdeğiştirmeler (Şekil 5.8) ile maksimum ve minimum gerilme değerlerinin (Tablo 5.3) sonuçları karşılaştırılmıştır.

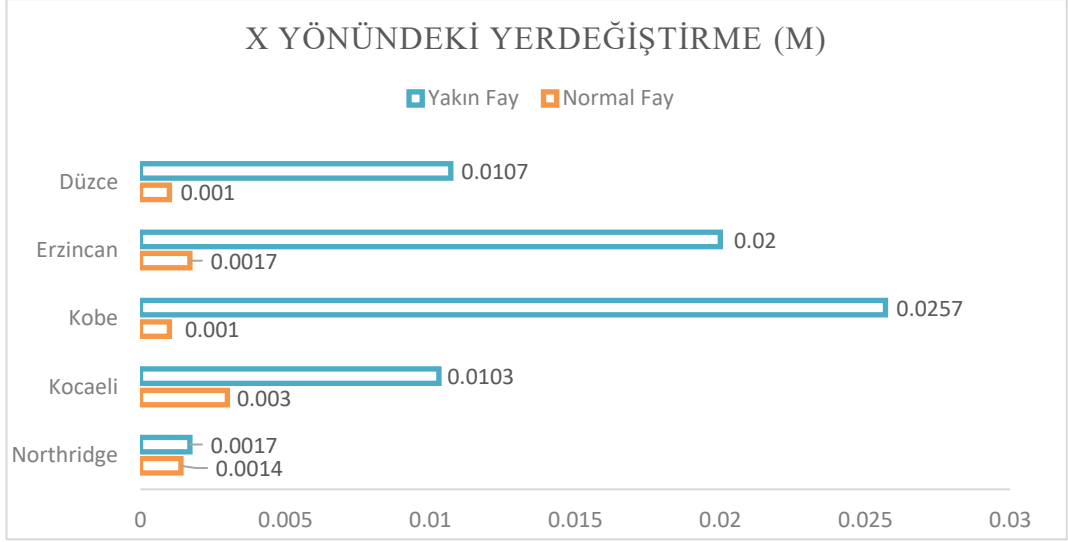
**Tablo 5.1 :** Modlara göre periyot değerleri (sn).

Mod No	Erzincan		Kocaeli		Düzce		Kobe		Northridge	
	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay
1	0.267	0.268	0.267	0.268	0.266	0.268	0.267	0.268	0.264	0.268
2	0.245	0.244	0.245	0.244	0.247	0.244	0.245	0.244	0.248	0.244
3	0.239	0.239	0.239	0.239	0.237	0.239	0.239	0.239	0.237	0.239

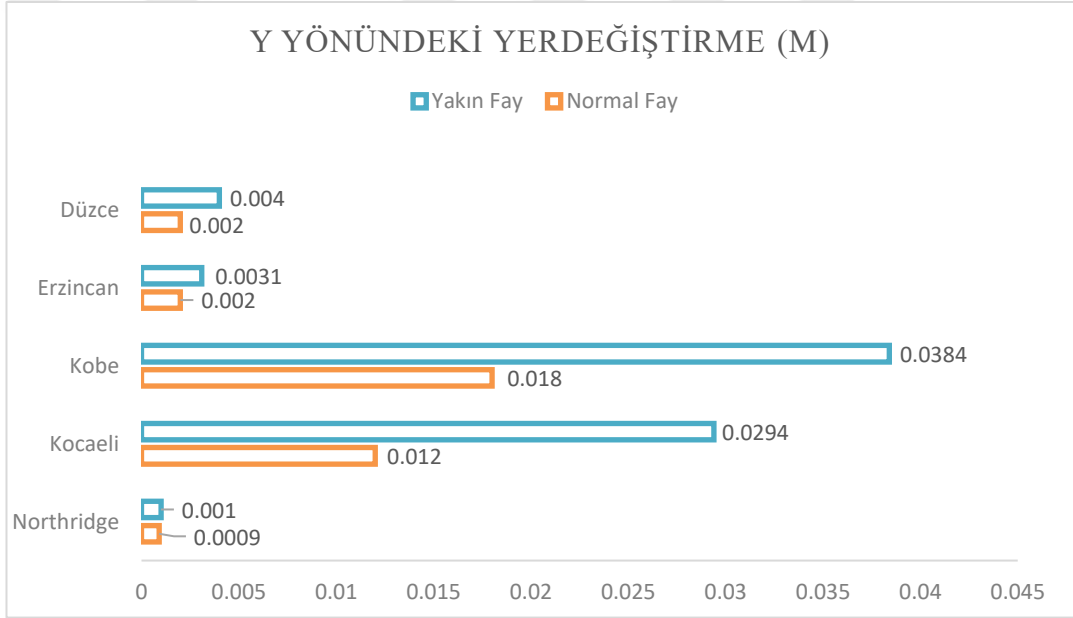
**Tablo 5.2 :** Modlara göre kütle katılım oranları.

Mod No	Erzincan		Kocaeli		Düzce		Kobe		Northridge	
	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay
1	0.38	0.38	0.39	0.38	0.38	0.38	0.39	0.38	0.38	0.38
2	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
3	0.60	0.59	0.60	0.60	0.60	0.59	0.60	0.60	0.60	0.59

Mod sayısına göre periyot değerleri ve kütle katılım oranları incelendiğinde normal fay ve yakın fay etkisinin neredeyse aynı olduğu görülmüştür. Mod sayısı arttıkça periyodun azaldığı ve kütle katılım oranının ise arttığı görülmektedir. Yığma yapıların yüksek rijitliğe sahip olması ve ağır olmaları nedeniyle analiz sonucunda periyot değerleri beklenildiği gibi yüksek çıkmamıştır.



(a)

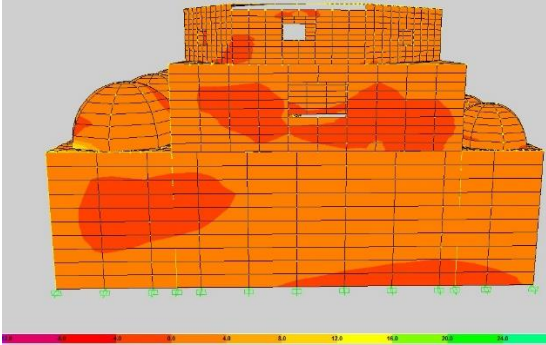
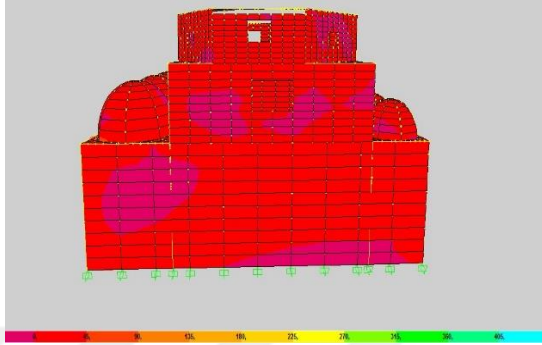
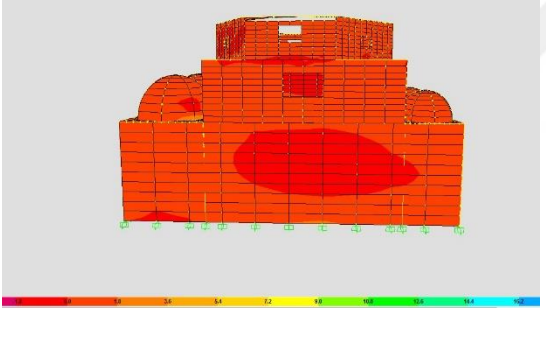
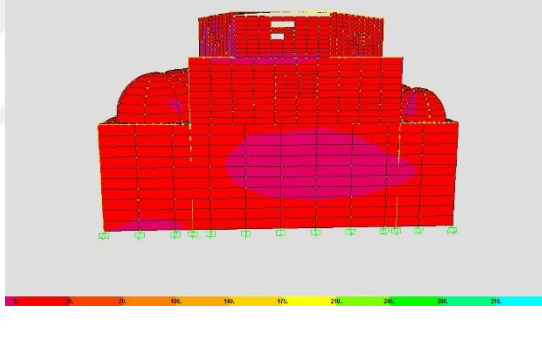
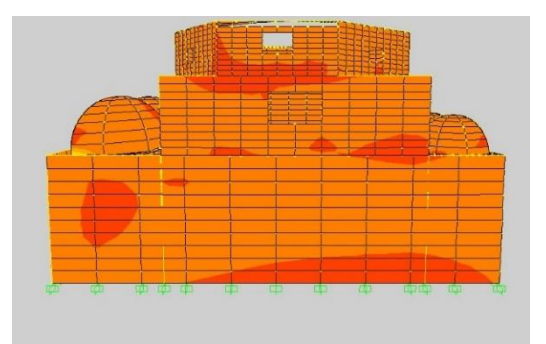
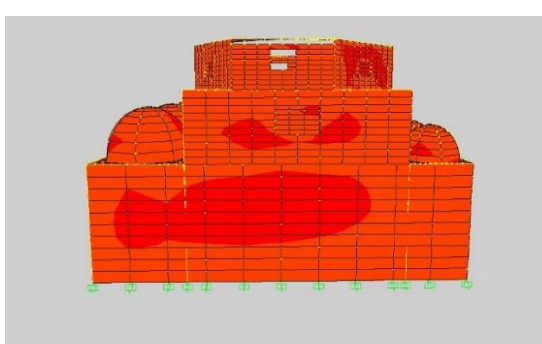


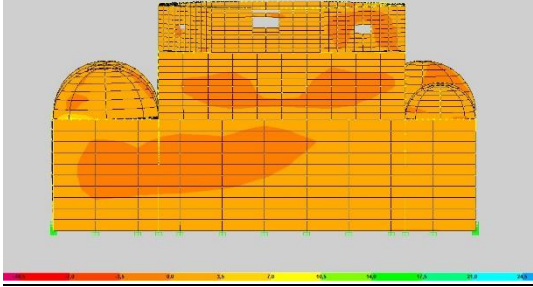
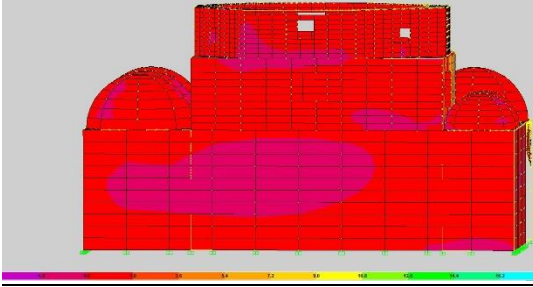
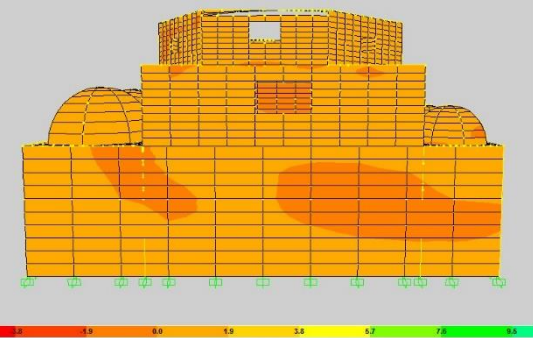
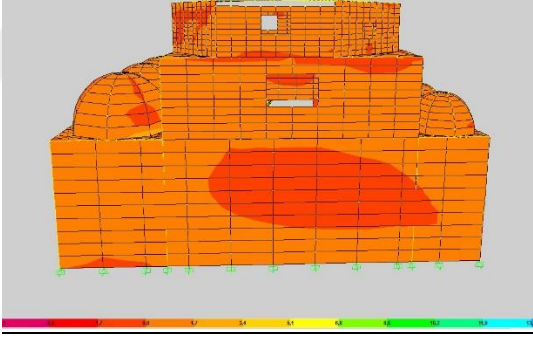
(b)

**Şekil 5.8 :** İvaz Paşa Camii'nin normal fay ve yakın fay etkili X yönündeki (a) ve Y yönündeki (b) yerdeğiştirme grafikleri.

Yerdeğiştirme grafiklerinde kubbenin oturduğu sekizgen şeklindeki duvarın güneydoğu cephesi baz alınmıştır. X ve Y yönündeki en büyük yerdeğiştirmenin Kobe depreminin yakın fay etkili kaydında olduğu görülmektedir.

**Tablo 5.3 :** İvaz Paşa Camii'nin 5 ayrı deprem kaydına ait normal fay ve yakın fay etkisindeki min. ve maks. gerilme değerleri.

<p><u>Düzce Depremi Normal Fay</u></p> <p>Smin:-15.148 Mpa Smax: 41.357 Mpa</p> 	<p><u>Düzce Depremi Yakın Fay</u></p> <p>Smin:-75.547 Mpa Smax: 56.45 Mpa</p> 
<p><u>Erzincan Depremi Normal Fay</u></p> <p>Smin:-5.298 Mpa Smax: 21.351 Mpa</p> 	<p><u>Erzincan Depremi Yakın Fay</u></p> <p>Smin:-66.119 Mpa Smax: 49.244 Mpa</p> 
<p><u>Kobe Depremi Normal Fay</u></p> <p>Smin:-0.493 Mpa Smax: 1.241 Mpa</p> 	<p><u>Kobe Depremi Yakın Fay</u></p> <p>Smin:-4.52 Mpa Smax: 2.58 Mpa</p> 

<p style="text-align: center;"><u>Kocaeli Depremi Normal Fay</u></p> <p style="text-align: center;">Smin:-3.035 Mpa Smax: 22.869 Mpa</p> 	<p style="text-align: center;"><u>Kocaeli Depremi Yakın Fay</u></p> <p style="text-align: center;">Smin:-14.273 Mpa Smax: 33.983 Mpa</p> 
<p style="text-align: center;"><u>Northridge Depremi Normal Fay</u></p> <p style="text-align: center;">Smin:-8.481 Mpa Smax: 18.535 Mpa</p> 	<p style="text-align: center;"><u>Northridge Depremi Yakın Fay</u></p> <p style="text-align: center;">Smin:-5.465 Mpa Smax: 18.681 Mpa</p> 

Sonuçlar incelendiğinde mod sayısına göre periyod ve kütle katılım oranlarının normal fay ve yakın fay etkisinin çok farklı olmadığı anlaşılmaktadır. Yerdeğiştirmeler incelendiğinde yakın fay etkisinin bariz bir şekilde yapıyı etkilediği ve en çok yerdeğiştirmenin Y yönünde 0.0384 m ile yakın fay etkili Kobe depremi kaydında meydana geldiği görülmektedir. Gerilmeler açısından bakıldığında yine yakın fay etkisinin normal fay etkisine göre yapıyı daha fazla etkilediği anlaşılmaktadır. Düzce depremi yakın fay etkili kaydının 56.45 Mpa ile yapıyı en çok etkileyen kayıt olduğu görülmektedir.





## 6. ÖRNEK ÇALIŞMA 2: KOYUNBABA KÖPRÜSÜ

### 6.1 Koyunbaba Köprüsü'nün Tarihçesi ve Mimari Özellikleri

Çorum ili Osmancık ilçe merkezinden Kızılırmak nehrinin iki yakasını birbirine bağlayan Koyunbaba Köprüsü Osmanlı İmparatoru II. Beyazıt zamanında 1484 yılında yapılmıştır. İsmi Anadolu'nun tanınmış velilerinden olan Koyun Baba'dan alan köprüye II. Beyazıt Köprüsü de denmektedir.



**Şekil 6.1:** Koyunbaba Köprüsü.

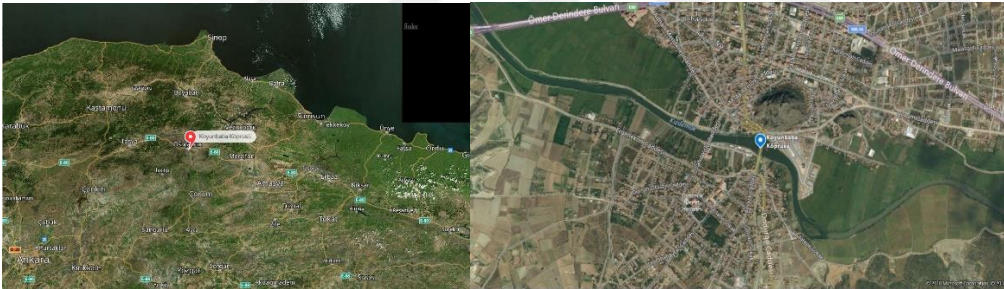
Köprü tam bir Osmanlı klasiği mimariye sahiptir. İmparatorluk zamanında kullanılan kemerler bir çok Osmanlı eserinde görülmektedir. Uzunluğu 250 m. genişliği ise 7.50 m olan köprü kesme taşlardan yapılmıştır. Sivri kemerli 19 gözlü olarak inşaa edilmiş olan köprü'nün ırmağın taşıdığı alüvyonların birikmesi nedeniyle günümüzde 15 gözü görülebilmektedir. Köprü üstünde her iki tarafta 60 cm yükseklikte taş korkuluklar yapılmıştır.

Koyun Baba Köprüsü'nün kaleye yakın yerinde ayağın karşısında kitabesi bulunmaktadır. Köprüye ait kitabe de ise şu yazılıdır: "... Sultan Ebül-Fetih Beyazıt

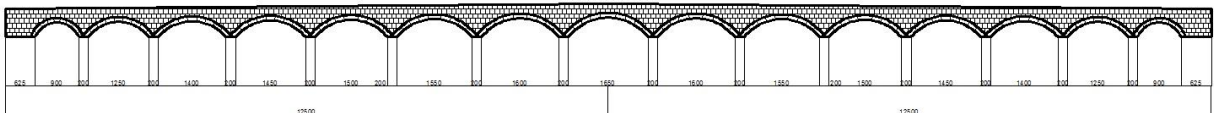
bin Mehmet Han Allah onun saltanatını gece ve gündüzler birbirini izledikçe sürdürsün. Kıyamet gününde sevaba ermek, üzerinden geçenlere ibret olmak, umum tarafından faydalanılmak amacıyla sürekli bir hayır olan bu değerli köprü'nün sağlam olarak yapılmasını emreyledi. Bu hayırlı eserin tesisi, 889 senesinin Şaban ayında başlandı ve 894 senesinde tamam oldu.”

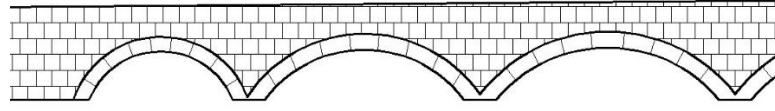


Şekil 6.2 : Koyunbaba Köprüsü'ne ait kitabe ve Koyunbaba Heykeli.



Şekil 6.3 : Koyunbaba Köprüsü'nün coğrafi konumu ve uydu görüntüleri.





**Şekil 6.4 :** Koyunbaba Köprüsü'nün rölövesi ve kemer detayları.

Köprü İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı istiraki olan BİMTAŞ A.Ş. tarafından 2015 yılında restorasyon çalışmaları başlatılmıştır.

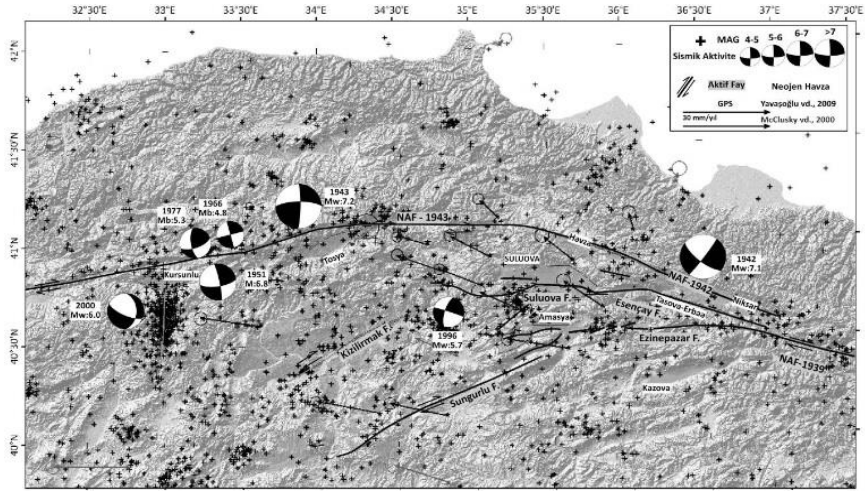


**Şekil 6.5 :** Koyunbaba Köprüsü'nde yapılan restorasyon çalışmaları.

## 6.2 Çorum'un Jeolojik Yapısı ve Depremselliği

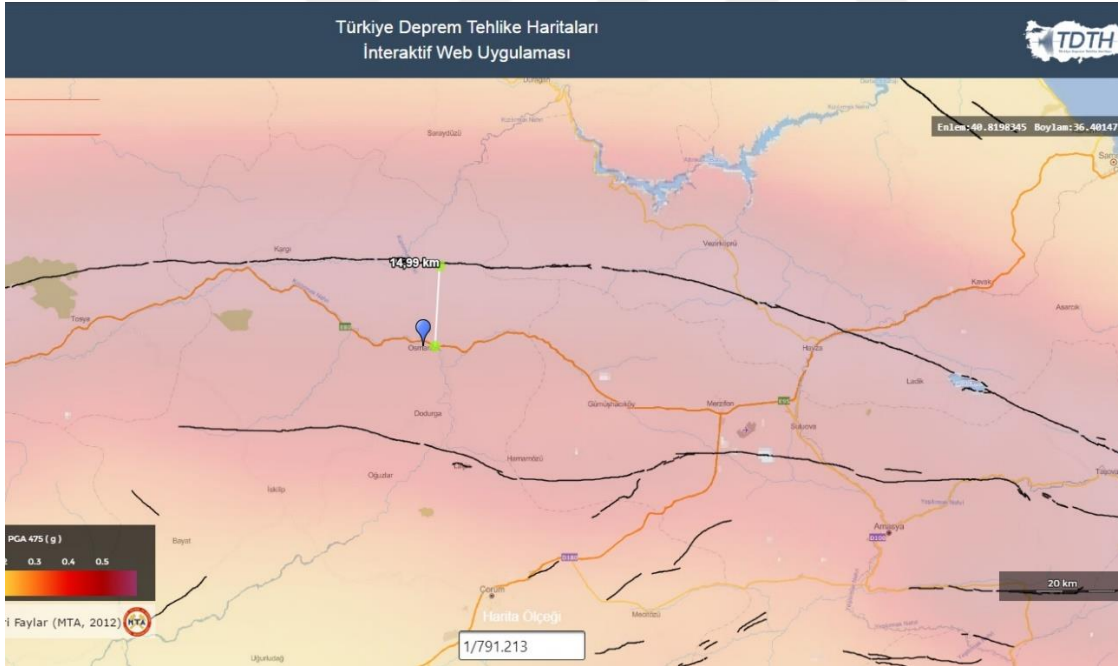
Kuzeyde Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ana kolu ile sınırlanan, orta ve güneyinde ise KAF'dan ayrılarak Anadolu içerisinde doğru uzanan yan kollar olan Esençay-Suluova (Es-SuF) ve Ezinepazar-Sungurlu (EzSF) Fay sistemleri tarafından denetlenen geniş bir deformasyon alanı içerisinde yer alan Çorum bu alanın morfotektonik evrimi, aktivitesini günümüzde de sürdüren çok sayıda tektonik hat tarafından kontrol edilmiştir.

Bölgede yer alan aktif tektonik hatlardan en önemlisi olan KAF'nın ana kolu, son yüzyıldaki (1939, 1942 ve 1943) deprem serisi ile tamamen kırılmıştır. Hendek çalışmaları ile fay hattının son 2000 yıl içerisindeki deprem geçmişi ortaya konularak yayınlanmış ise de tarihsel kayıtlarda bulunan ancak KAF üzerinde bu çalışmalarla bulunamamış birçok yıkıcı depremin bu bölgede yer alan yan kollar üzerinde gerçekleştiği öngörülmektedir [24].



Şekil 6.6 : Çorum ve çevresine ait fay haritası.

