

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORCID : - - -**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**ORCID : - - -**

**Trabzon**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmamı takip eden, gerek değerli görüş ve bilgilerini benimle paylaşarak yön gösteren gerekse manevi desteğini benden esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen, beni bilgilendiren ve yönlendiren Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Tez çalışmamın her aşamasında yardımlarıyla yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Sayın Arş. Gör. Ali Fuat GENÇ'e, çalışma süresince destek veren Sayın Arş. Gör. Dr. Mustafa ERGÜN'e ve İnş. Yük. Müh. Özgün BIÇAK'a teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans eğitimine birlikte başladığımız ve her aşamasında birbirimize destek olduğumuz değerli meslektaşlarım Arş. Gör. Muhammet SARI, İnş. Yük. Müh. Mehveş MERAL ve Arş. Gör. Hasan Oğulcan MARANGOZ'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca, her türlü desteği benden esirgemeyerek yanımda olan en değerli varlıklarım babam Hamza ERTÜRK, annem Mesrur ERTÜRK ve kardeşlerime minnettar olduğumu belirtir, bu çalışmanın yeni çalışmalara ışık tutmasını ve Ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Esin ERTÜRK  
Trabzon 2020

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Tarihi Çorum Saat Kulesi İçin Sahaya Özel Tasarım Spektrumlarının Oluşturulması ve TBDY-2018 Deprem Yer Hareketi Ölçeklendirme Yöntemlerine Dayalı Dinamik Davranışın İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili programlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 27/08/2020

Esin ERTÜRK



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar.....	4
1.2.1. Sahaya Özel Sismik Tehlike Analizi ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....	4
1.2.2. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....	10
1.2.3. Yığma Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....	17
1.3. Tezin Amacı ve İçeriği .....	23
1.4. Sismik Tehlike Analizi .....	24
1.4.1. Deterministik Sismik Tehlike Analizi (DSTA).....	25
1.4.2. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (OSTA).....	25
1.4.2.1. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi İçin İncelenecek Alanın Belirlenmesi .....	26
1.4.2.2. Deprem Veri Tabanının Oluşturulması .....	27
1.4.2.3. Deprem Veri Tabanındaki Eksiklerin Giderilmesi.....	30
1.4.2.4. Deprem Magnitüdü – Tekerrür Modelleri .....	31
1.4.2.4.1. Üstel Dağılım Modeli .....	32
1.4.2.4.2. Karakteristik Dağılım Modeli.....	33
1.4.2.5. Deprem Oluşum Modelleri.....	34
1.4.2.5.1. Poisson Modeli .....	35
1.4.2.5.2. Yineleme Modeli .....	35

1.4.2.5.3.	Karma Yineleme Modeli .....	35
1.4.2.6.	Yer Hareketi Tahmin Denklemi (Azalım İlişkisi).....	36
1.4.2.7.	Belirsizliklerin Analizi .....	36
1.4.2.7.1.	Yer Hareketi Tahmin Denklemindeki (Azalım İlişkisindeki) Belirsizlikler .....	37
1.4.2.7.2.	Sismik Kaynakların Coğrafi Konumundaki Belirsizlikler .....	38
1.4.2.7.3.	Sismik Parametre Belirsizlikleri .....	38
1.5.	Deprem Yer Hareketinin Tanımlanması.....	40
1.5.1.	Deprem Kayıtlarının Elde Edilmesi .....	40
1.5.1.1.	Yapay Olarak Üretilmiş Deprem Kayıtları.....	40
1.5.1.2.	Benzeştirilmiş Deprem Kayıtları .....	41
1.5.1.3.	Gerçek Deprem Kayıtları.....	42
1.5.2.	Deprem Kayıtlarının Seçilmesi .....	42
1.5.3.	Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi .....	43
1.5.3.1.	Deprem Kayıtlarının Basit Ölçeklendirme Yöntemi ile Ölçeklendirilmesi .....	43
1.5.3.2.	Deprem Kayıtlarının Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürülmesi ...	44
1.6.	Newmark Yöntemine Göre Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz.....	45
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME .....	49
2.1.	Giriş .....	49
2.2.	Saat Kulesinin Tanıtımı ve Sayısal Modeli .....	50
2.3.	Çorum İli İçin Sismik Tehlike Analizi .....	53
2.3.1.	Çorum İlinin Sismisitesi .....	53
2.3.2.	Tarihsel Depremler .....	55
2.3.3.	Diri Faylar .....	55
2.3.4.	Deprem Kataloğunun Oluşturulması .....	56
2.3.5.	Deprem Kaynak Modelleri .....	61
2.3.6.	Sismik Tehlike Hesap Sonuçları .....	64
2.4.	Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi .....	67
2.4.1.	Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi.....	67
2.4.2.	Gerçek Deprem Kayıtlarının Basit Ölçeklendirme Yöntemi ile Ölçeklendirilmesi .....	68
2.4.3.	Gerçek Deprem Kayıtlarının Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürülmesi.....	74
2.5.	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi.....	82