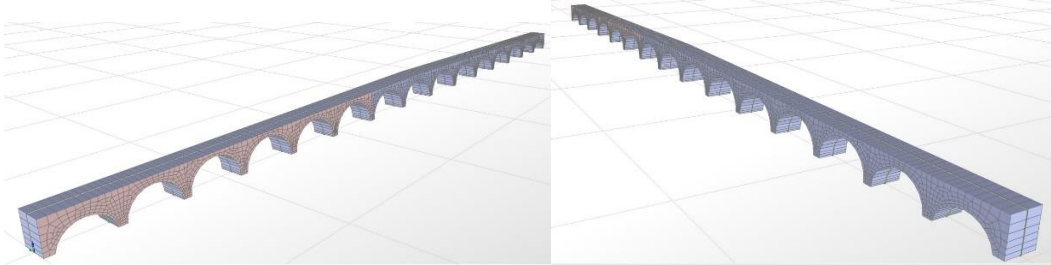
Köprü'nün bulunduğu konum AFAD Türkiye Deprem Haritaları İnteraktif Web Uygulamaları üzerinden yapılan incelemede Kuzen Anadolu Fay Hattına olan uzaklığı yaklaşık 15 km olduğu tespit edilmiş ve yakın fay etkisi altında kaldığı anlaşılmıştır.



Şekil 6.7 : Koyunbaba Köprüsü'nün faya olan uzaklığı.

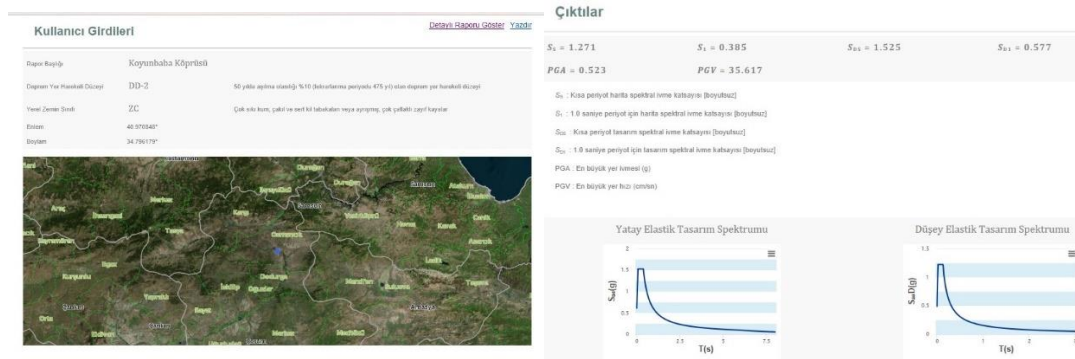
## 6.2. Yapının Sonlu Elemanlar Modeli ve Analiz Aşamaları

Yapının sonlu elemanlar modelinde 198 adet düğüm noktası ve 532 adet kabuk eleman oluşturulmuştur. Köprüde kullanılan kesme taşın elastisite modülü 10.000 Mpa , özgül kütlesi 2.200 kg/m<sup>3</sup> olarak seçilmiştir.



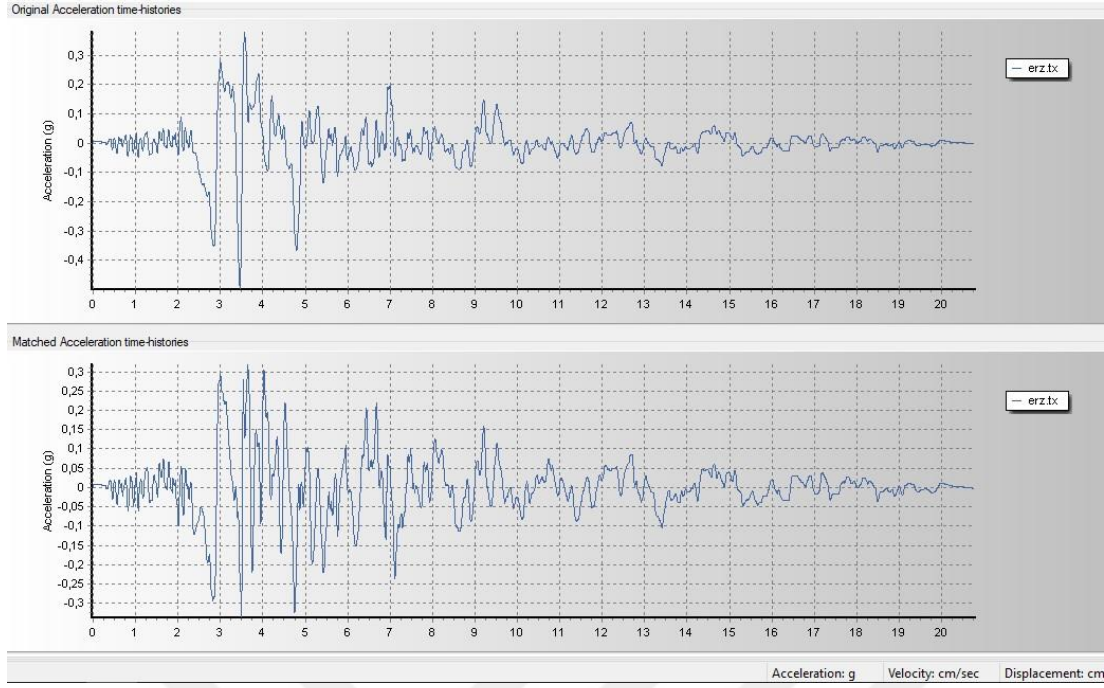
**Şekil 6.8 :** Koyunbaba Köprüsü'nün sonlu elemanlar modeli.

Koyunbaba Köprüsü ile ilgili detaylı zemin etüt raporu elde edilememiş, ancak yapılan araştırmalardan bölgenin volkanik breş ve aglomeralar ile volkanik tüflerden oluştuğu anlaşılmış ve zemin sınıfının Z2 olduğu varsayımında bulunulmuştur [25]. Elde edilen bu bilgi ile AFAD İnteraktif Web Uygulamalarından bölgedeki PGA değeri elde edilmiştir.



**Şekil 6.9 :** Koyunbaba Köprüsü'nün bulunduğu konuma ait PGA değerlerinin bulunması ve elastik tasarım spektrumları.

Ölçeklendirme için SeismoMatch programı kullanılmıştır. AFAD'dan elde edilen PGA değeri ve zemin sınıfı için varsayılan değer girilerek deprem kayıtları ölçeklendirilmiş ve yapıya uygun hale getirilmiştir.



**Şekil 6.10 :** Erzincan deprem kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali  
Diğer deprem kayıtlarının ölçeklendirilmiş halleri EK-F’de verilmiştir.

### 6.3 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler

Yapıya önce 1992 Erzincan deprem kaydı etkililerek zaman tanım alanında hesap yapılmıştır. Ardından sırasıyla 1999 Kocaeli ve Düzce, 1995 Kobe ve 1994 Northridge depremlerinin ölçeklendirilmiş halleri etkililmiştir. Daha sonra yakın fay titreşimi bindirilerek elde edilen deprem kayıtları etkililerek mod sayılarına göre periyot değerleri (Tablo 6.1), Kütle katılım oranları (Tablo 6.2), X ve Y yönündeki yerdeğiştirmeler (Şekil 6.11) ile maksimum ve minimum gerilme değerlerinin (Tablo 6.3) sonuçları karşılaştırılmıştır.

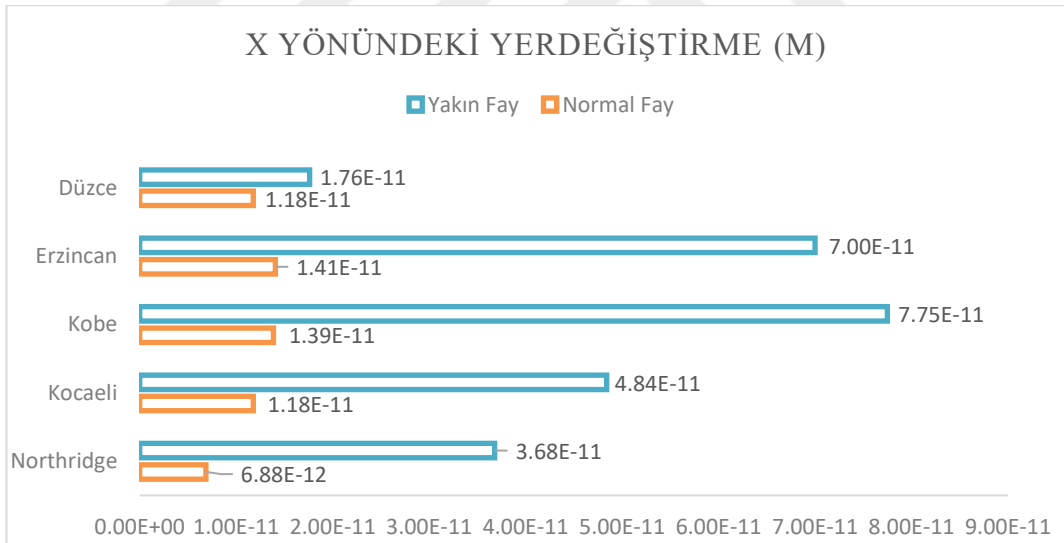
**Tablo 6.1 :** Modlara göre periyot değerleri (sn).

Mod No	Erzincan		Kocaeli		Düzce		Kobe		Northridge	
	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay
1	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065
2	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059
3	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058

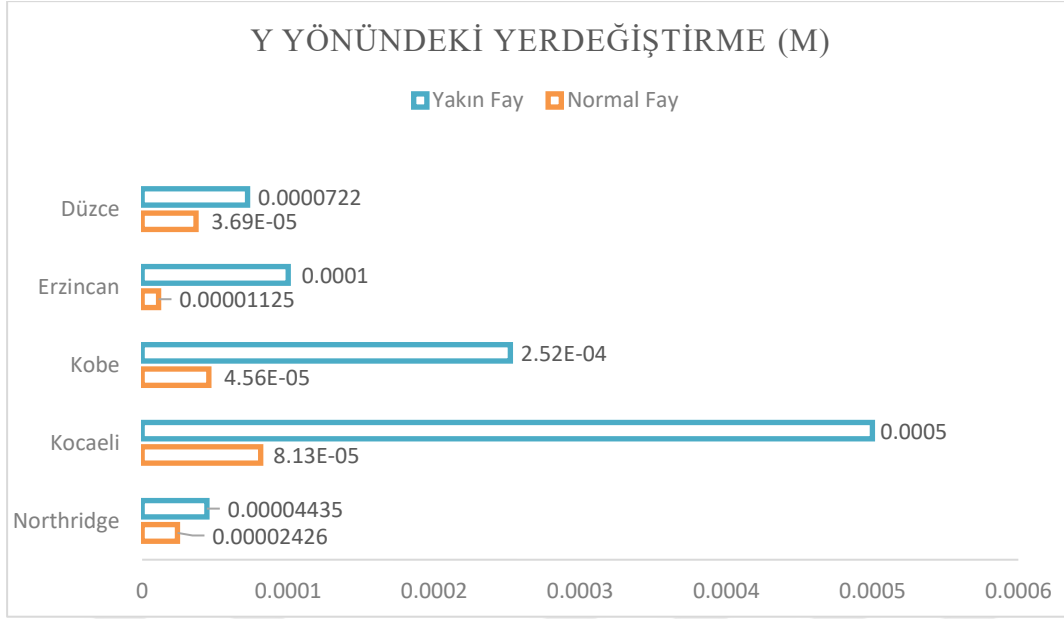
**Tablo 6.2 : Modlara göre kütle katılım oranları.**

Mod No	Erzincan		Kocaeli		Düzce		Kobe		Northridge	
	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay
1	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
2	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
3	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68

Mod sayısına göre periyod değerleri ve kütle katılım oranları incelendiğinde normal fay ve yakın fay etkisinin neredeyse aynı olduğu görülmüştür. Mod sayısı arttıkça periyodun azaldığı, kütle katılım oranının ise değişmediği görülmektedir. Yığma yapıların yüksek rijitliğe sahip olması ve ağır olmaları nedeniyle analiz sonucunda periyod değerleri beklenildiği gibi fazla yüksek çıkmamıştır.



(a)

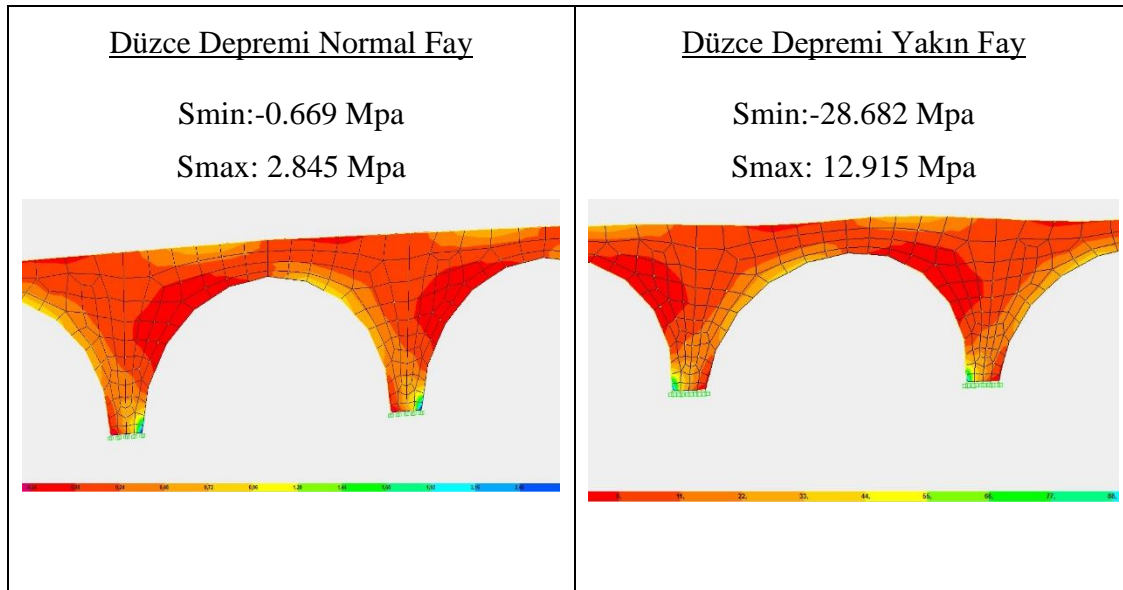


(b)

**Şekil 6.11 :** Koyunbaba Köprüsü'nün normal fay ve yakın fay etkili X yönündeki (a) ve Y yönündeki (b) yerdeğiştirme grafikleri.

Yerdeğiştirme grafiklerinde yapının en büyük açıklığı olan orta kemerin üst kısmı baz alınmıştır. X ve Y yönündeki en büyük yerdeğiştirmenin Kobe depreminin yakın fay etkili kaydında olduğu görülmektedir.

**Tablo 6.3 :** Koyunbaba Köprüsü'nün 5 ayrı deprem kaydına ait normal fay ve yakın fay etkisindeki min. ve maks. gerilme değerleri

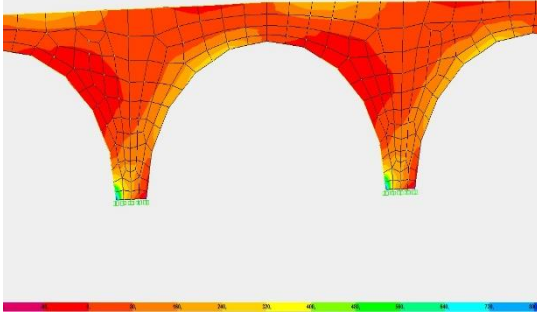




Erzincan Depremi Normal Fay

Smin:-0.216 Mpa

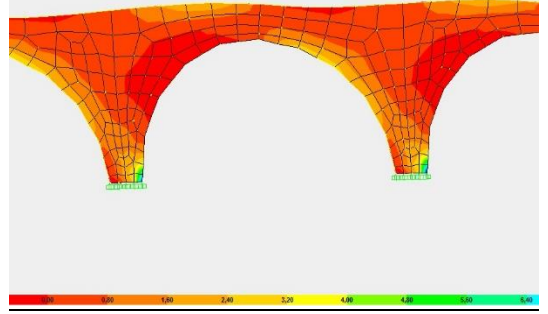
Smax: 0.914 Mpa



Erzincan Depremi Yakın Fay

Smin:-2.135 Mpa

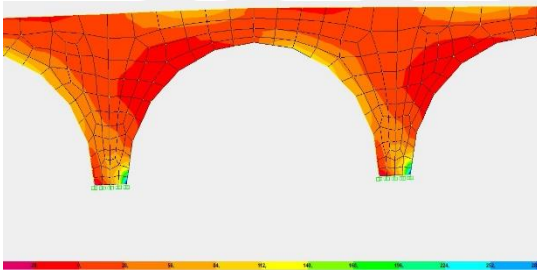
Smax: 9.068 Mpa



Kobe Depremi Normal Fay

Smin:-0.076 Mpa

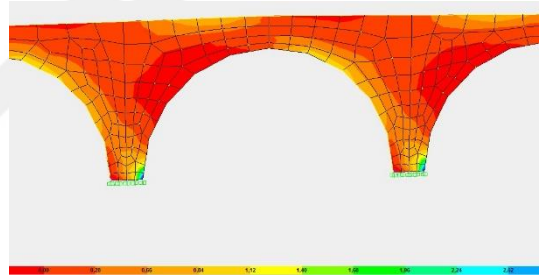
Smax: 0.324 Mpa



Kobe Depremi Yakın Fay

Smin:-0.785 Mpa

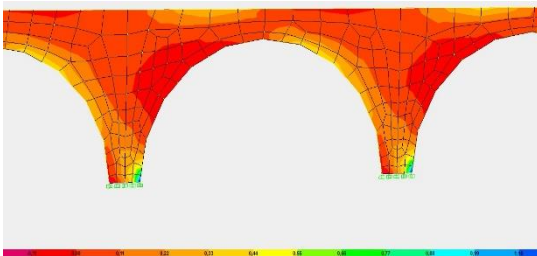
Smax: 3.336 Mpa



Kocaeli Depremi Normal Fay

Smin:-0.299 Mpa

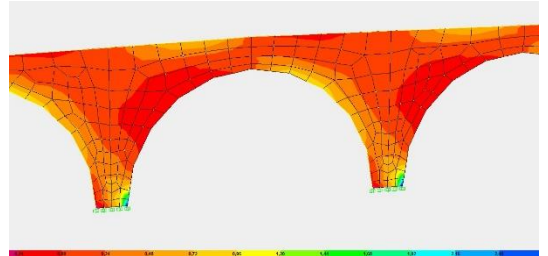
Smax: 1.271 Mpa

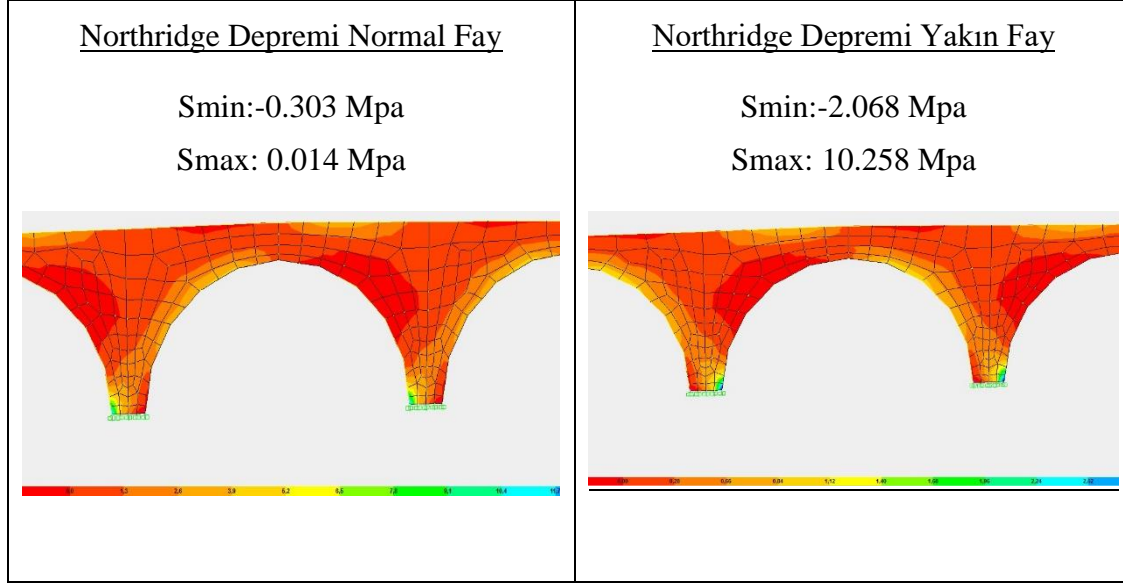


Kocaeli Depremi Yakın Fay

Smin:-0.894 Mpa

Smax: 1.473 Mpa





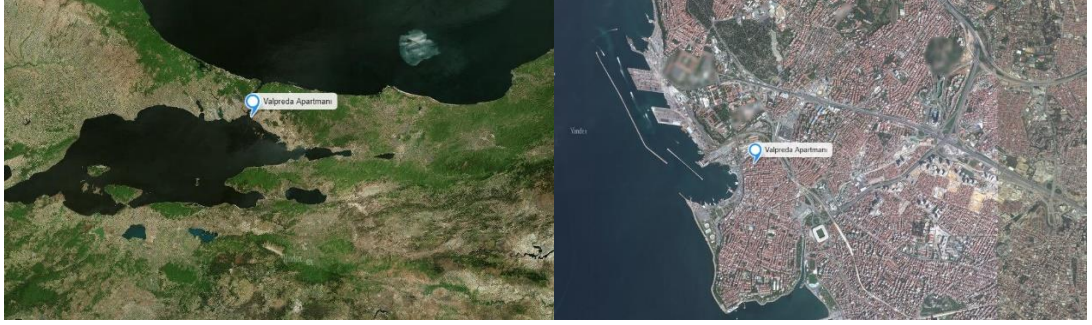
Sonuçlar incelendiğinde mod sayısına göre periyod ve kütle katılım oranlarının normal fay ve yakın fay etkisinin çok farklı olmadığı anlaşılmaktadır. Yerdeğiştirmeler incelendiğinde yakın fay etkisinin bariz bir şekilde yapıyı etkilediği ve en çok yerdeğiştirmenin X yönünde 0.00038 m ile yakın fay etkili Northridge Depremi kaydında meydana geldiği görülmektedir. Gerilmeler açısından bakıldığında yine yakın fay etkisinin normal fay etkisine göre yapıyı daha fazla etkilediği anlaşılmaktadır. Düzce depremi yakın fay etkili kaydının 12.915 Mpa ile yapıyı en çok etkileyen kayıt olduğu görülmektedir.

## 7. ÖRNEK ÇALIŞMA 3: VALPREDA APARTMANI

### 7.1 Valpreda Apartmanı'nın Tarihçesi

İstanbul'un Kadıköy İlçesi'nin Rasimpaşa Mahallesinde bulunan ve İstanbul'un ilk apartmanlarından olan Valpreda Apartmanı 1909 yılında Mimar Levi Kehrbarcı tarafından yaptırılmıştır.

Haydarpaşa Garında çalışan İtalyan işçilerin kalması amacıyla yaptırılması nedeniyle İtalyan Apartmanı olarak da bilinen yapı 2 bodrum kat, zemin kat ve 5 normal kat olmak üzere 8 kattan oluşmaktadır. Bodrum ve zemin katlar kesme taştan, normal katlar ise örme tuğladan yapılmıştır.



Şekil 7.1 : Valpreda Apartmanı'nın coğrafi konumu ve uydu görüntüsü.

Yapıya bugüne kadar restorasyon yapılmaması nedeniyle rölevesinin olmaması ve apartman sakinlerinin izni alınamaması nedeniyle detaylı ölçüler alınamamıştır. Uydu görüntülerinden mesafe ölçüleri alınmış ve yapıldığı dönemdeki yapılar emsal alınarak model oluşturulmuştur.

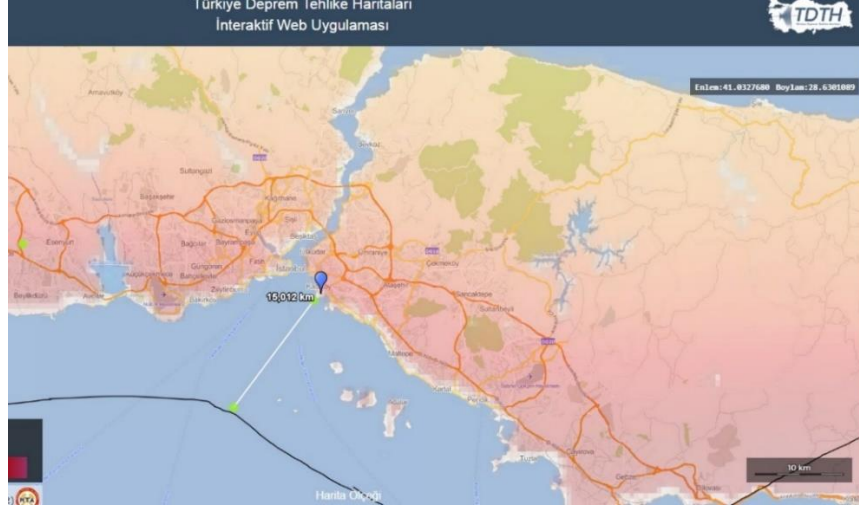


Şekil 7.2 : Valpreda Apartmanı'na ait fotoğraflar.



**Şekil 7.3 :** Valpreda Apartmanı'na ait kat planı ve rölöve çalışması.

Yapının bulunduğu konum AFAD Türkiye Deprem Haritaları İnteraktif Web Uygulamaları üzerinden yapılan incelemede Marmara Denizi Fay Hattına olan uzaklığı yaklaşık 15 km olduğu tespit edilmiş ve yakın fay etkisi altında kaldığı anlaşılmıştır.

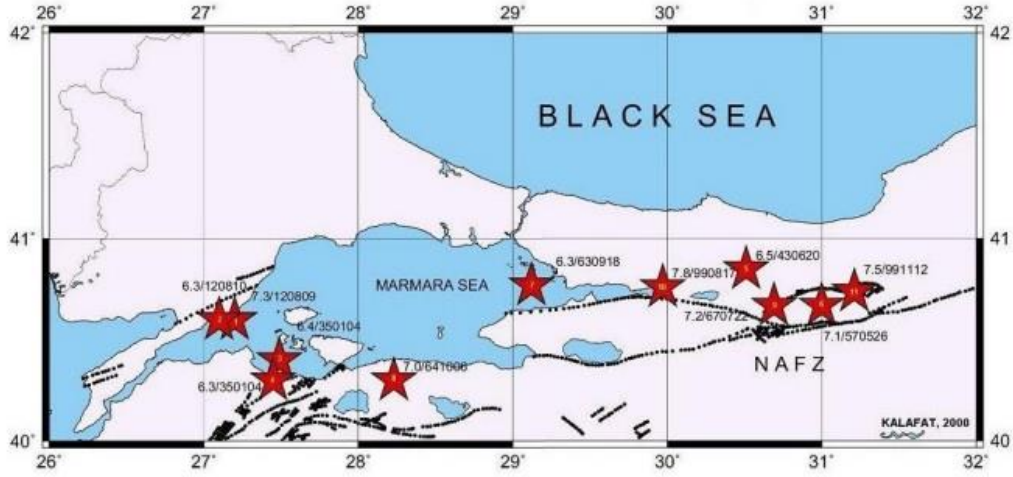


**Şekil 7.4 :** Valpreda Apartmanı'nın faya ulan uzaklığı.

## 7.2 İstanbul'un Depremselliği

Gerek tarihsel, gerekse aletsel dönem depremleriyle kanıtlanmış olduğu gibi Marmara bölgesinin depremselliği göreceli olarak çok yüksektir. Marmara bölgesinde, milattan sonra 29 ve 1894 yılları arasında şiddeti IX ve X arasında değişen 18 tarihsel; 1912 ve 1999 yılları arasında ise büyüklüğü 6.1 ile 7.4 arasında değişen 13 adet güncel yıkıcı deprem yaşanmıştır. Bu istatistiksel veriler, Marmara bölgesinde her yüz yılda bir tarihsel ve her yedi yılda bir de güncel yıkıcı depremin oluştuğunu işaret etmektedir [26].

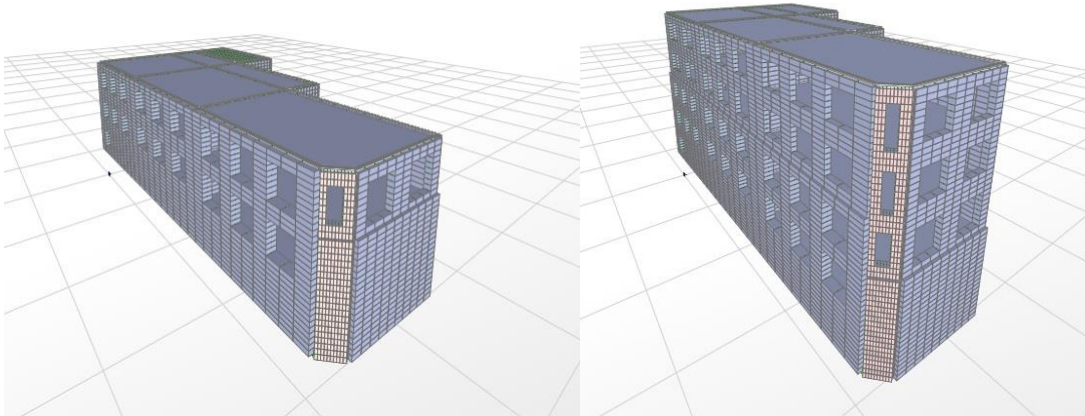
1999 Depremleri sonrasında 2001 yılına kadar olan KRDAE'nün veri seti Magnitüd-Frekans (Gutenberg-Richter) bağıntısı kullanılarak yapılan çalışmada Marmara bölgesinde deprem yinelenme periyotlarına bakılmıştır. Sonuç olarak bölgede büyüklüğü  $M=5.0$  olan depremlerin yinelenme periyodu yılda bir olarak,  $M=7$  büyüklüğündeki bir depremin 2040 yılına kadar olma olasılığı %75, 2070 yılına kadar %91, 2090 yılına kadar % 95 olarak verilmiştir. Bu bölgenin deprem riskinin yüksek olduğuna işaret etmektedir [27].

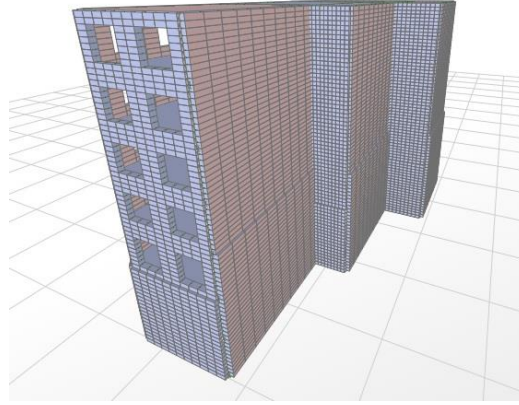


Şekil 7.5 : Marmara Bölgesi'nde son yüzyılda meydana gelmiş büyük depremler [28].

## 7.2 Yapının Sonlu Elemanlar Modeli

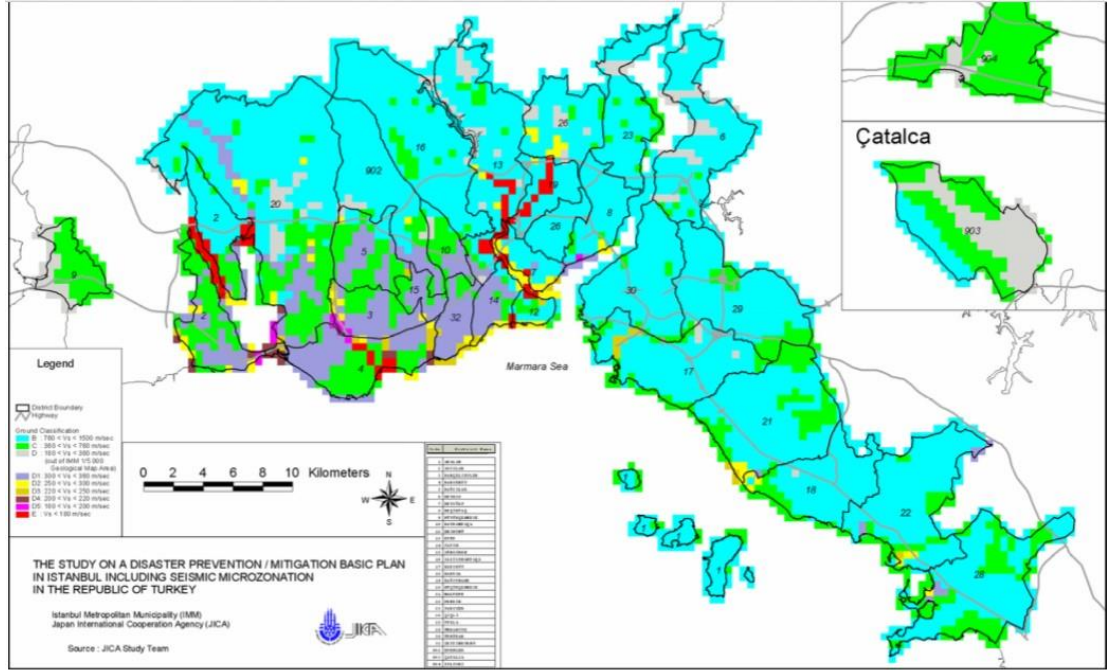
Yapının sonlu elemanlar modelinde 6472 adet düğüm noktası ve 5798 adet kabuk eleman tanımlanmıştır. İlk dört katında kesme taş kullanılırken son dört katında tuğla kullanılmıştır. Kesme taşın elastisite modülü 10.000 Mpa, özgül kütlesi 2.200 kg/m<sup>3</sup>, tuğlanın ise elastisite modülü 3.000 Mpa, özgül kütlesi 1.800 kg/cm<sup>3</sup> seçilmiştir.



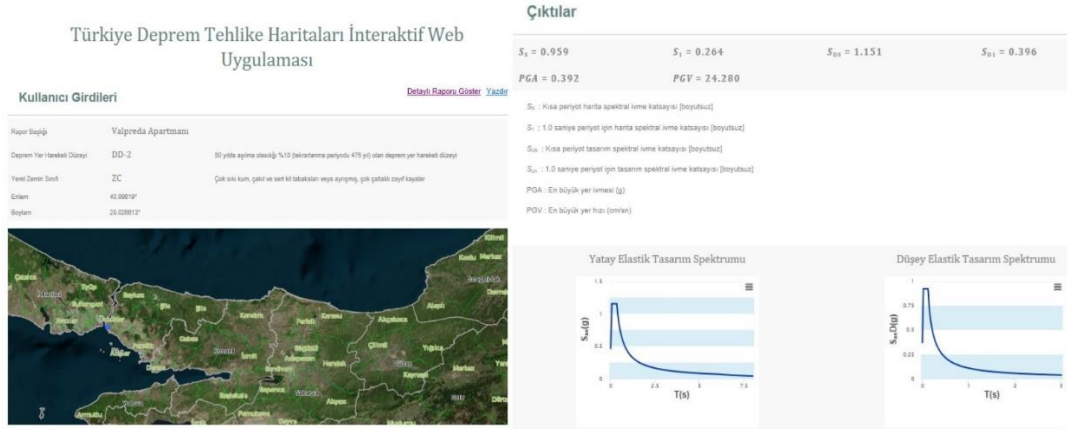


Şekil 7.6 : Valpreda Apartmanı'na ait sonlu elemanlar modeli.

Valpreda Apartmanı ile ilgili detaylı zemin etüt raporu elde edilememiş, ancak Şekil 7.7'deki İBB ve JICA ortaklığı ile hazırlanan İstanbul Deprem Master Planı'nda bölgenin zemin sınıfının Z2 olduğu anlaşılmış, AFAD İnteraktif Web Uygulamalarından bölgedeki PGA değeri elde edilmiştir.

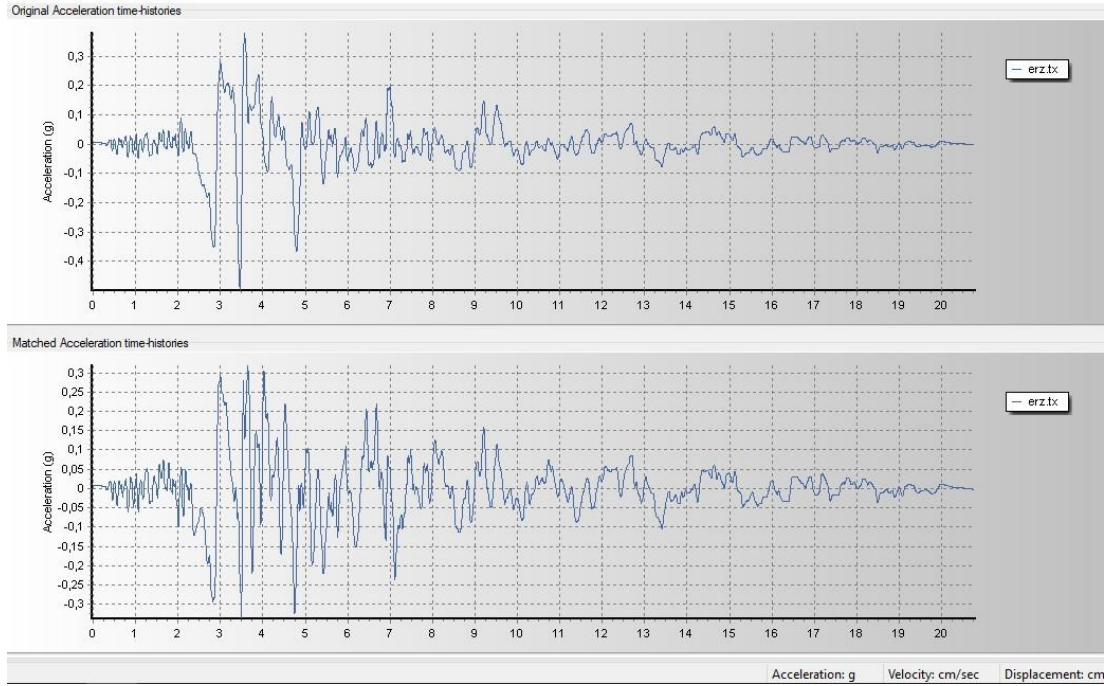


Şekil 7.7 : İstanbul Deprem Master Planı'na ait İstanbul'un zemin sınıfı haritası.



**Şekil 7.8 :** Valpreda Apartmanı'nın bulunduğu konuma ait PGA değerlerinin bulunması ve elastik tasarım spektrumları.

Ölçeklendirme için SeismoMatch programı kullanılmıştır. AFAD'dan elde edilen PGA değeri ve zemin sınıfı için varsayılan değer girilerek deprem kayıtları ölçeklendirilmiş ve yapıya uygun hale getirilmiştir.



**Şekil 7.9 :** Erzincan deprem kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.

Diğer deprem kayıtlarının ölçeklendirilmiş halleri EK-G'de verilmiştir.



### 7.3 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler

Yapıya önce 1992 Erzincan deprem kaydı etkilerek zaman tanım alanında hesap yapılmıştır. Ardından sırasıyla 1999 Kocaeli ve Düzce, 1995 Kobe ve 1994 Northridge depremlerinin ölçeklendirilmiş halleri etkilmiştir. Daha sonra yakın fay titreşimi bindirilerek elde edilen deprem kayıtları etkilerek mod sayılarına göre periyot değerleri (Tablo 7.1), Kütle katılım oranları (Tablo 7.2), X ve Y yönündeki yerdeğiştirmeler (Şekil 7.10) ile maksimum ve minimum gerilme değerlerinin (Tablo 7.3) sonuçları karşılaştırılmıştır.

**Tablo 7.1 :** Modlara göre periyot değerleri (sn).

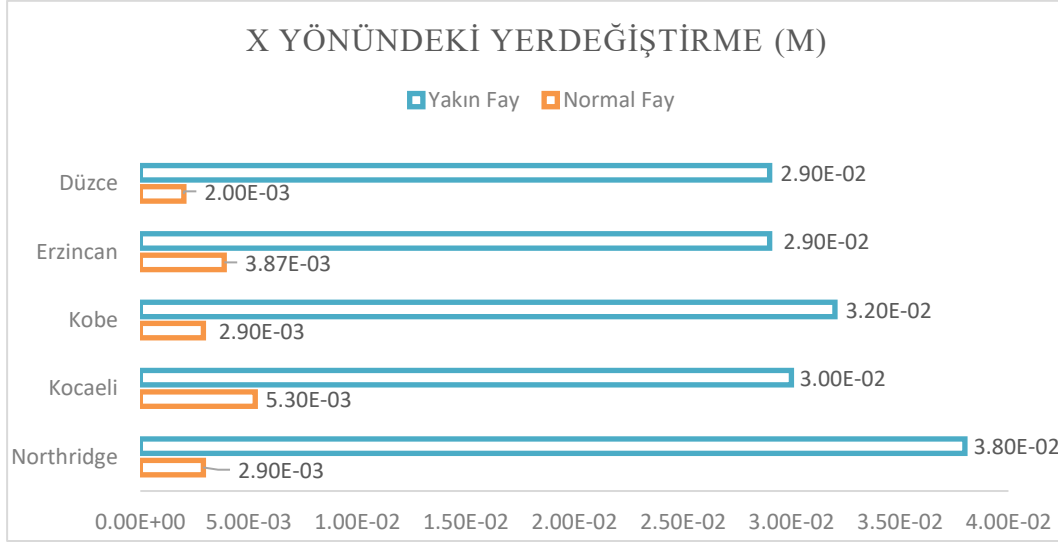
Mod No	Erzincan		Kocaeli		Düzce		Kobe		Northridge	
	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay
1	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88
2	1,49	1,49	1,5	1,49	1,5	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49
3	1,21	1,21	1,21	1,21	1,216	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21

**Tablo 7.2 :** Modlara göre kütle katılım oranları

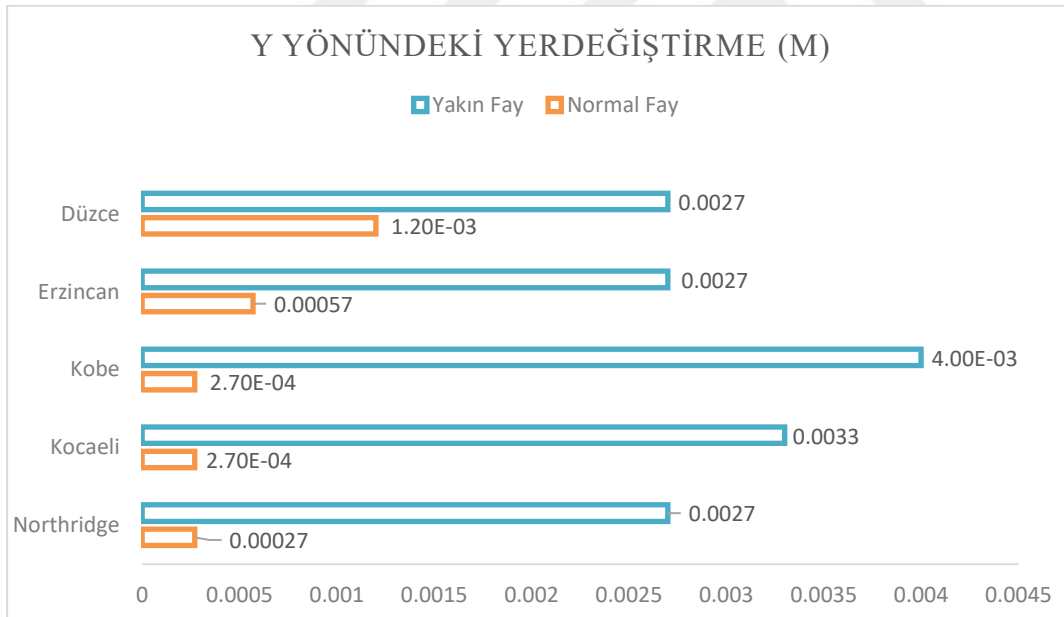
Mod No	Erzincan		Kocaeli		Düzce		Kobe		Northridge	
	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay	Normal Fay	Yakın Fay
1	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
2	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
3	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64

Mod sayısına göre periyot değerleri ve kütle katılım oranları incelendiğinde normal fay ve yakın fay etkisinin neredeyse aynı olduğu görülmüştür. Mod sayısı arttıkça periyodun azaldığı, kütle katılım oranının ise değişmediği görülmektedir. Yığma

yapıların yüksek rijitliğe sahip olması ve ağır olmaları nedeniyle analiz sonucunda periyod değerleri beklenildiği gibi yüksek çıkmamıştır.



(a)



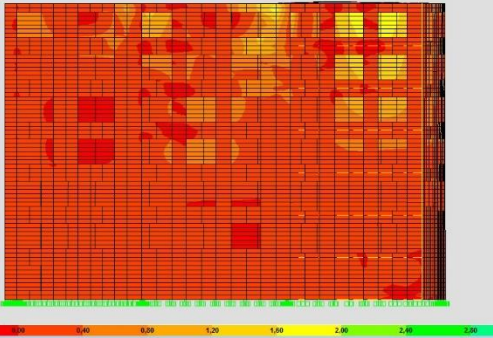
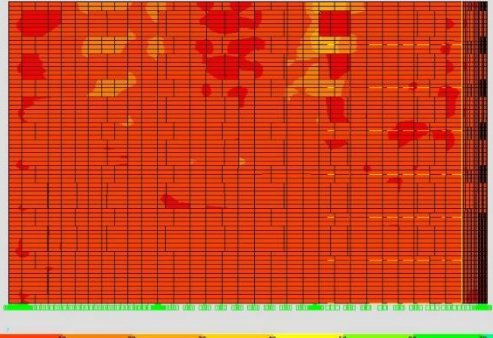
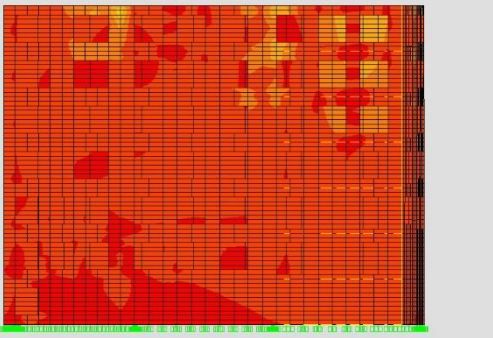
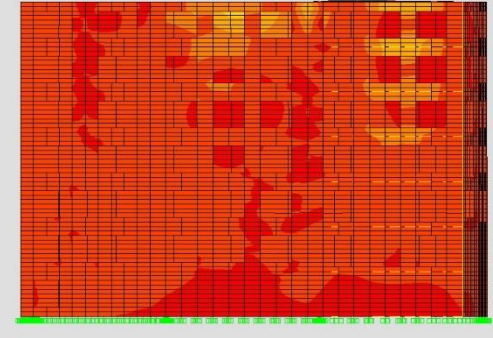
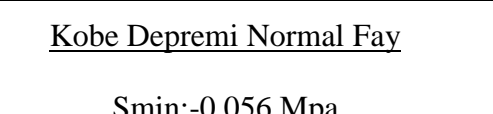
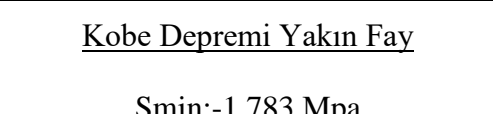
(b)

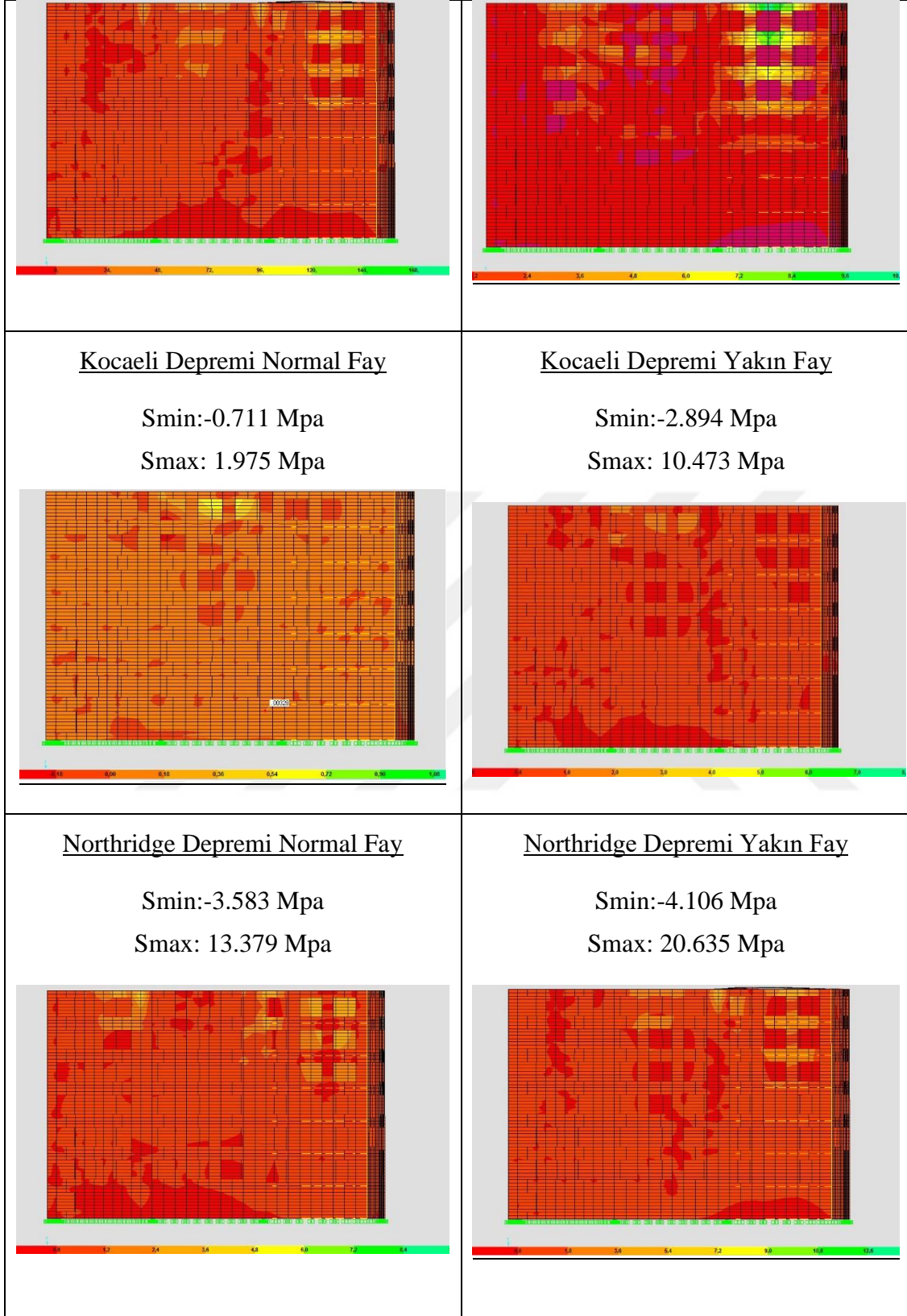
**Şekil 7.10 :** Valpreda Apartmanı'nın normal fay ve yakın fay etkili X yönündeki (a) ve Y yönündeki (b) yerdeğiştirme grafikleri.