2.5.1.	Basit Ölçeklendirme Yöntemi ile Elde Edilen Yer Hareketi Kayıtlarının Yatayda Tek Doğrultuda Uygulanması .....	82
2.5.1.1.	Yer Değiş-tirmeler .....	83
2.5.1.2.	Asal Gerilmeler.....	85
2.5.1.3.	Asal Şekil Değiş-tirmeler.....	91
2.5.2.	Basit Ölçeklendirme Yöntemi ile Elde Edilen Yer Hareketi Kayıtlarının Yatayda Çift Doğrultuda Uygulanması .....	95
2.5.2.1.	Yer Değiş-tirmeler .....	96
2.5.2.2.	Asal Gerilmeler.....	100
2.5.2.3.	Asal Şekil Değiş-tirmeler.....	105
2.5.3.	Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürme Yöntemi ile Elde Edilen Yer Hareketi Kayıtlarının Yatayda Tek Doğrultuda Uygulanması .....	109
2.5.3.1.	Yer Değiş-tirmeler .....	110
2.5.3.2.	Asal Gerilmeler.....	112
2.5.3.3.	Asal Şekil Değiş-tirmeler.....	117
2.5.4.	Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürme Yöntemi ile Elde Edilen Yer Hareketi Kayıtlarının Yatayda Çift Doğrultuda Uygulanması .....	122
2.5.4.1.	Yer Değiş-tirmeler .....	123
2.5.4.2.	Asal Gerilmeler.....	126
2.5.4.3.	Asal Şekil Değiş-tirmeler.....	131
3.	SONUÇLAR.....	157
4.	KAYNAKLAR.....	163
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

TARİHİ ÇORUM SAAT KULESİ İÇİN SAHAYA ÖZEL TASARIM  
SPEKTRUMLARININ OLUŞTURULMASI VE TBDY-2018 DEPREM YER  
HAREKETİ ÖLÇEKLENDİRME YÖNTEMLERİNE DAYALI DİNAMİK  
DAVRANIŞIN İNCELENMESİ

Esin ERTÜRK

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK  
2020, 170 Sayfa

Ülkemizin sahip olduğu tarihi yapılar ve aktif sismik kaynaklar düşünüldüğünde, şüphesiz ki tarihi yapılara zarar verebilecek en önemli tehditlerden biri oluşum zamanı, konumu ve büyüklüğü önceden bilinemeyen depremlerdir. Bu nedenle tarihi yapıların dinamik etkiler altındaki yapısal davranışlarının belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması son derece önemlidir. Bu tezin amacı, tarihi yığma bir yapının dinamik davranışının incelenmesidir. Bu amaçla, Çorum ilinde bulunan ve yığma taşıyıcı sisteme sahip tarihi saat kulesini merkez alacak çalışma alanı için sismik tehlike analizi yapılmış ve sahaya özel deprem spektrumları geliştirilmiştir. Sismik tehlike analizi için oluşturulan deprem kataloğundan seçilen yer hareketi kayıtları, 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen ölçeklendirme yöntemleri uygulanarak hedef tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirilmiş yer hareketi kayıtlarının yatay bileşenleri tek ve çift doğrultuda uygulanarak saat kulesinin doğrusal dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen maksimum yer değiştirme, asal gerilme ve şekil değiştirme değerleri ilgili yönetmeliklere göre karşılaştırmalı olarak irdelenmiş ve saat kulesinin dinamik davranışı değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem Yer Hareketi Ölçeklendirme Yöntemleri, Dinamik Analiz Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi, Sahaya Özel Deprem Spektrumu