Yerdeğiştirme grafiklerinde yapının X yönündeki en üst katın tavan kotu baz alınmıştır. X yönündeki en büyük yerdeğiştirmenin Northridge depreminin yakın fay etkili kaydı,

Y yönündeki en büyük yerdeğiştirme ise yakın fay etkili Kobe depreminde olduğu görülmektedir.

**Tablo 7.3 :** Valpreda Apartmanı'nın 5 ayrı deprem kaydına ait normal fay ve yakın fay etkisindeki min. ve maks. gerilme değerleri.

<p><u>Düzce Depremi Normal Fay</u></p> <p>Smin:-0.879 Mpa Smax: 4.292 Mpa</p> 	<p><u>Düzce Depremi Yakın Fay</u></p> <p>Smin:-21.862 Mpa Smax: 15.582 Mpa</p> 
<p><u>Erzincan Depremi Normal Fay</u></p> <p>Smin:-2.757 Mpa Smax: 10.660 Mpa</p> 	<p><u>Erzincan Depremi Yakın Fay</u></p> <p>Smin:-8.711 Mpa Smax: 42.992 Mpa</p> 
<p><u>Kobe Depremi Normal Fay</u></p> <p>Smin:-0.056 Mpa Smax: 0.280 Mpa</p> 	<p><u>Kobe Depremi Yakın Fay</u></p> <p>Smin:-1.783 Mpa Smax: 14.698 Mpa</p> 



**Şekil 7.11** : Valpreda Apartmanı'nın 5 ayrı deprem kaydına ait normal fay ve yakın fay etkisindeki min. ve maks. gerilme değerleri.

Sonuçlar incelendiğinde mod sayısına göre periyod ve kütle katılım oranlarının normal fay ve yakın fay etkisinin çok farklı olmadığı anlaşılmaktadır. Yerdeğiştirmeler incelendiğinde yakın fay etkisinin bariz bir şekilde yapıyı etkilediği ve en çok yerdeğiştirmenin X yönünde 0.038 m ile yakın fay etkili Northridge depremi kaydında meydana geldiği görölmektedir. Gerilmeler aşıısından bakıldığında yine yakın fay etkisinin normal fay etkisine göre yapıyı daha fazla etkilediği anlaşılmaktadır. Erzincan depremi yakın fay etkili kaydının 42.992 Mpa ile yapıyı en çok etkileyen kayıt olduğu görölmektedir.





## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı mimari özelliklere ve taşıyıcı sisteme sahip üç farklı tarihi yığma yapının yakın fay etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Öncelikle tarihi yapıların malzeme ve taşıyıcı sistem özellikleri açıklanmış, yığma yapıların dış yükler altındaki davranışı ve deprem performansı irdelenmiştir. Sonra depremin nasıl meydana geldiği ve Türkiye'nin depremselliğinden bahsedilmiştir. Ardından yakın fay kavramı açıklanmış, yakın fay etkisinin nasıl elde edildiği anlatılmış ve beş ayrı gerçek deprem kaydının yakın fay etkili ivme kayıtları elde edilmiştir. Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde bulunan ve deprem kaynağına 15 km'ye kadar uzaklıkta bulunan üç farklı yapıya normal deprem kayıtları ile yakın fay etkili deprem kayıtları etkilerek yapılarda oluşan kuvvetler karşılaştırılmıştır.

1. İvazpaşa Camii'nde yapılan analiz sonuçlarına göre en büyük yerdeğiştirme Y yönünde Kobe depreminin yakın fay etkili kaydı yapmıştır. En büyük gerilme ise yakın fay etkili Düzce Depremi yapmıştır. Yakın fay etkisi ile normal fay etkisi karşılaştırıldığından hasar bölgelerinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir.
2. Camii duvarlarında en büyük etki pencere ve kapı boşluklarında oluşmaktadır. Ancak yapıda fazla pencere boşluğu bulunmadığı için duvarlarda fazla hasar beklenmemektedir.
3. Koyunbaba Köprüsü'nde en büyük yerdeğiştirme yakın fay etkisi bindirilmiş Northridge deprem kaydında görülmüş, en büyük gerilme ise yakın fay etkili Düzce depreminde görülmüştür. Köprüye etkilenen yakın ve normal fay etkileri karşılaştırıldığında fazla fark görülmemiştir. Bunun sebebi olarak ağır ve rijit bir yapıya sahip olması düşünülmektedir.
4. Valpreda Apartmanı'nda en büyük yerdeğiştirme X yönünde yakın fay etkili Northridge depremi yaratmıştır. Çok katlı olmasına bağlı olarak periyodu yüksek olan binanın yakın fay etkili deprem kayıtlarında normal deprem kayıtlarına göre gözle görülür derecede enerjiye maruz kaldığı anlaşılmıştır.

5. Yapılan araştırmalarda yakın fay etkisinin yüksek periyodlu yapıları daha çok etkilediğinden bahsedilmişti. Bu çalışmada masif taş köprü ve kesitleri büyük camii gibi tarihi yığma yapıların faya yakın olması durumunda fazla etkilenmediğı görölmüştür. Yüksek periyoda sahip çok katlı apartmanların ise en çok etkiye maruz kaldığı oldukça açıktır.

6. Yığma yapıların yakın fay etkisi altında mod sayısına göre periyod değerlerinin ve kütle katılım oranlarının ise fazla değişmediğı gözlemlenmiştir.





## KAYNAKLAR

- [1] **Bayraktar, Ali.** (2006) Tarihi Yapıların Analitik İncelemesi ve Sismik Güçlendirme Teknikleri, Beta Yayınları, İstanbul.
- [2] **Heyman, J.,** 2006. The science of structural engineering, Imperial College Press, London
- [3] **Yılmaz, P.** (2006) Tarihi yapıların modellenmesi ve deprem güvenliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [4] **Saraç, M.M.** (2003) Tarihi yığma kargir yapıların güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- [5] **Lourenço, P.B.,** 2000, Current experimental and numerical issues in masonry research, Universidade do Minho, Portugal.
- [6] **Unay, Ali İhsan.** (2002) Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı. ODTÜ Mimarlık Fakültesi.
- [7] **Çılı, F., Sesigür, H.,** (2007) Tarihi Yapıların Onarımı/Güçlendirilmesi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Seminer Notları
- [8] **Celep, Z.** (2004) Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Yayınları, İstanbul.
- [9] **USGS,** United States Geological Survey.
- [10] **Ambraseys, N.N. ve Tchalenko, J.S.,** (1972) Seismotektonic aspects of the Gediz, Turkey, earthquake of March 1970.
- [11] **Ketin, I.** (1976) “A Comparison Between the San Andreas and the North Anatolian Faults”, Bull. Geol. Soc. Turkey.
- [12] **Mckenzie, D.** (1972) Active Tectonics of the Mediterranean Region.
- [13] **Steward, J. P., Chiou, S., Bray, J. D., Graves, R. W., Somerville, P. G., Abrahamson, N. A. (2001).** Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design. Report 2001/09, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, USA
- [14] **MATLAB,** Mathworks Company.
- [15] **UBC-1997** (1997). Uniform Building Code 1997, Earthquake Regulations for Seismic-isolated Structures, Chapter 16, International Conference of Building Officials, Whittier, California, USA.
- [16] **Makris, N.** (1997). Rigidity-Plasticity-Viscosity: Can Electrorheological Dampers Protect Base-Isolated Structures From Near-Source Ground Motions? Earthquake Engineering and Structural Dynamics.

- [17] **Makris, N., Chang, S.** (2000). Effect of Viscoplastic and Friction Damping on The Responce of Seismic Isolated Structures. Earthquake Engineering and Structural Dynamics.
- [18] **Eyice, S.** İslam Ansiklopedisi, Türk Diyanet Vakfı.
- [19] **Özkaymak, Ç.** (2012) Manisa Havzası'nın Aktif Tektoniği ve Depremselliği, Batı Anadolu, Türkiye.
- [20] **SAP2000.** CSI, Computer and Science INC.
- [21] **Dabanlı, Ö.** (2008) Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- [22] **Fahjan, Y.M.** (2008) Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY,2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, İMO Teknik Dergi.
- [23] **Seismomatch,** Seismosoft Company
- [24] **ERTURAC M. Korhan, TÜYSÜZ O.** (2010) Amasya ve Çevresinin Depremselliği ve Deterministik Deprem Tehlike Analizi, İtü Dergisi.
- [25] **Zengin, M.** (2006) Osmancık (Çorum) Kuzeydoğusunda Yer Alan Volkaniklerin Epitermal Cevherleşme Potansiyeli Ve Mavi Kalsedon Oluşumu, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- [26] **Koçyiğit, A.** (2010). Marmara Bölgesinin Depremselliği ve Deprem Kaynakları (Faylar).
- [27] **Kalafat, D.** (2011). Marmara Bölgesi'nin Depremselliği ve Deprem Ağının Önemi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara.
- [28] **Kalafat, D.** (2000). 17 Ağustos 1999 Marmara ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremleri-Marmara Denizinin Genel Yapısı, Deprem ve İstanbul Kitabı, T.C. İstanbul Valiliği Yayını,İstanbul.
- Url-1**<<https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/corum/gezilecekyer/koyunbaba-koprusu>>, erişim tarihi01.05.2018.
- Url-2**<<http://www.tarihiyapilar.org/tarihi-valpreda-apartmani/>>,erişim tarihi10.01.2013.
- Url-3**<<http://www.mustafacambaz.com>>, erişim tarihi 01.05.2018
- Url-4** <[http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/yenilenmis\\_diri\\_fay\\_haritalari\\_izmir.pdf](http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/yenilenmis_diri_fay_haritalari_izmir.pdf)>

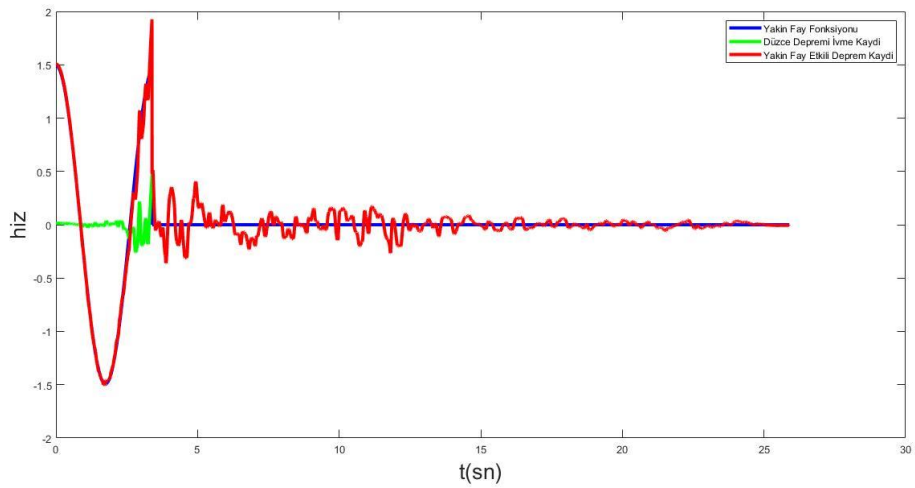
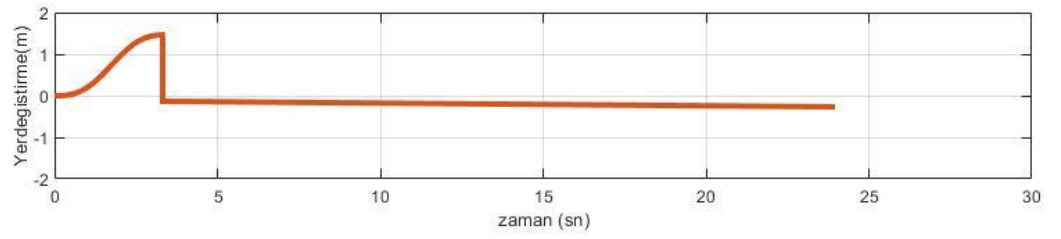
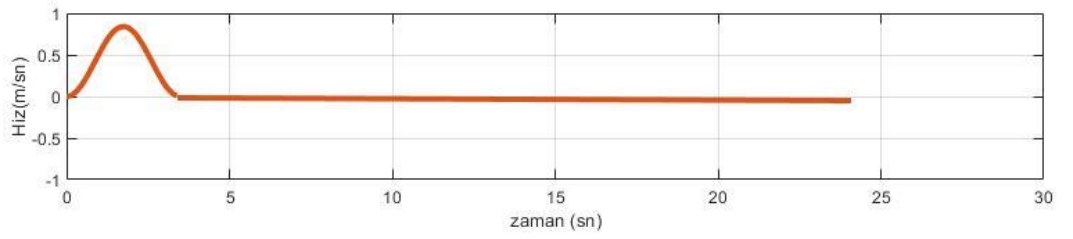
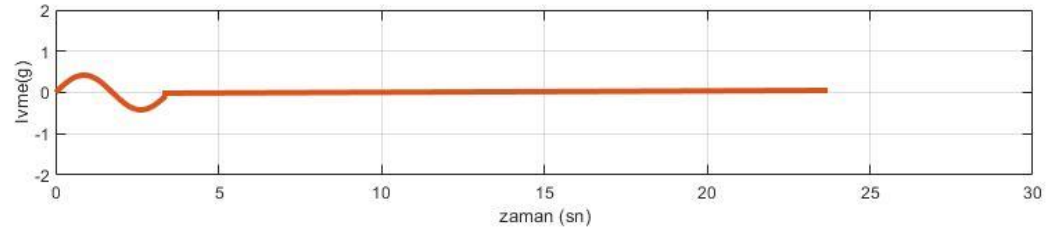
## **EKLER**

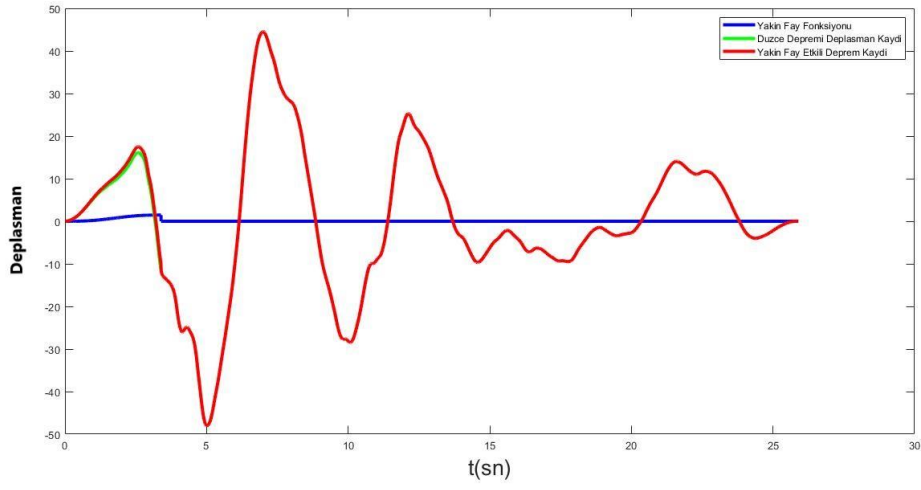
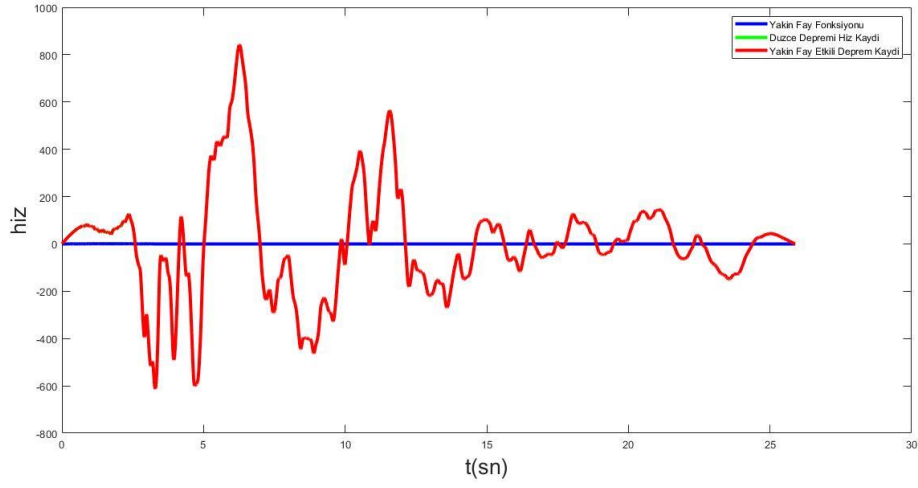


## **EK-A**

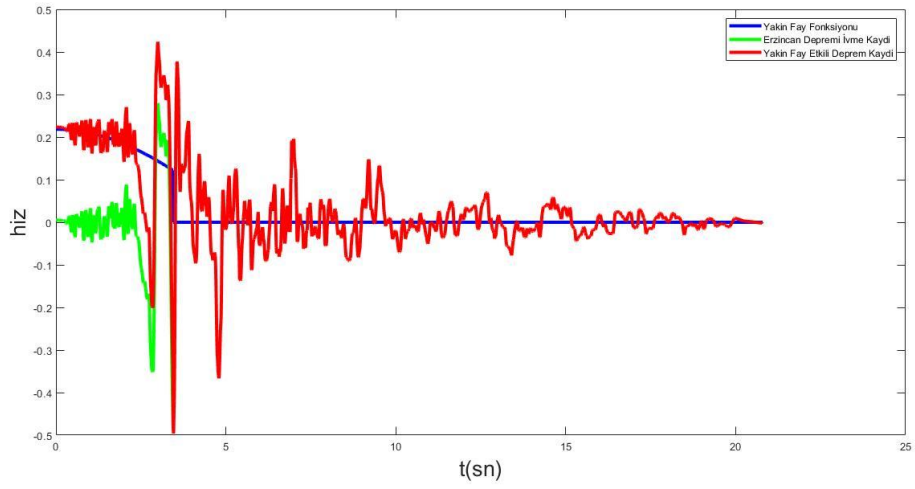
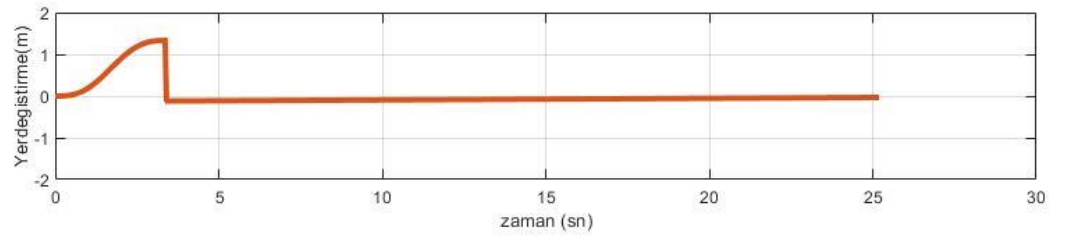
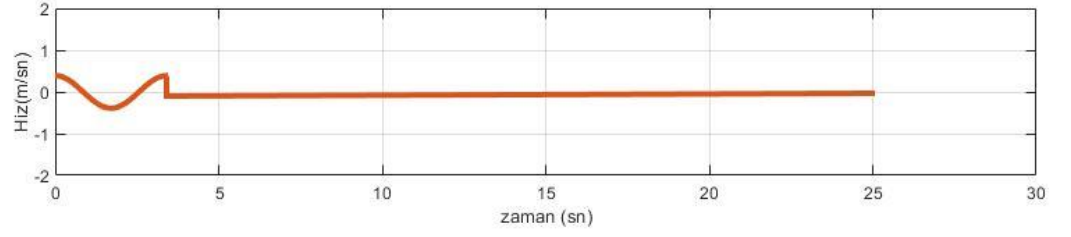
### **5 Ayrı Deprem Kaydına Ait Tip-A Darbe Titreşimleri ve Darbe Titreşimleri Bindirilmiş Deprem Kayıtlarına Ait Grafikler**

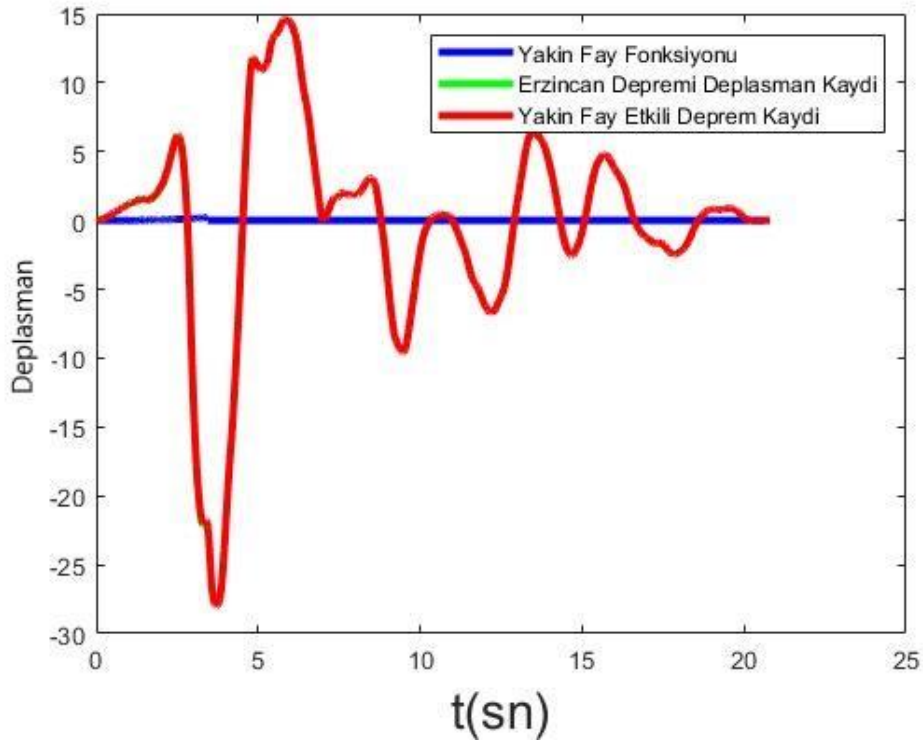
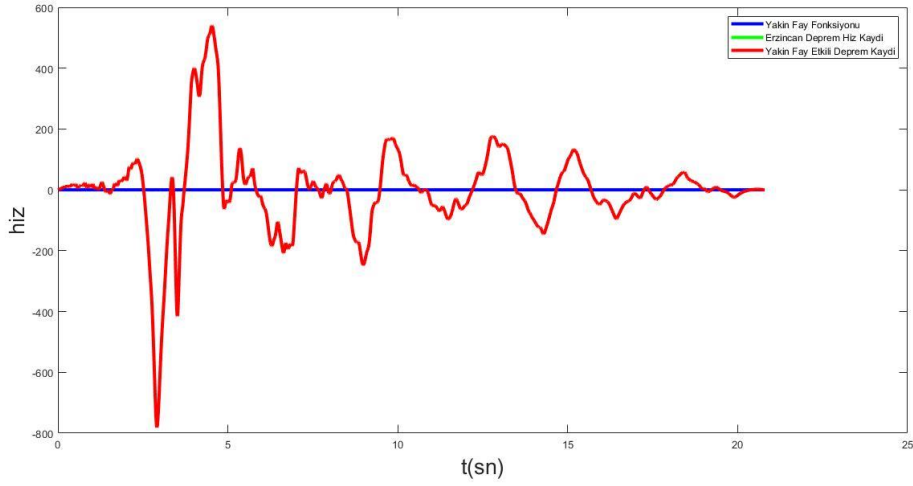






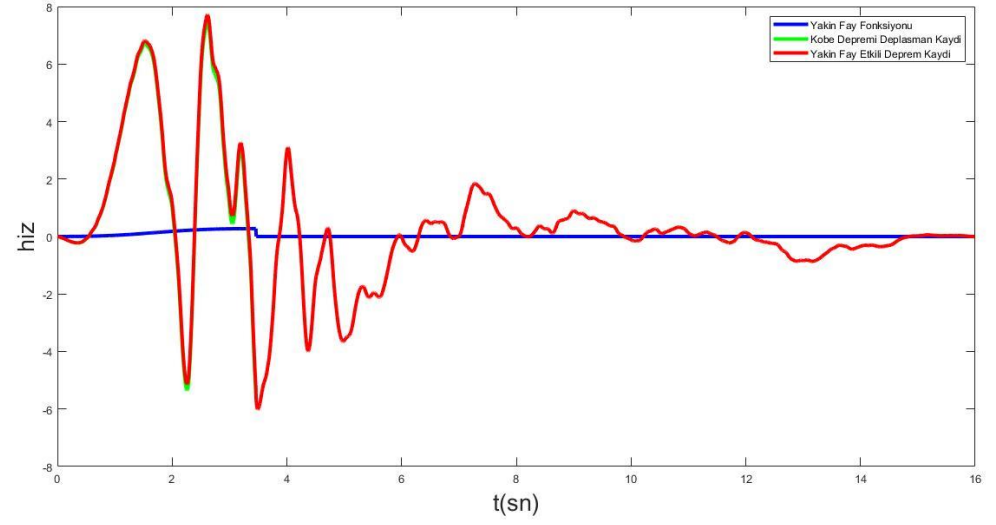
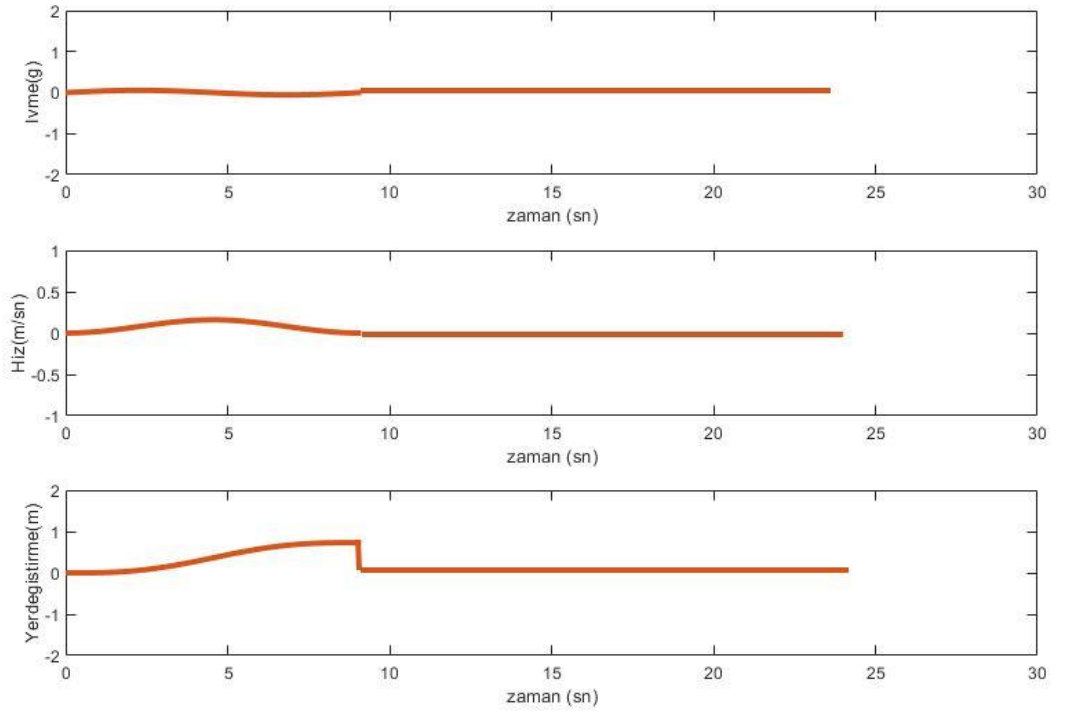
**Şekil A-1** : 1999 Düzce depremi Tip A darbe titreşimlerine ait ivme-zaman, hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri.

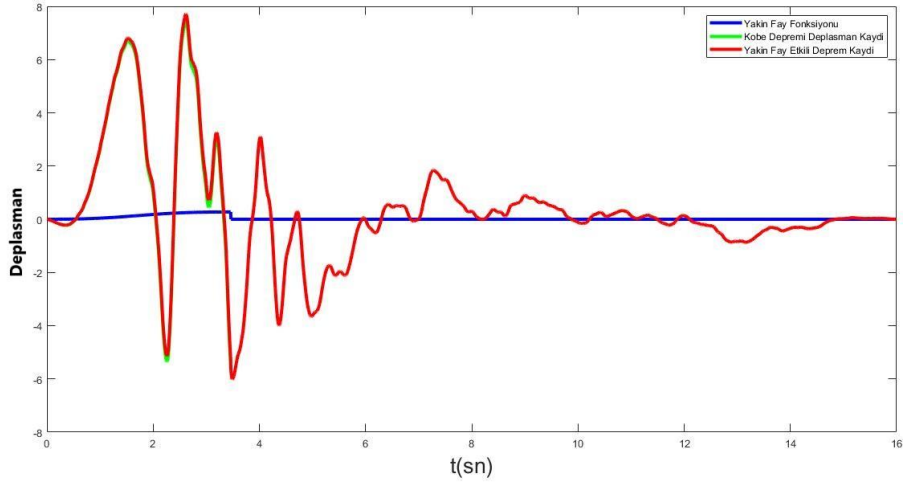
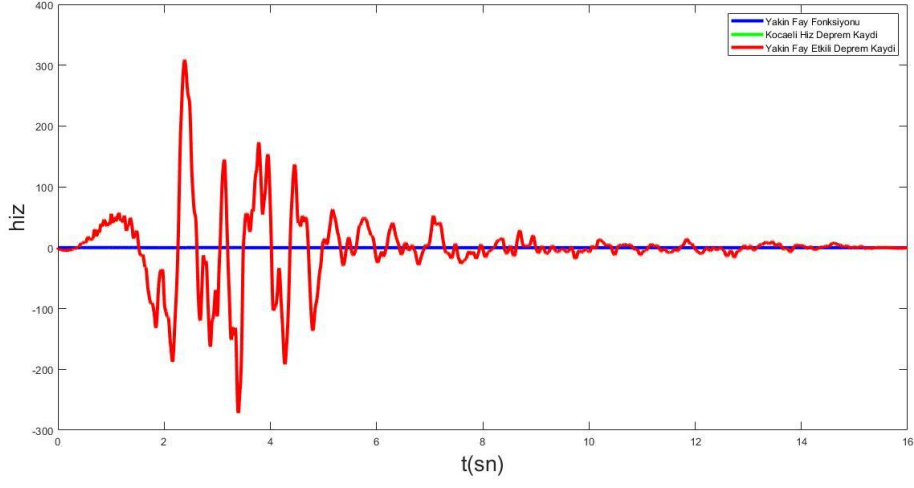




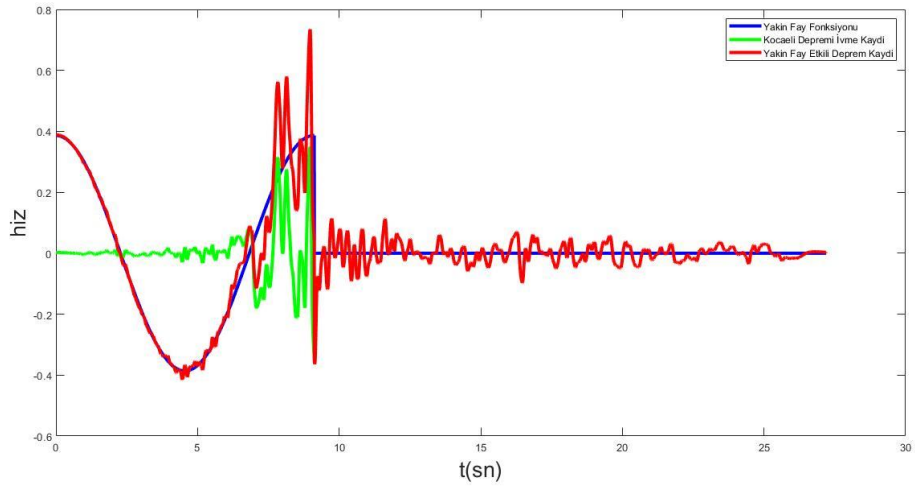
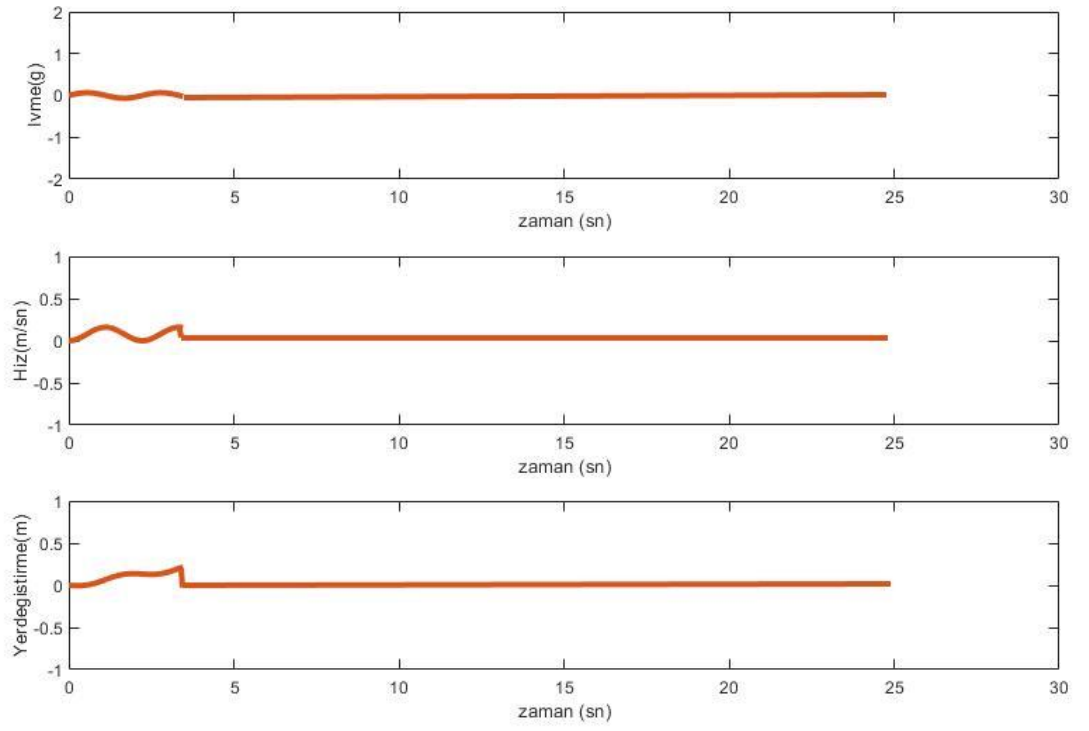
**Şekil A-2** : 1992 Erzincan depremi Tip A darbe titreşimlerine ait ivme-zaman, hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri.

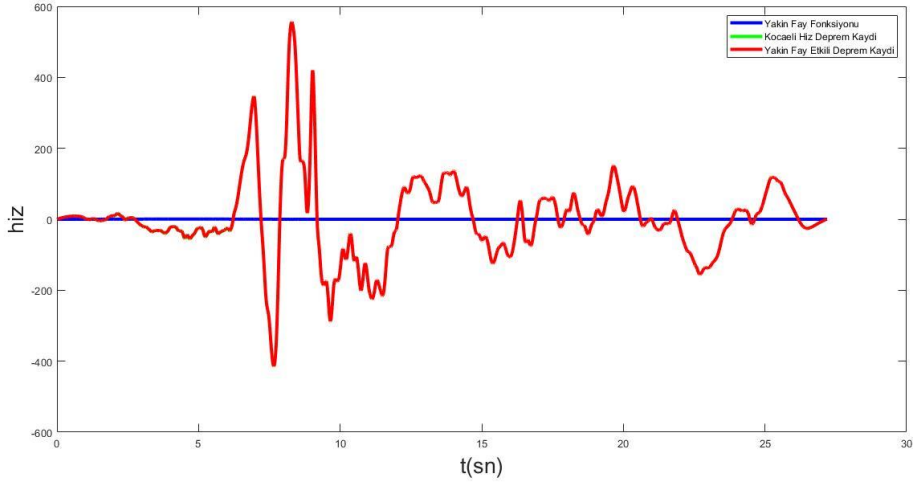
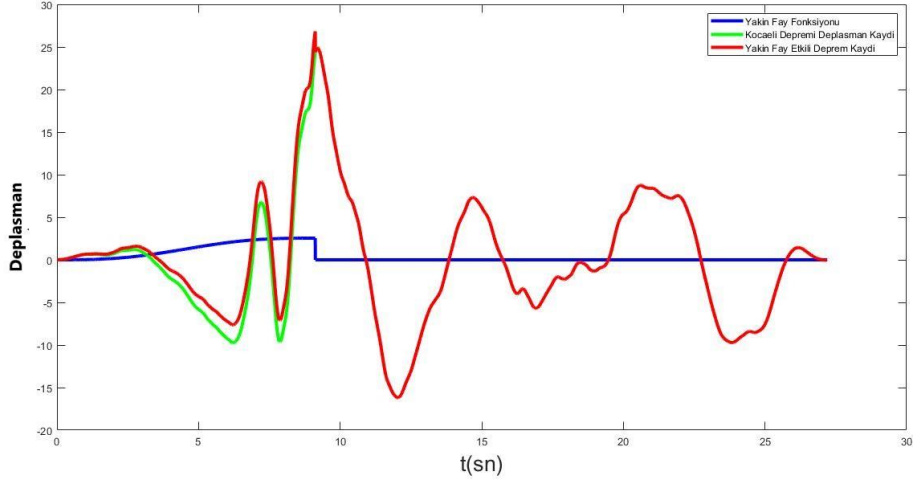




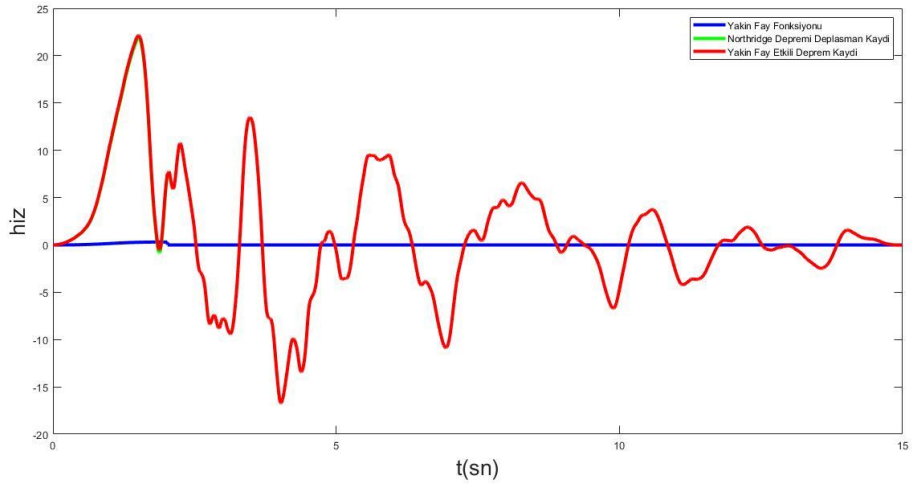
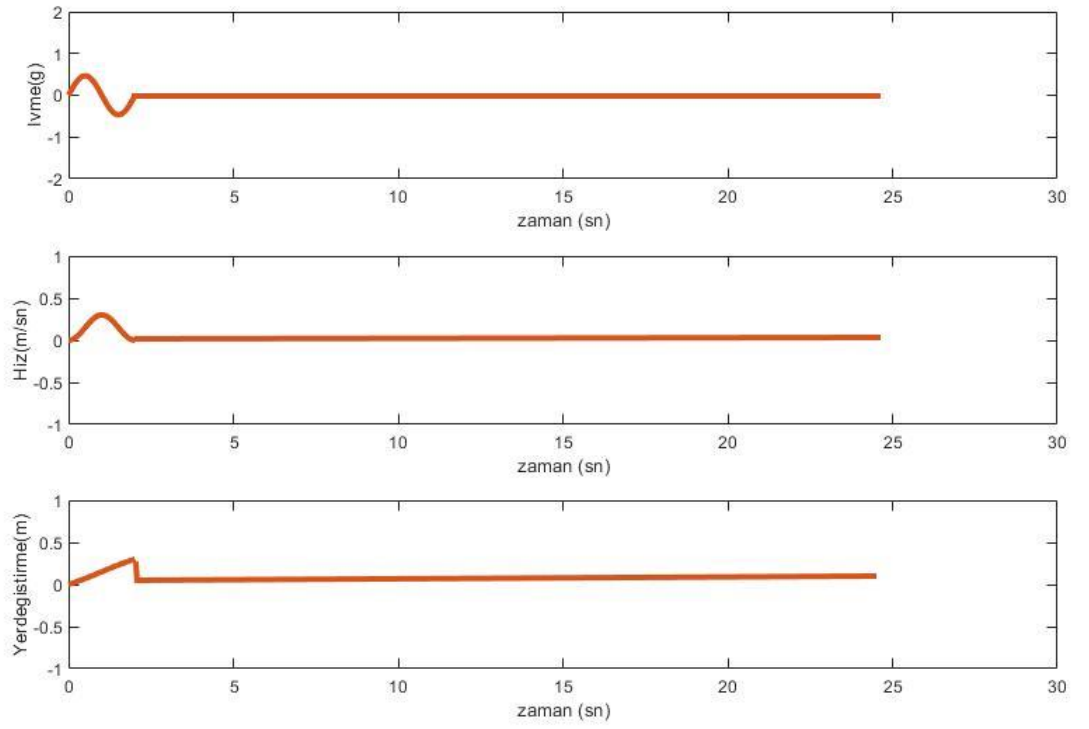


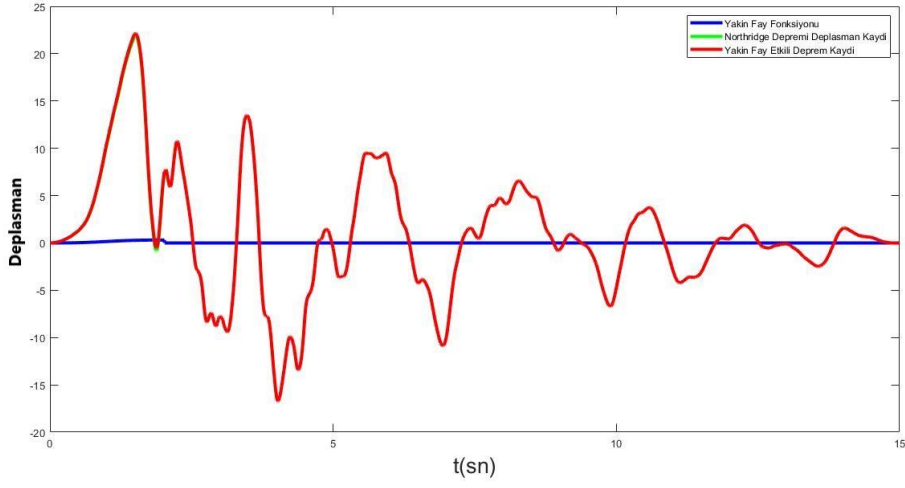
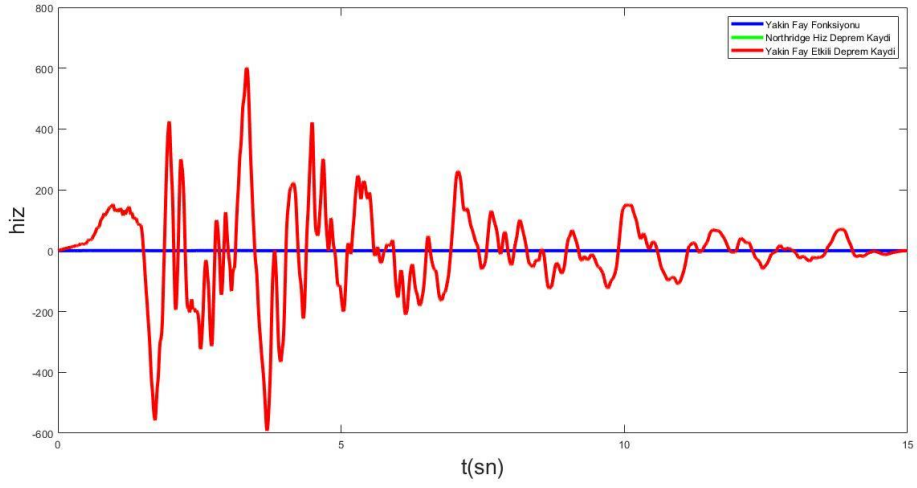
**Şekil A-3** : 1995 Kobe depremi Tip A darbe titreşimlerine ait ivme-zaman, hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri.





**Şekil A-4 :** 1999 Kocaeli depremi Tip A darbe titreşimlerine ait ivme-zaman, hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri.



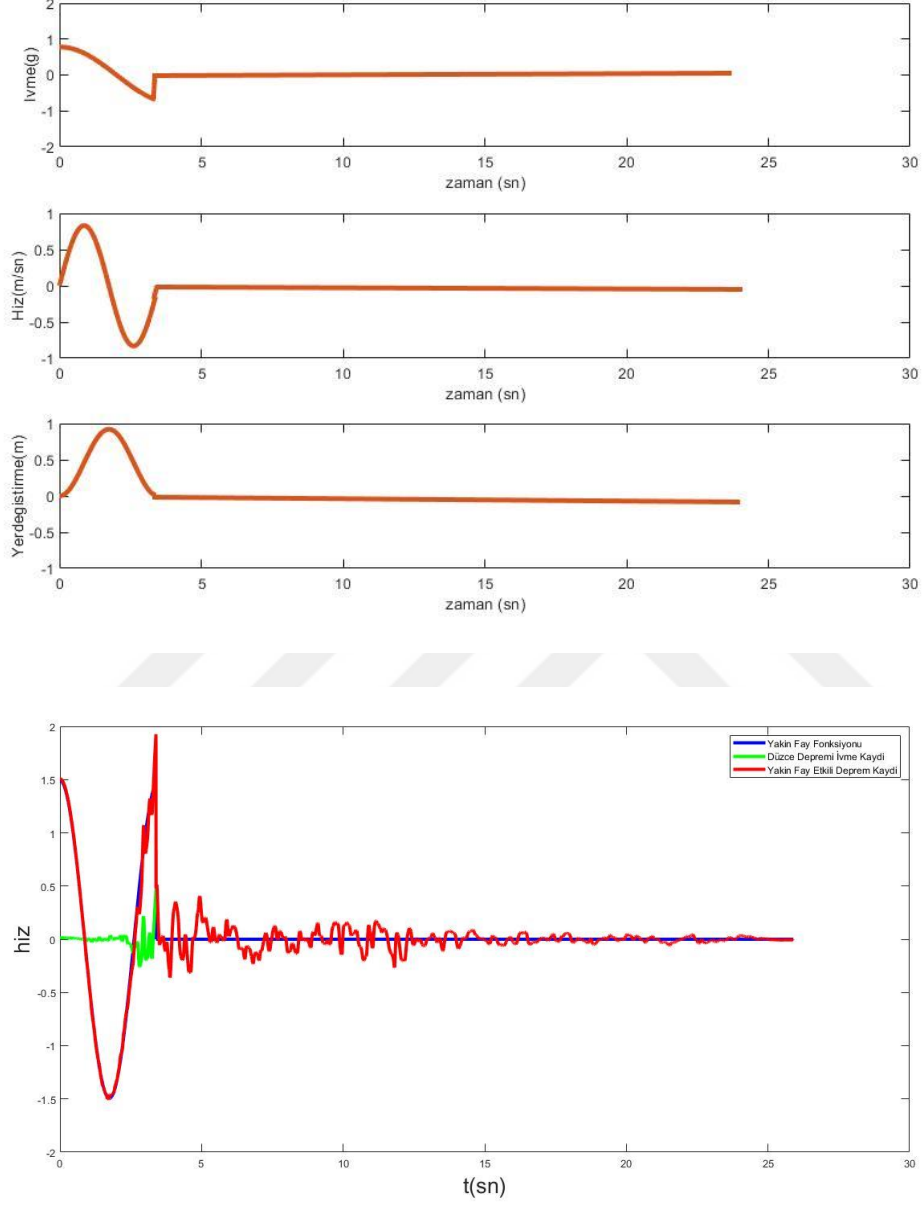


**Şekil A-5:** 1994 Northridge depremi Tip A darbe titreşimlerine ait ivme-zaman, hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri.

## **EK-B**

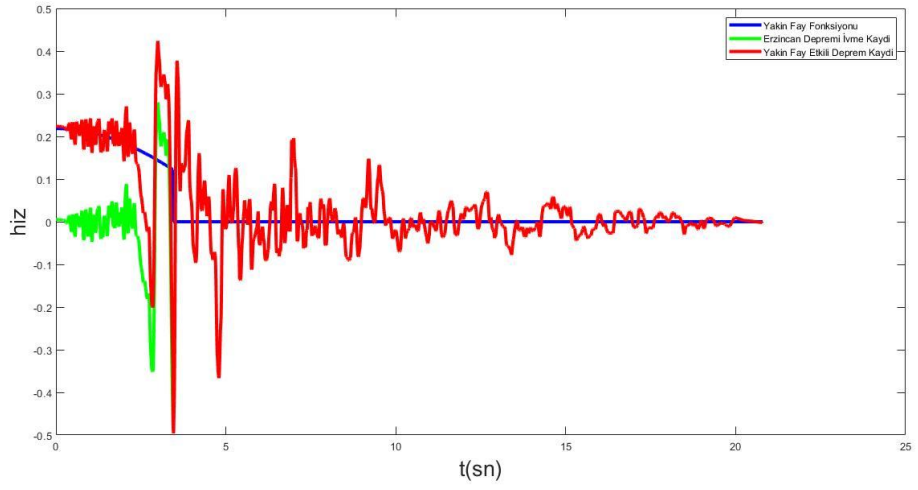
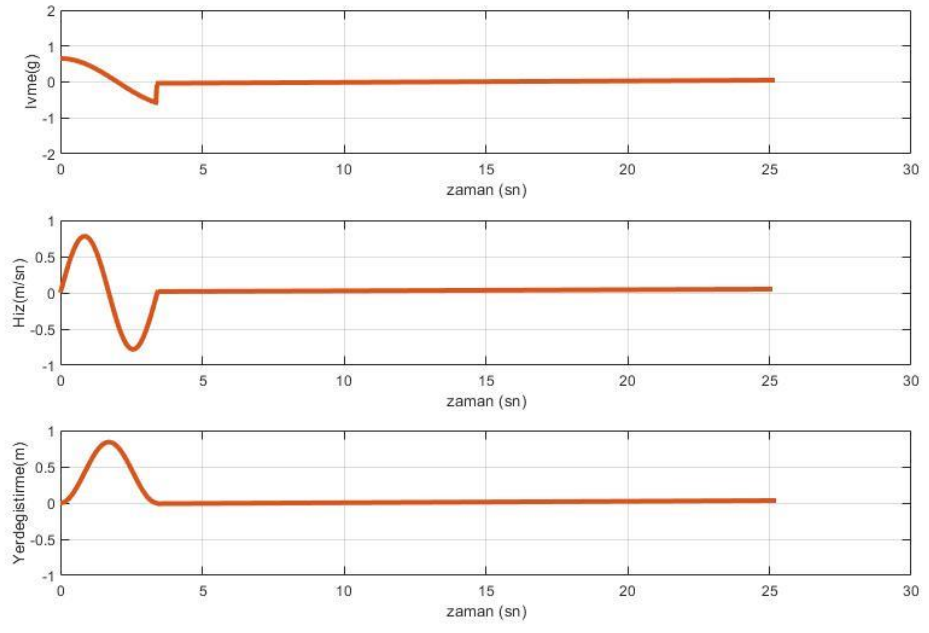
### **5 Ayrı Deprem Kaydına Ait Tip-B Darbe Titreşimlerine Ait Grafikler**



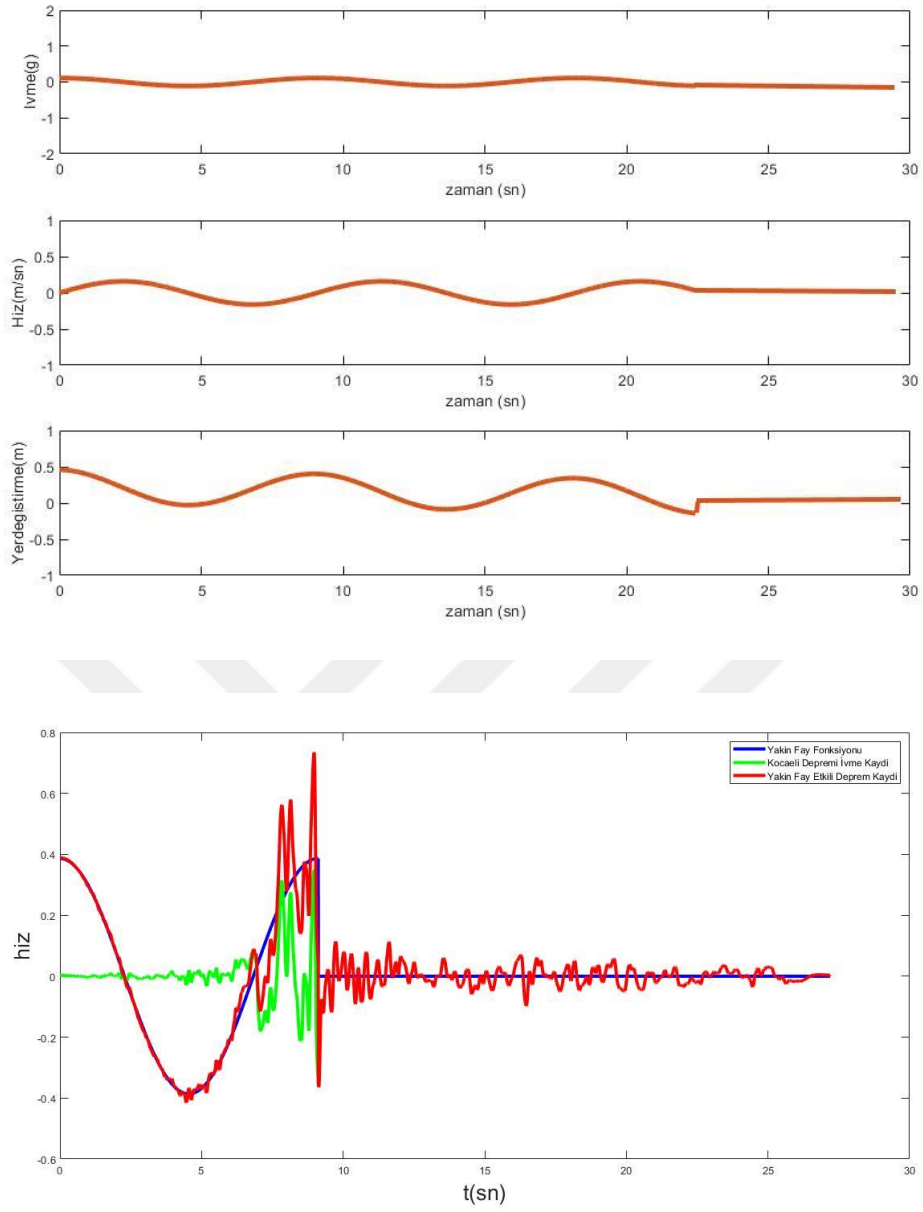


**Şekil B-1** : 1999 Düzce depremi Tip B darbe titreşimlerine ait grafikler.

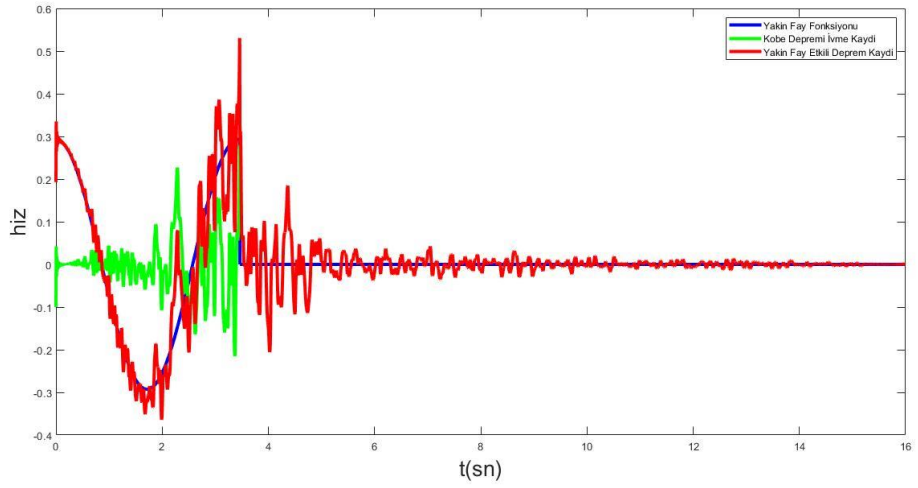
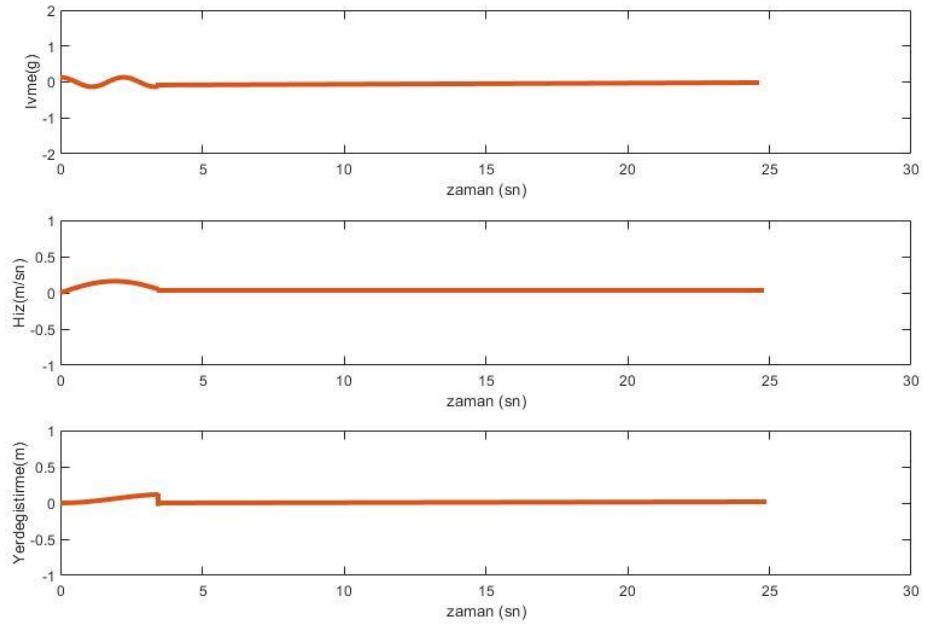




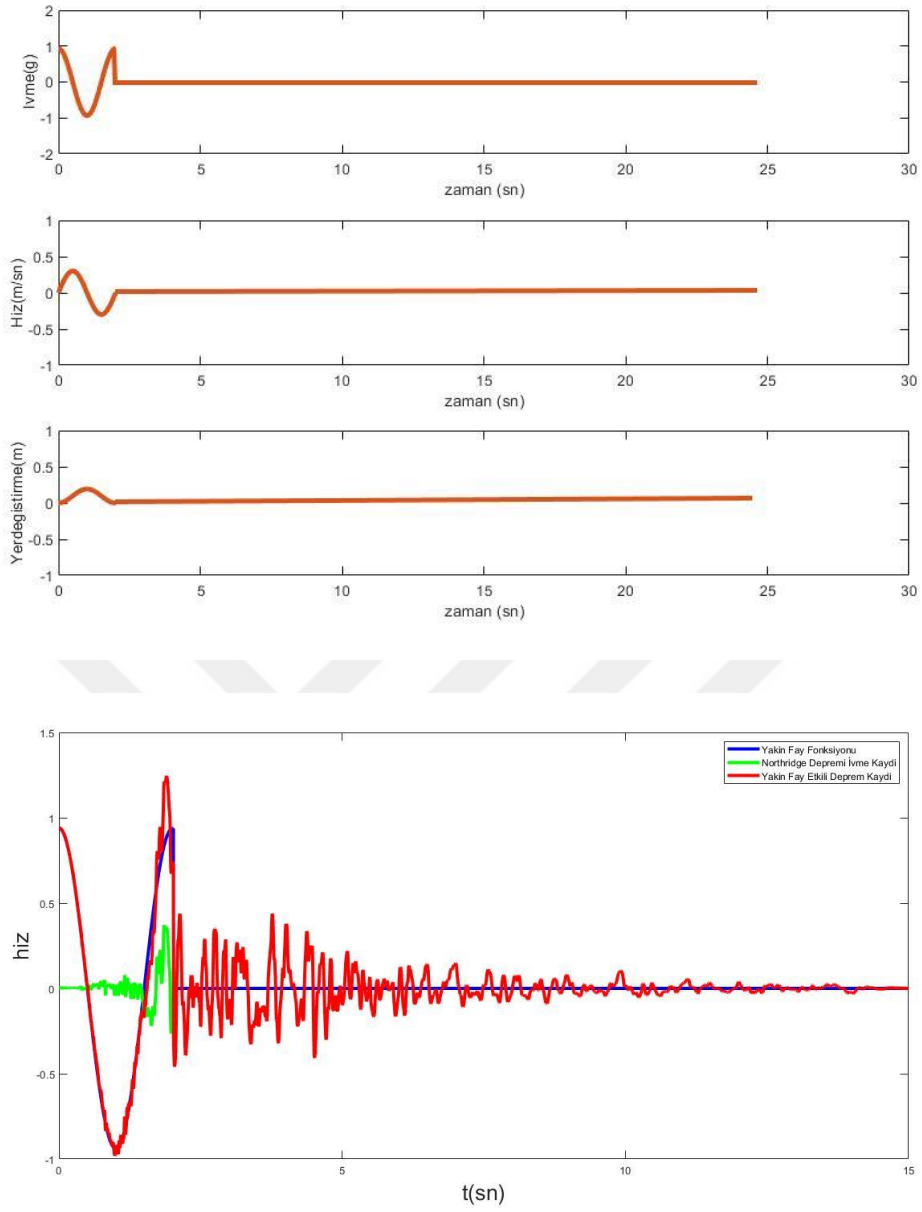
Şekil B-2 : 1992 Erzincan depremi Tip B darbe titreşimlerine ait grafikler.



**Şekil B-3 :** 1999 Kocaeli depremi Tip B darbe titreşimlerine ait grafikler.



Şekil B-4 : 1995 Kobe depremi Tip B darbe titreşimlerine ait grafikler.

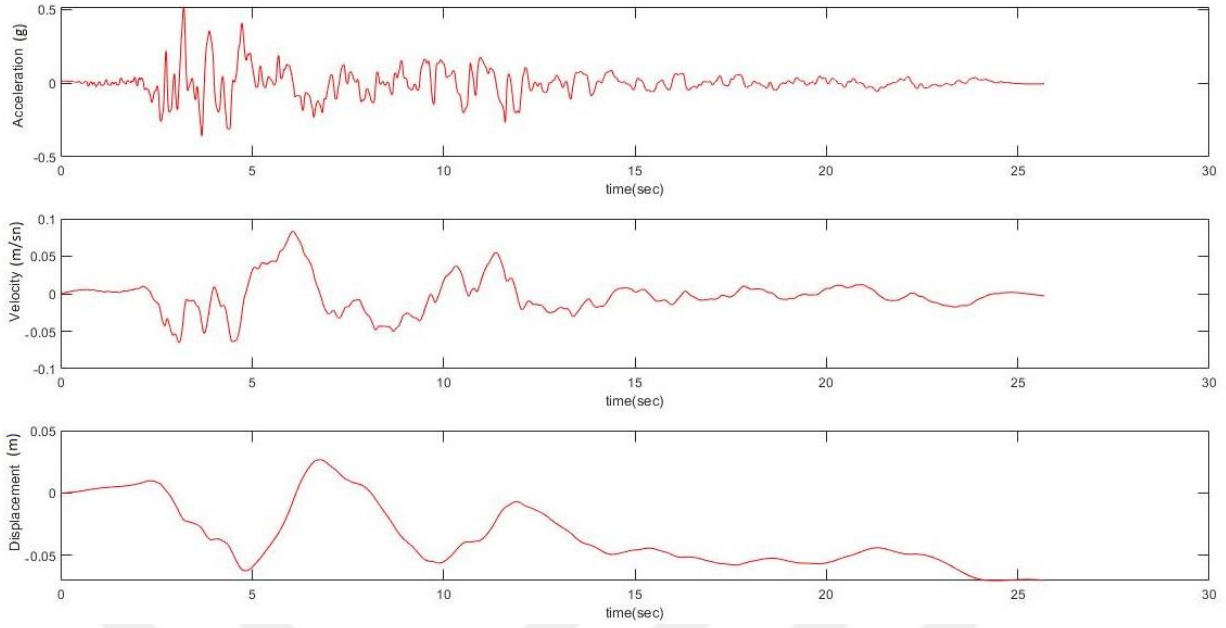


**Şekil B-5** : 1994 Northridge depremi Tip B darbe titreşimlerine ait grafikler.

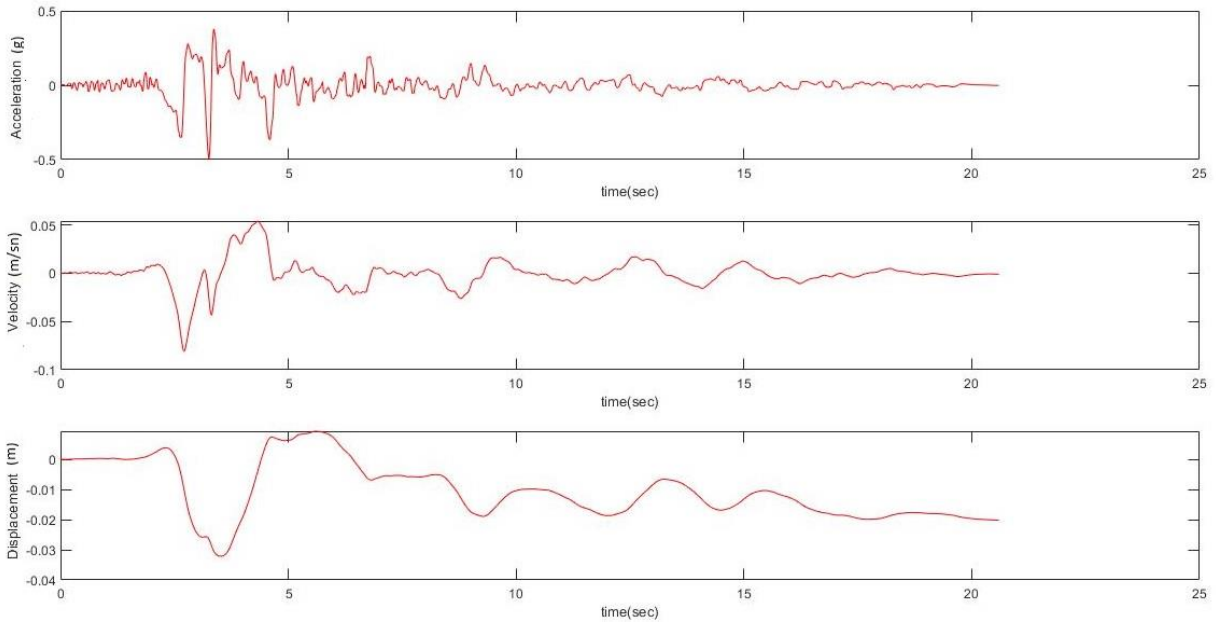
## **EK-C**

### **Deprem Kayıtlarına Ait İvme-Zaman, Hız-Zaman ve Yerdeğiştirme-Zaman Grafikleri**

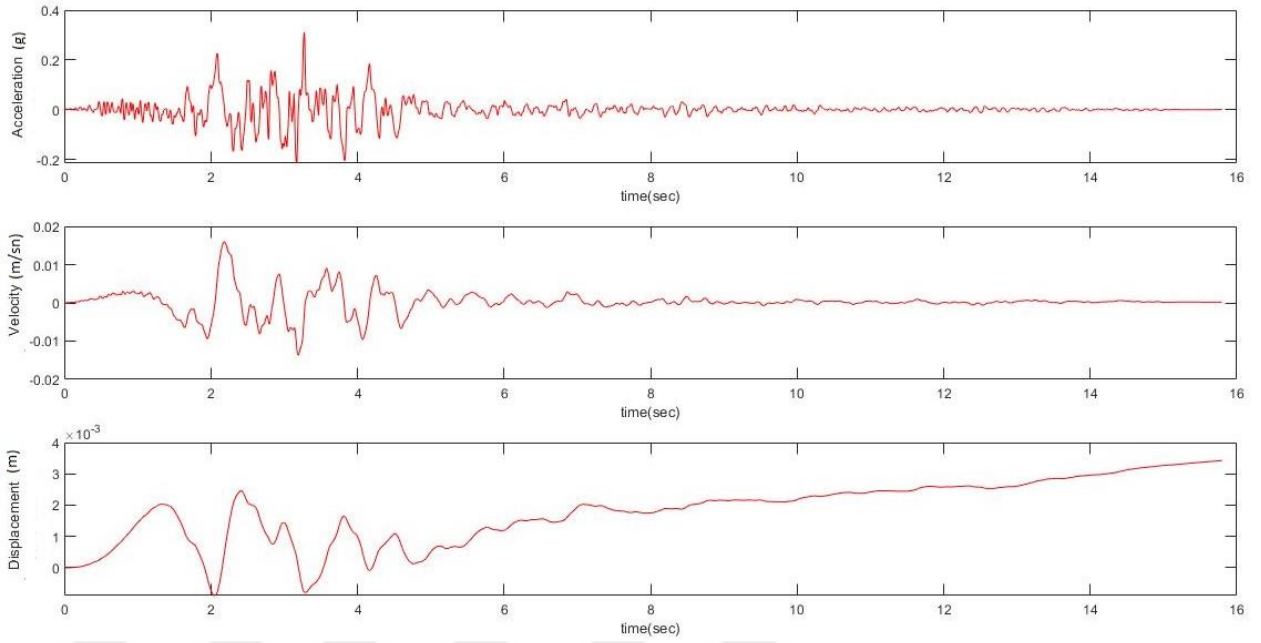




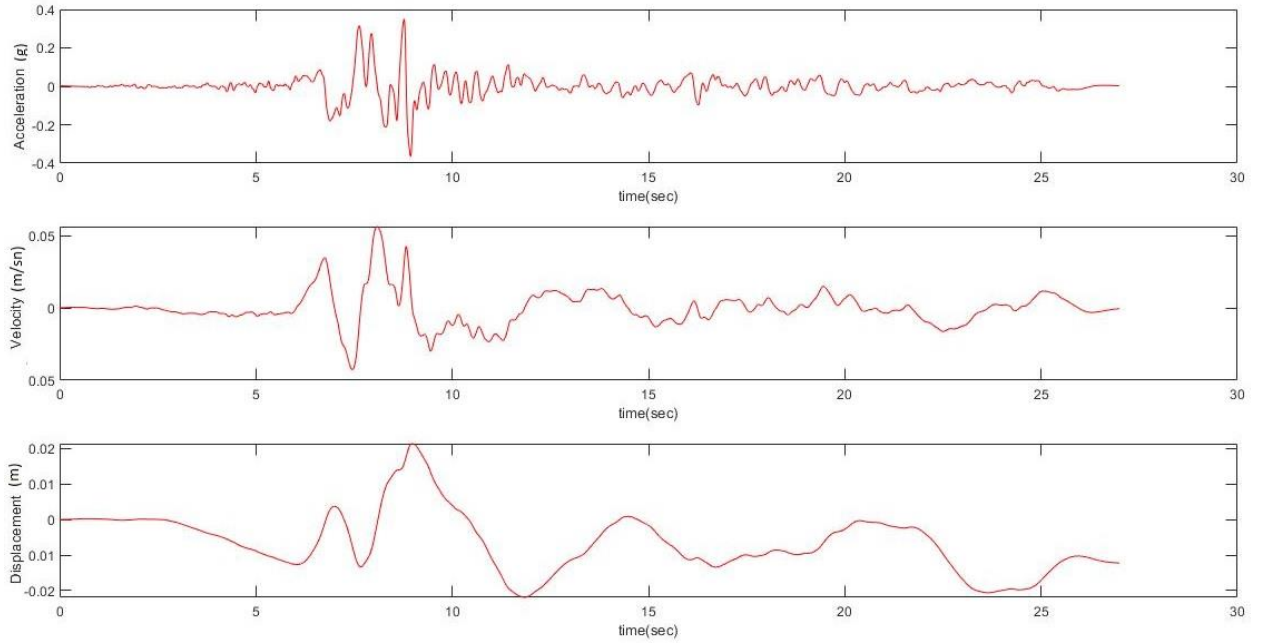
**Şekil C-1 : 1999 Düzce depremi ivme-zaman, hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri.**



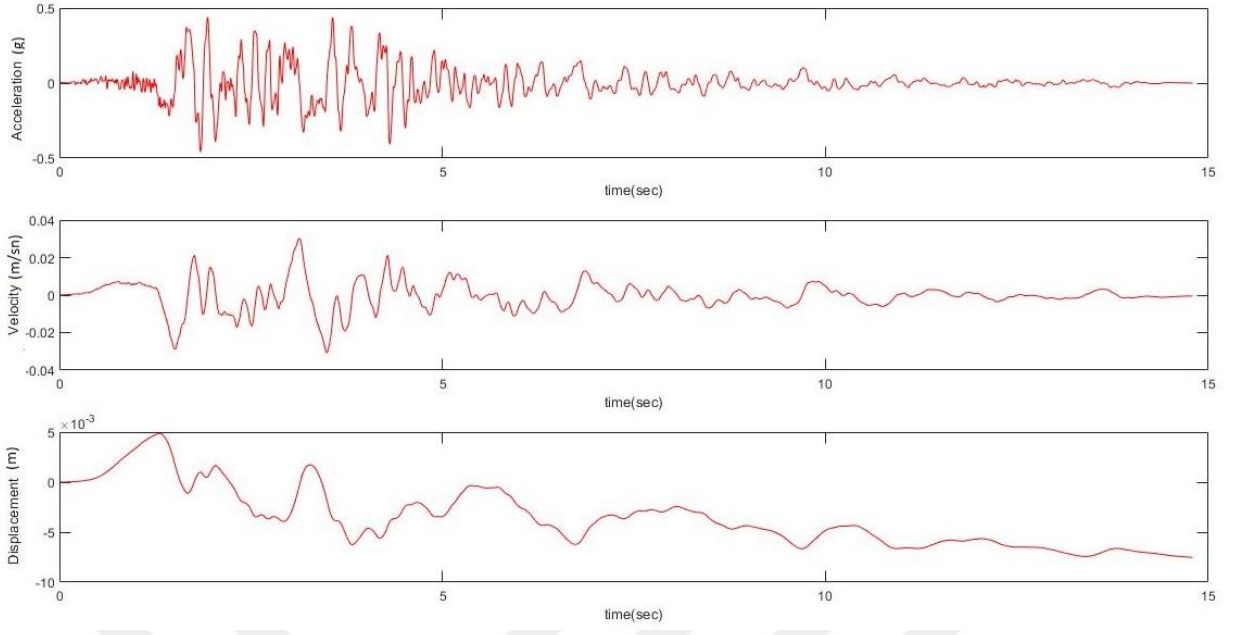
**Şekil C-2 : 1992 Erzincan depremi ivme-zaman, hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri.**



**Şekil C-3 :** 1995 Kobe depremi ivme-zaman, hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri.



**Şekil C-4 :** 1999 Kocaeli depremi ivme-zaman, hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri.



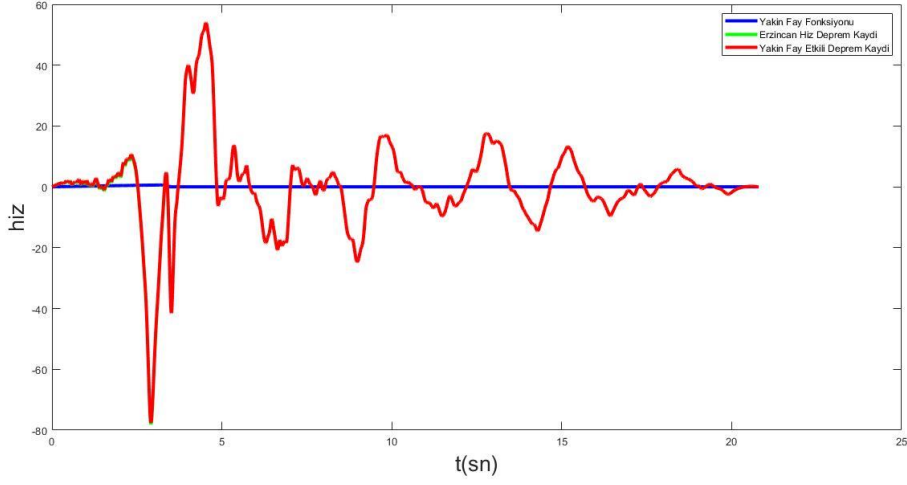
**Şekil C-5** : 1994 Northridge depremi ivme-zaman, hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri.



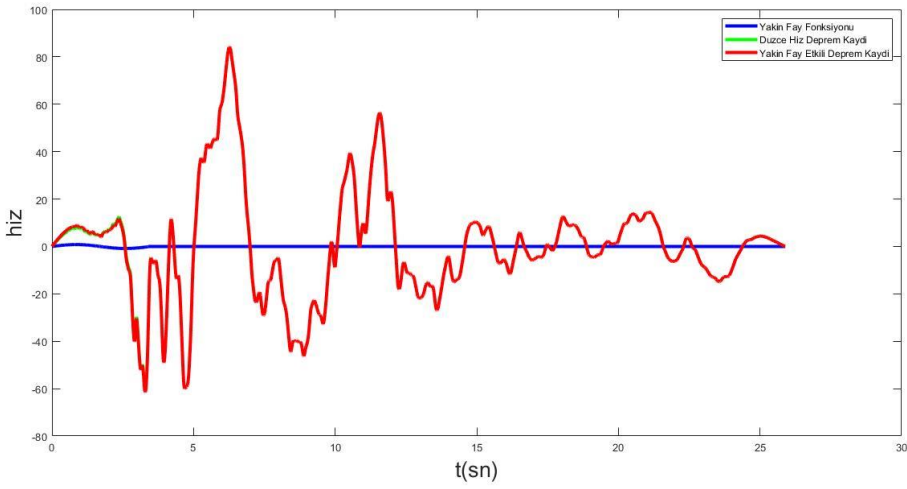
## **EK-D**

### **5 Ayrı Deprem Kaydına Ait Tip-C Darbe Titreşimlerine Ait Grafikler**

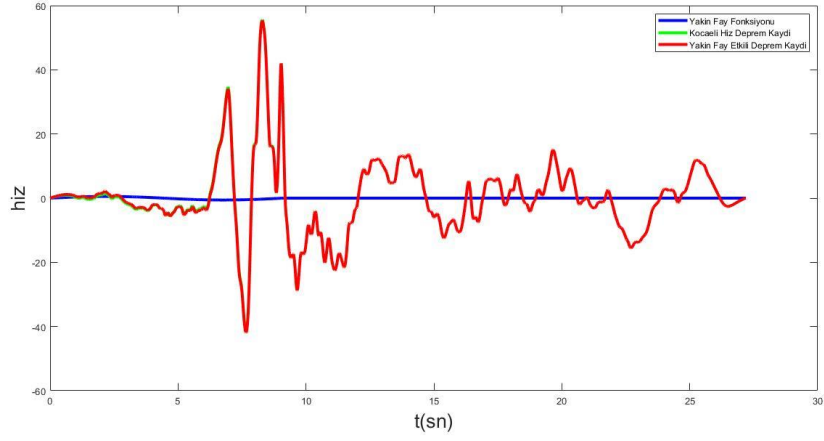




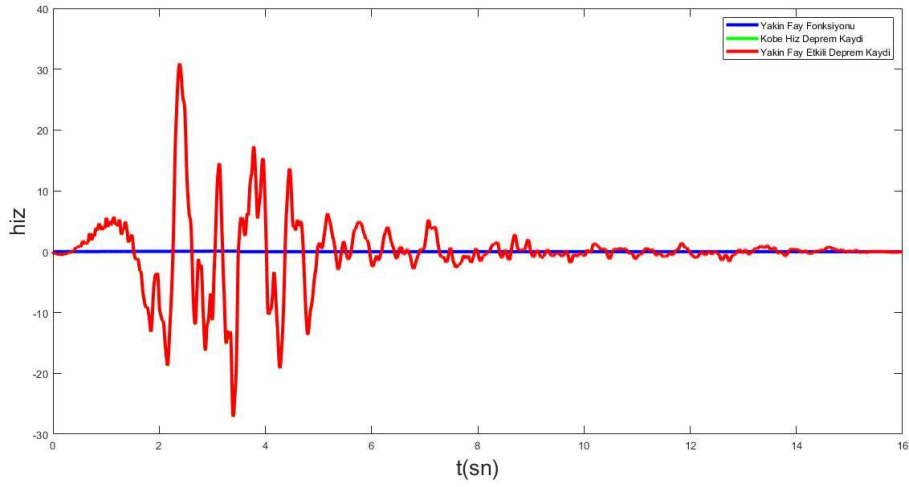
Şekil D-1 : 1992 Erzincan deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili hız kaydı.



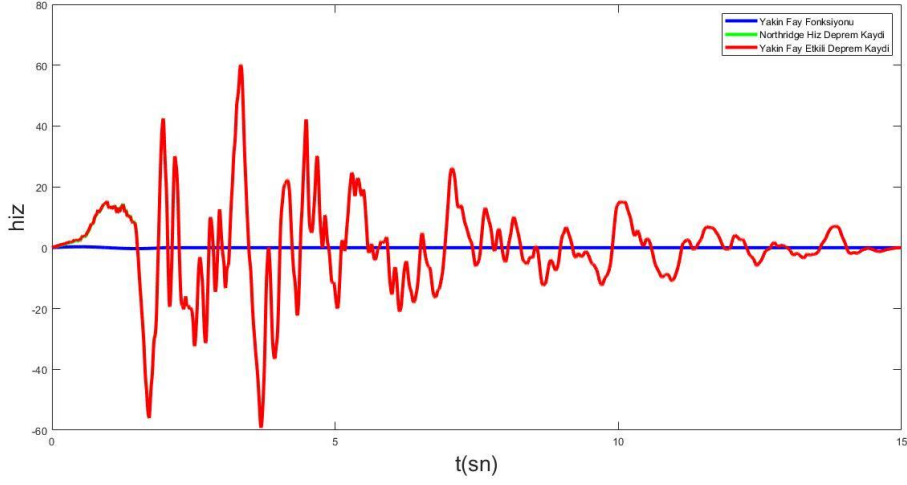
Şekil D-2 : 1999 Düzce deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili hız kaydı.



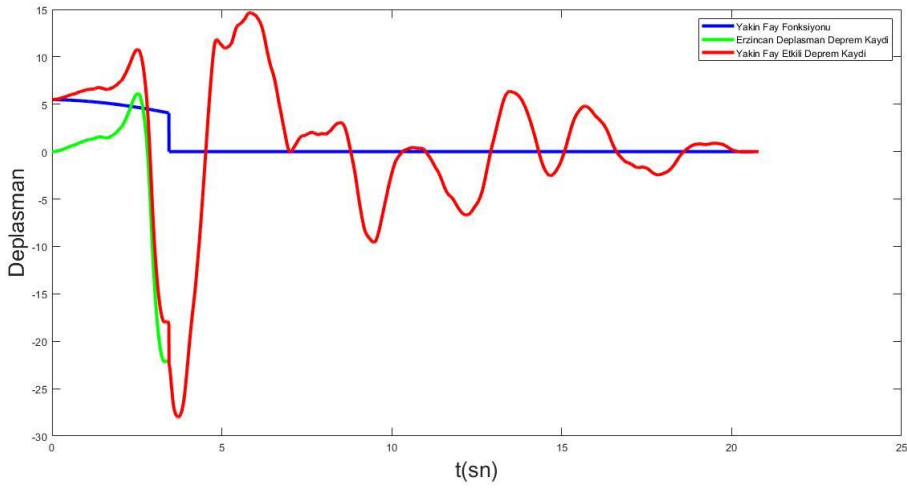
**Şekil D-3 :** 1999 Kocaeli deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili hız kaydı.



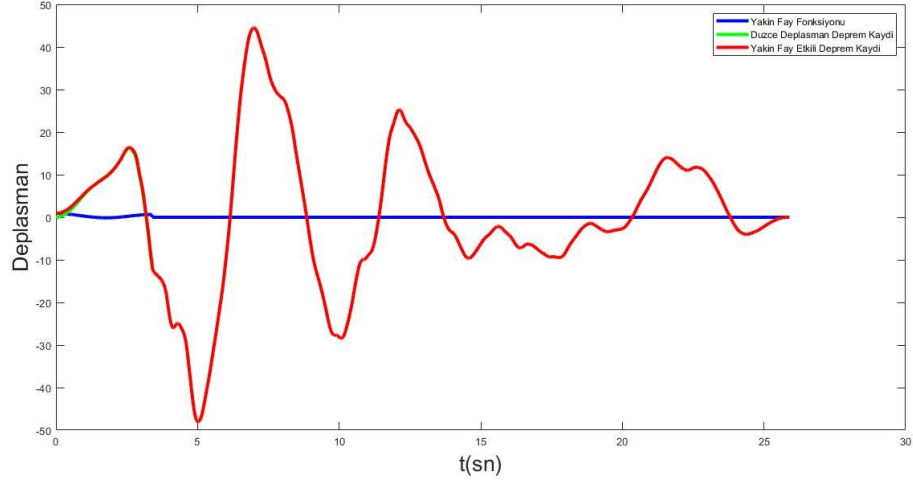
**Şekil D-4 :** 1995 Kobe deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili hız kaydı.



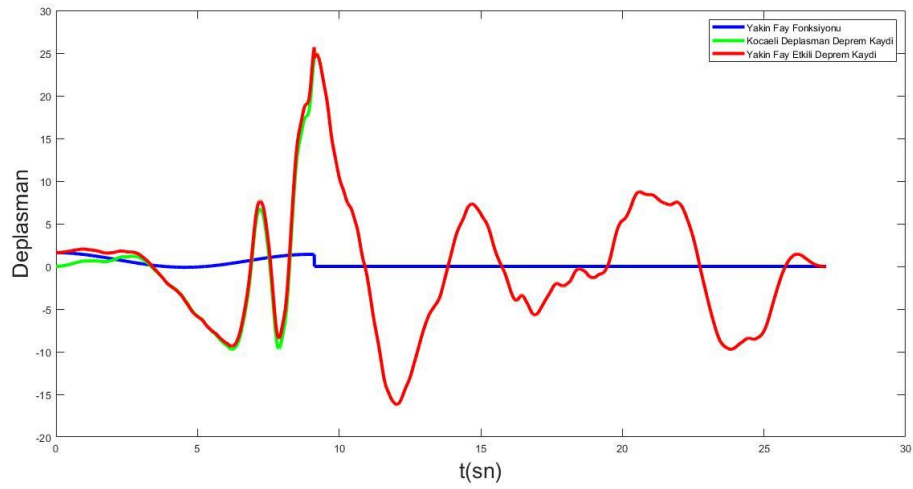
**Şekil D-5 :** 1994 Northridge deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili hız kaydı.



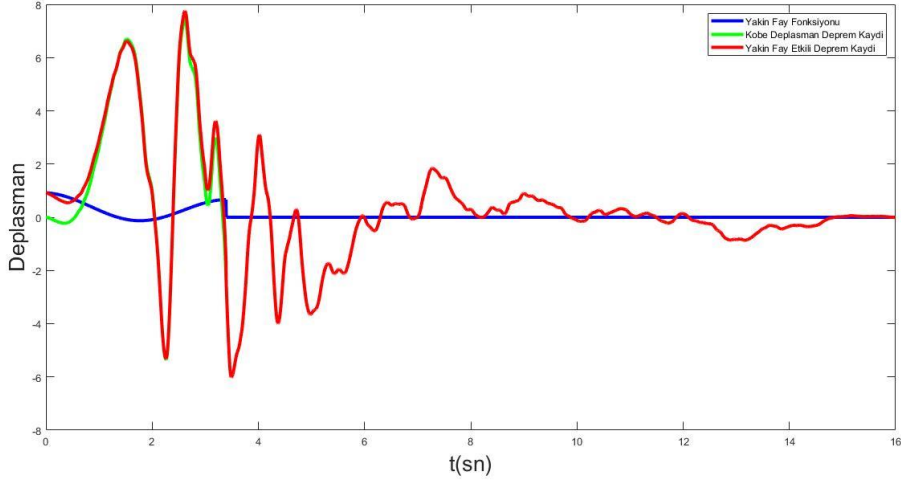
**Şekil D-6 :** 1992 Erzincan deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili deplasman kaydı.



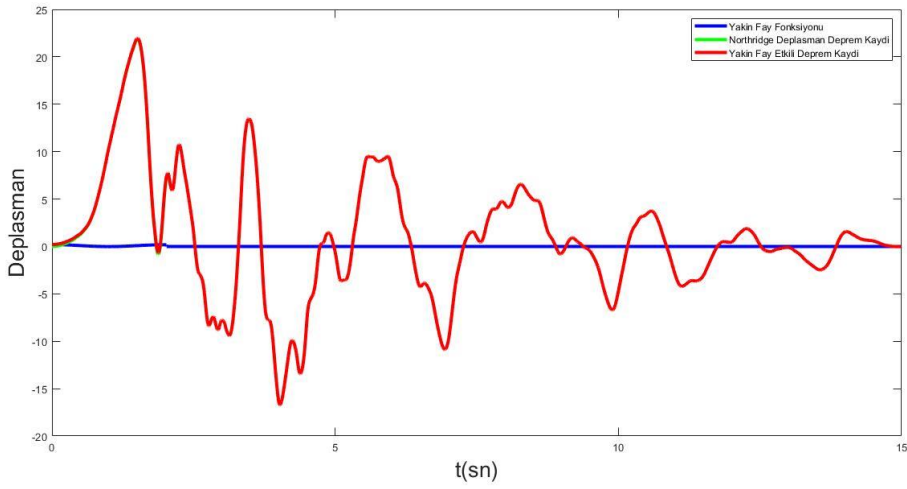
Şekil D-7 : 1999 Düzce deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili deplasman kaydı.



Şekil D-8 : 1999 Kocaeli deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili deplasman kaydı.



Şekil D-9 1999 Düzce deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili deplasman kaydı.

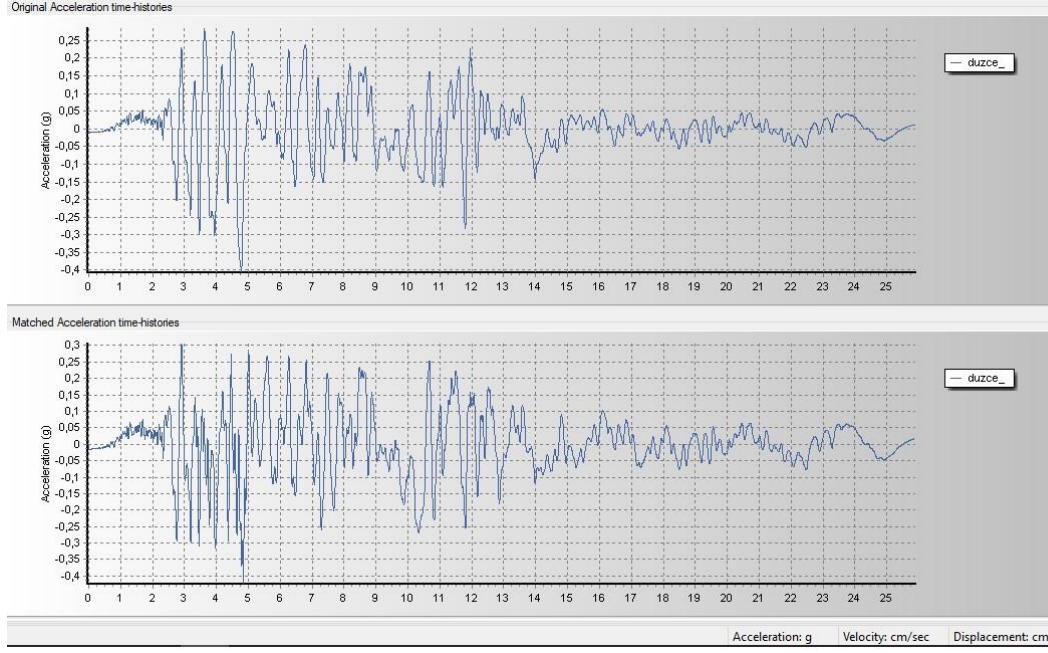


Şekil D-10 1994 Norhridge deprem kaydı, Tip Cn darbe titreşimi ve yakın fay etkili deplasman kaydı.

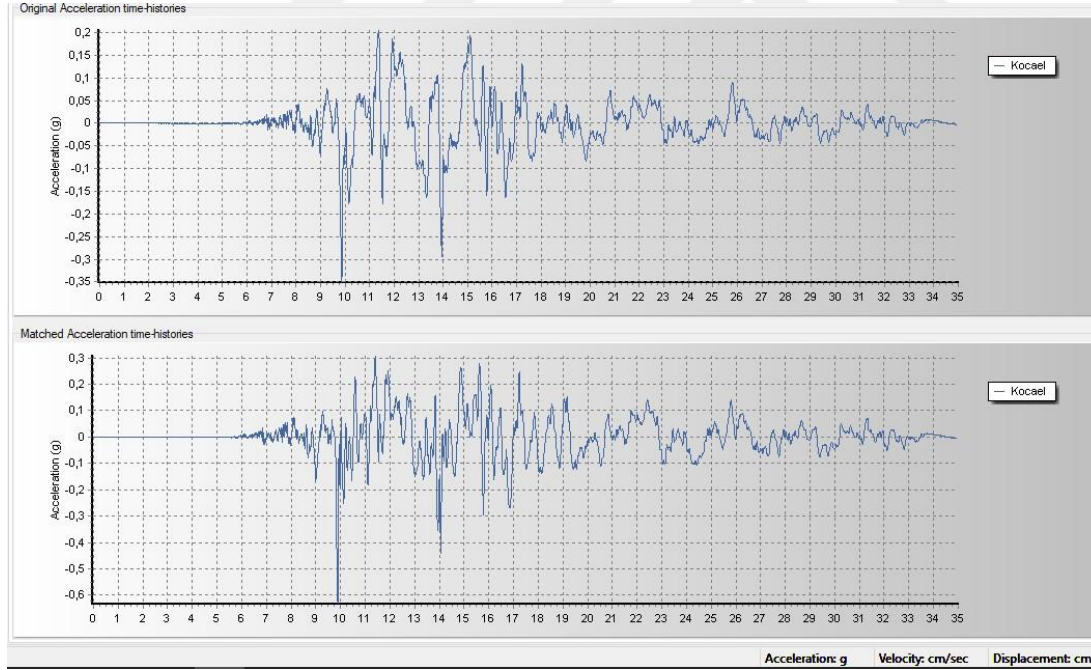
## **EK-E**

### **5 Ayrı Deprem Kaydının Manisa'da Bulunan İvazpaşa Camii Konumuna Ait Ölçeklendirilmiş Kayıtları**



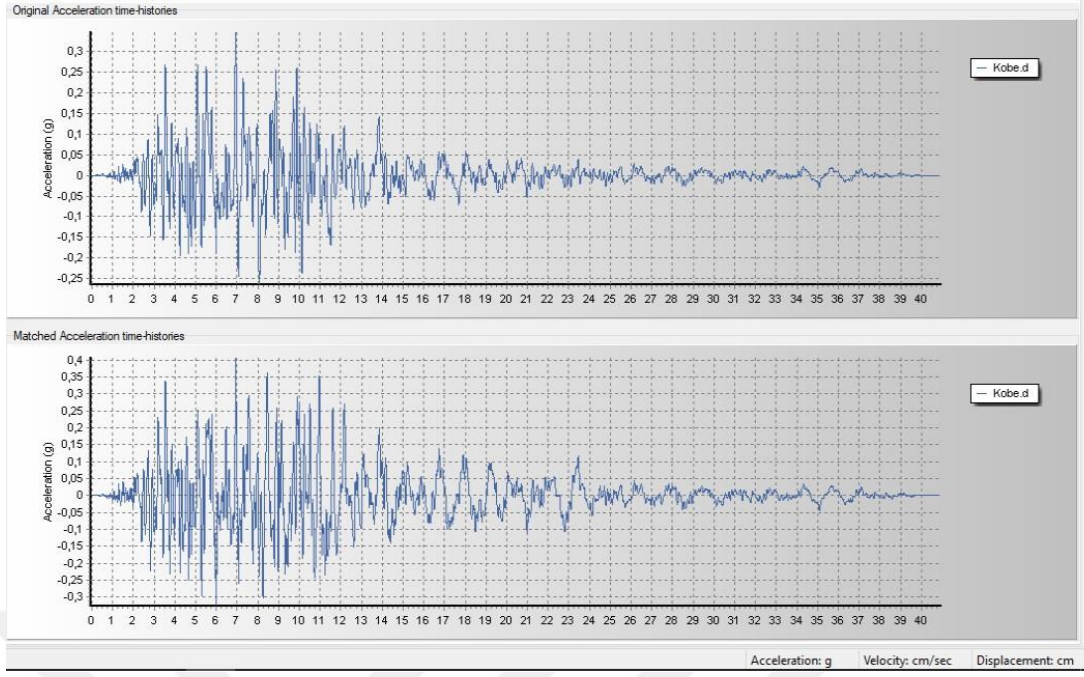


**Şekil E-1 : 1999 Düzce depremi ivme kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.**

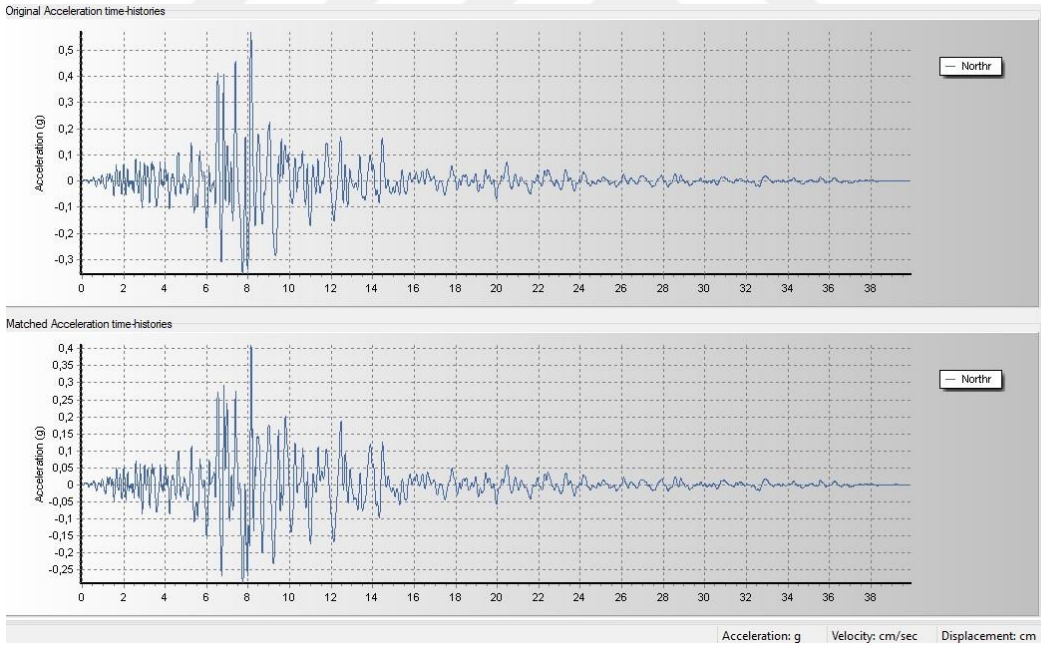


**Şekil E-2 : 1999 Kocaeli depremi ivme kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.**





**Şekil E-3** : 1995 Kobe depremi ivme kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.



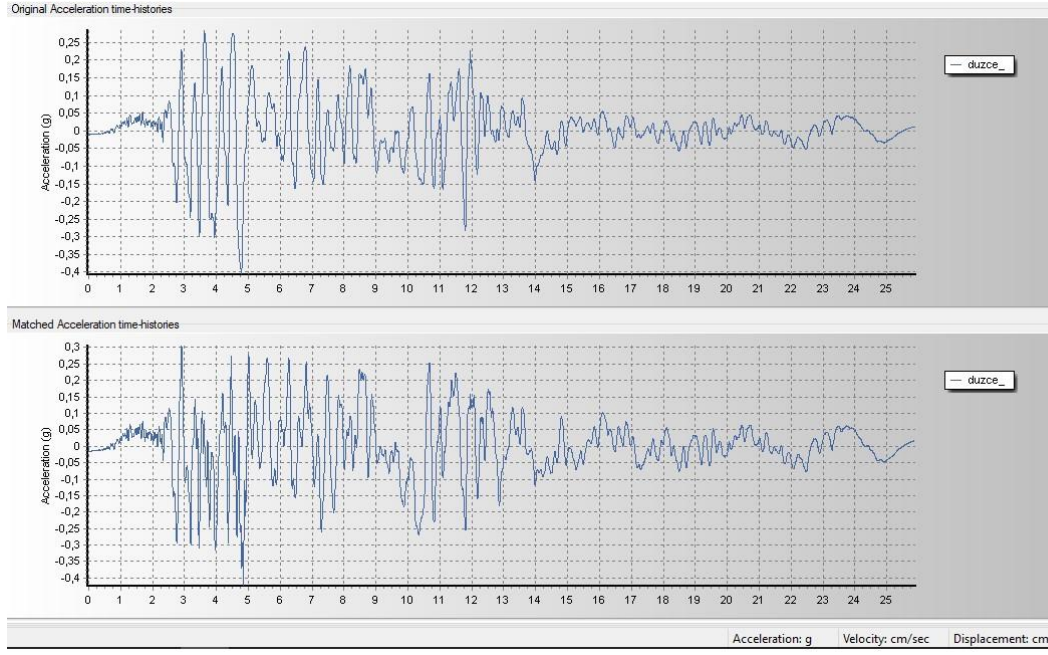
**Şekil E-4** : 1994 Northridge depremi ivme kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.



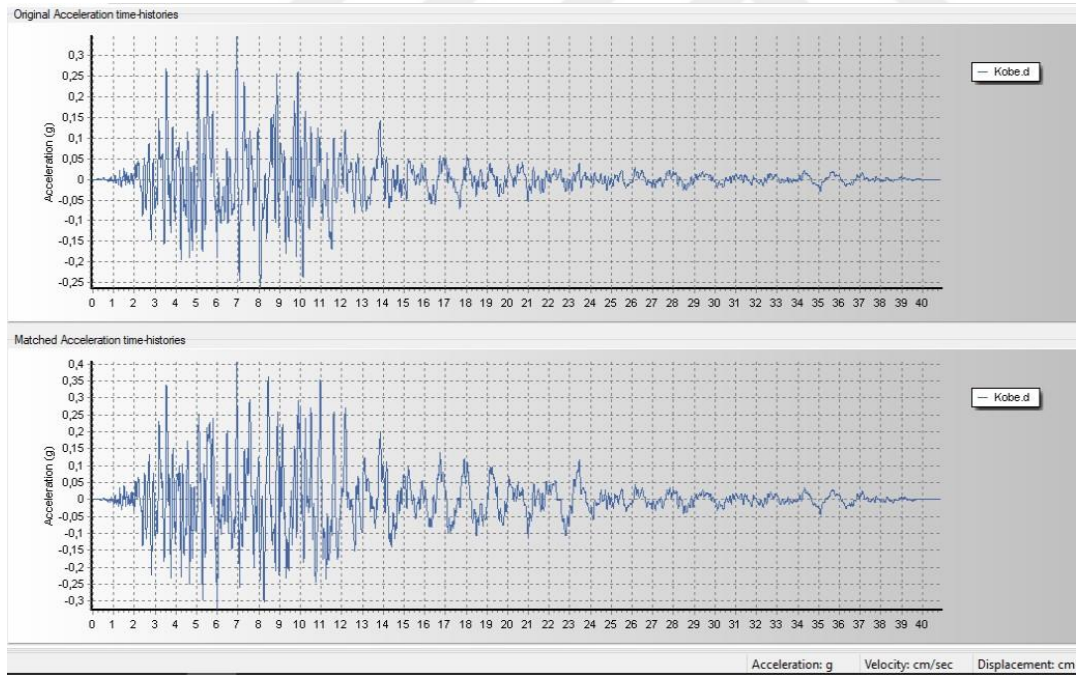
**EK-F**

**5 Ayrı Deprem Kaydının Çorum-Osmancık'ta Bulunan Koyunbaba Köprüsü  
Konumuna Ait Ölçeklendirilmiş Kayıtları**

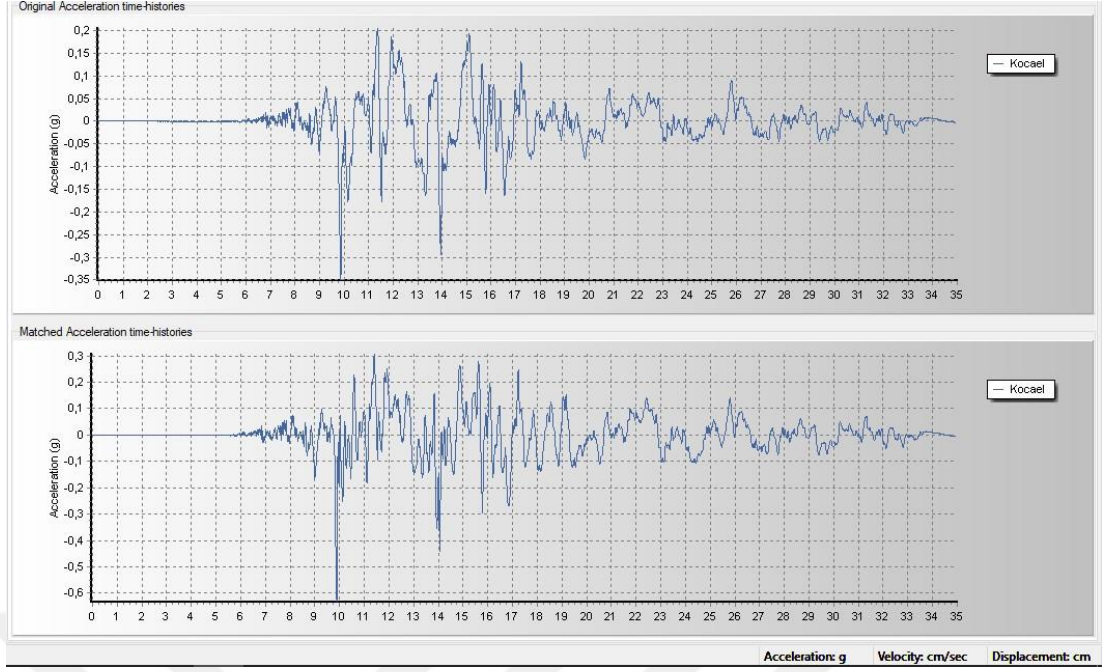




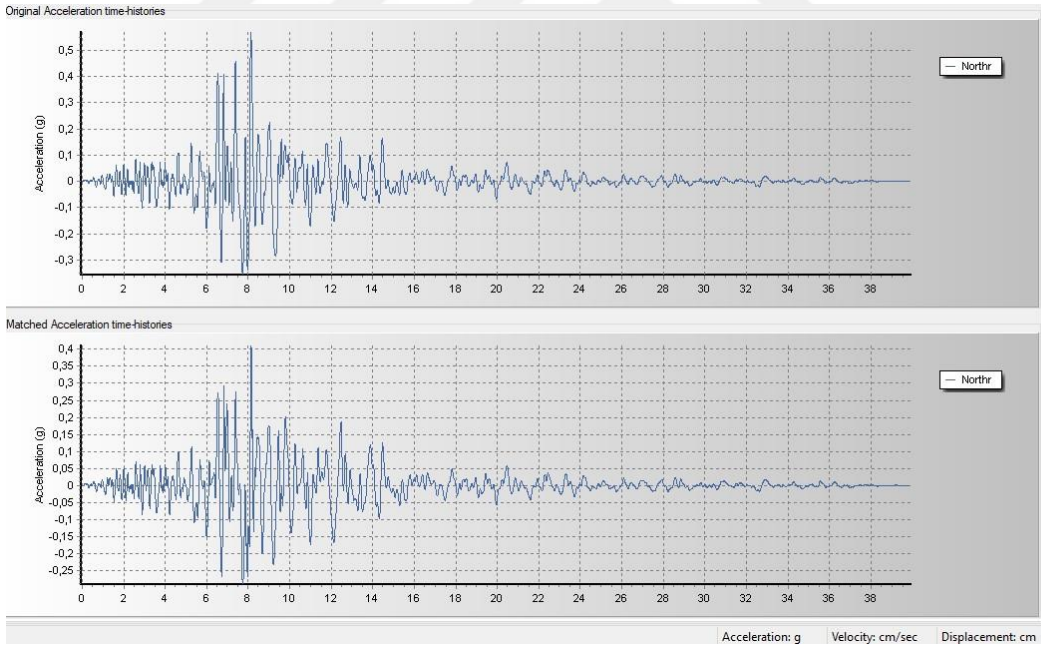
**Şekil F-1 :** 1999 Düzce depremi ivme kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.



**Şekil F-2 :** 1995 Kobe depremi ivme kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali



Şekil F-3 : 1999 Kocaeli depremi ivme kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.



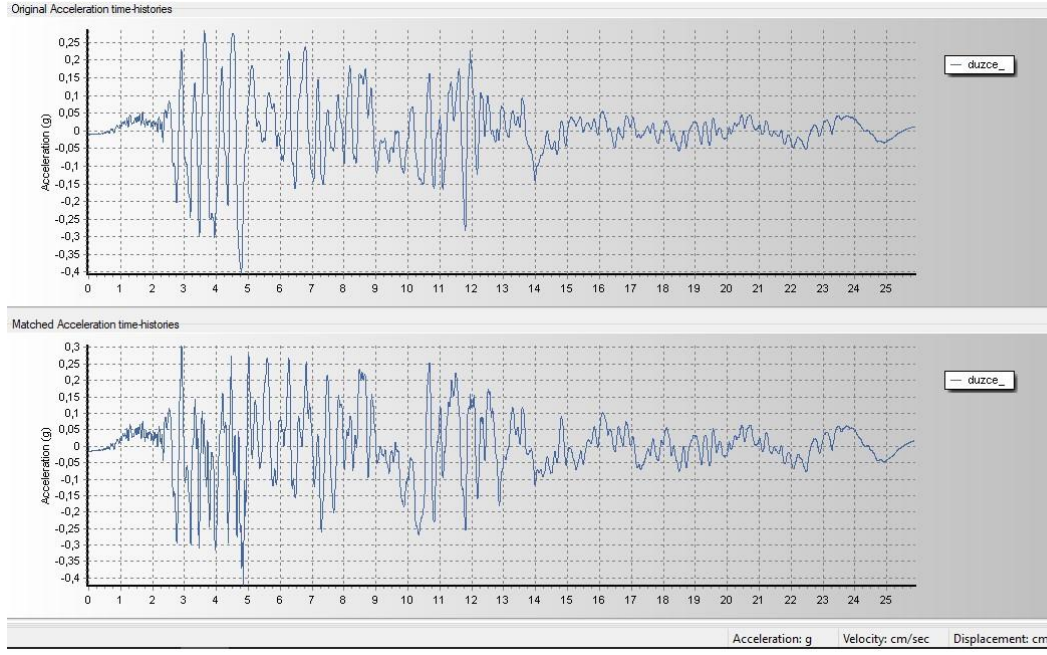
Şekil F-4 : 1994 Northridge depremi ivme kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.



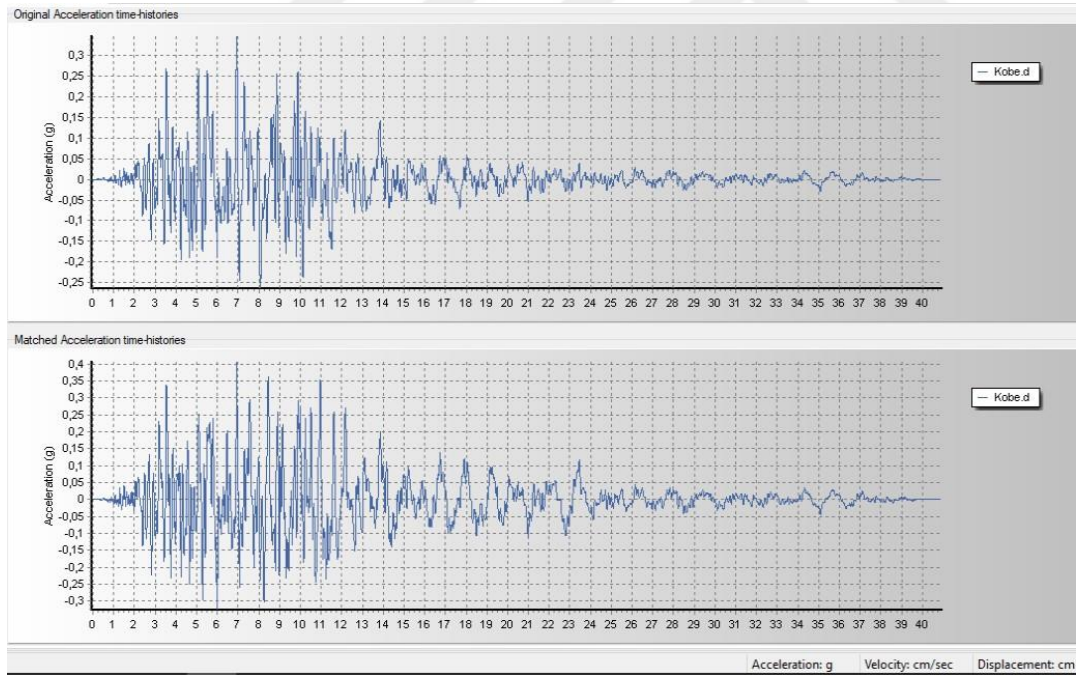
## **EK-G**

### **5 Ayrı Deprem Kaydının İstanbul-Kadıköy’de Bulunan Valpreda Apartmanı’nın Konumuna Ait Ölçeklendirilmiş Kayıtları**



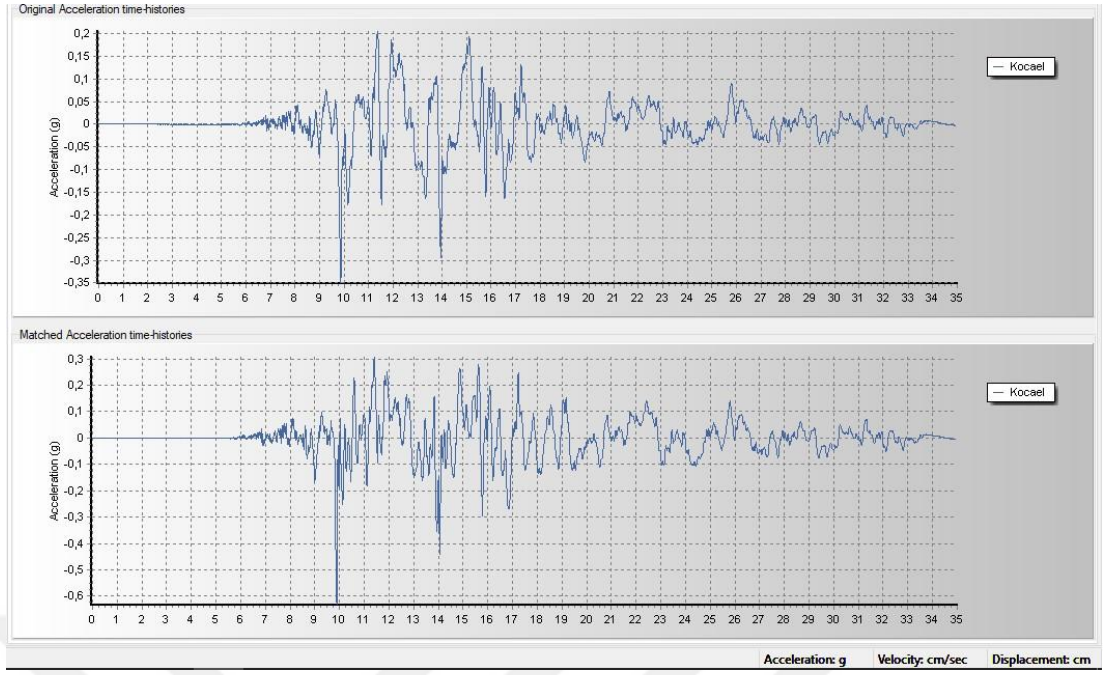


Şekil G-1 : 1999 Düzce depremi ivme kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.

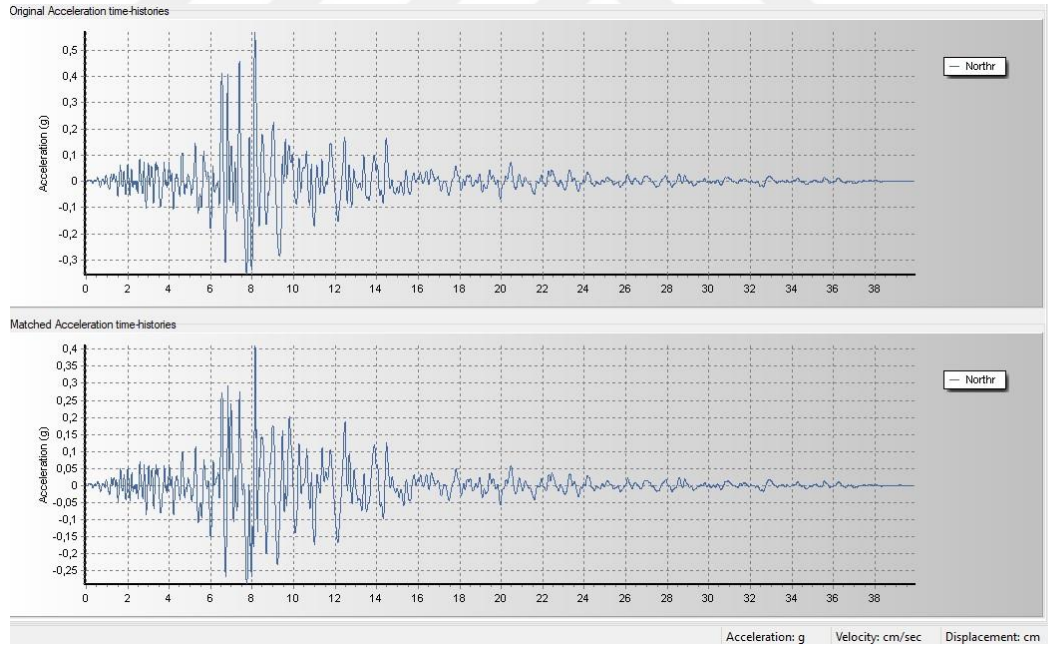


Şekil G-2 : 1995 Kobe depremi ivme kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.





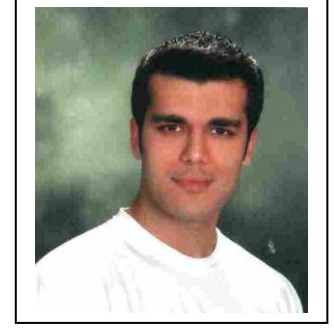
Şekil G-3 : 1999 Kocaeli depremi ivme kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.



Şekil G-4 : 1994 Northridge depremi ivme kaydının orijinal hali ve ölçeklendirilmiş hali.



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** :Çağlar KIZILPINAR  
**Doğum Tarihi ve Yeri** :İstanbul, 1986  
**E-posta** :kizilpınar.caglar@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Ortaöğretim** :2004, Çağaloğlu Anadolu Lisesi
- **Lisans** :2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM:

- 2011-2012 yılları arasında Eskişehir 1. Ana Jet Üs Komutanlığı İstihkam Taburu'nda yedek subay olarak görev aldı.
- 2012 yılından itibaren Sultangazi Belediyesi'nde çalışmaktadır.