Master Thesis

SUMMARY

DYNAMIC RESPONSE INVESTIGATION OF HISTORICAL ÇORUM CLOCK  
TOWER BASED ON TBEC-2018 SITE SPECIFIC RESPONSE SPECTRA AND  
EARTHQUAKE GROUND MOTION SCALING METHODS

Esin ERTÜRK

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK  
2020, 170 Pages

Considering the historical structures and active seismic resources owned Turkey, it can be stated that earthquakes having many unknown parameters such as occurrence location, time, magnitude etc. are one of the most important threats that can damage the historical structures. Therefore, determination of the structural response of historical structures under seismic effects is extremely important and to take necessary precautions. The aim of this thesis is to investigate the dynamic behavior of a historical masonry structure. For this purpose, the historical masonry clock tower in Çorum, Turkey is selected as an example, seismic hazard analysis is performed for the study area and site-specific response spectra are developed. The ground motion records selected from the earthquake catalog created for seismic hazard analysis are scaled according to the target design spectrum by applying the scaling methods specified in the 2018 Turkey Building Earthquake Code. Linear dynamic analyses of the clock tower are performed by applying the horizontal components of scaled ground motion records in single and double directions. At the end of the analyses, maximum displacement, principal stress and strain values are examined comparatively according to the relevant regulations and the dynamic behavior of the clock tower is evaluated.

**Key Words:** Earthquake Ground Motion Scaling Methods, Dynamic Analysis, Probabilistic Seismic Hazard Analysis, Site-Specific Response Spectra

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların akış diyagramı ile gösterimi . 3
Şekil 1.2.	Budanmış üstel model ve karakteristik deprem modelleri için magnitüd olasılık yoğunluk işlevi..... 33
Şekil 1.3.	Youngs ve Coppersmith (1985), tarafından önerilen karakteristik deprem modeli ..... 34
Şekil 2.1.	Saat kulesinin genel görünüşü ..... 50
Şekil 2.2.	Saat kulesinin geometrik özellikleri..... 51
Şekil 2.3.	Saat kulesinin sonlu eleman modeli..... 52
Şekil 2.4.	Saat kulesinin ilk beş sayısal mod şekli..... 52
Şekil 2.5.	Çorum ili ve çevresinde aletsel dönemde kaydedilen depremler..... 54
Şekil 2.6.	Çorum ili ve çevresinde aletsel dönemde kaydedilen depremler..... 54
Şekil 2.7.	Sismik tehlike hesabında kullanılan fay ve arkaplan deprem kaynakları .... 62
Şekil 2.8.	Arkaplan kaynağındaki belirli magnitüd aralığındaki deprem sayılarının yıllara göre artışı ..... 63
Şekil 2.9.	$V_{S30}=249.53\text{m/s}$ kabulü için yönetmelik spektrumu ve sahaya özel spektrumun (T=475 yıl) karşılaştırması..... 65
Şekil 2.10.	$V_{S30}=249.53\text{m/s}$ kabulü için yönetmelik spektrumu ve sahaya özel spektrumun (T=2475 yıl) karşılaştırması..... 65
Şekil 2.11.	Bileşke tepki spektrumların basit ölçeklendirme yöntemi kullanılarak tasarım spektrumuna göre ölçeklenmesi ..... 68
Şekil 2.12.	Basit ölçeklendirme yöntemine göre ölçeklenmiş bileşke tepki spektrumların ortalamasının hedef tasarım spektrumu ile karşılaştırılması ..... 71
Şekil 2.13.	Seçilen ham ivme kayıtları ile basit ölçeklendirme yöntemine göre ölçeklenmiş ivme kayıtlarının karşılaştırılması ..... 71
Şekil 2.14.	İvme kayıtlarına ait ham ve spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklenmiş tepki spektrumlarının hedef tasarım spektrumu ile karşılaştırılması ..... 75
Şekil 2.15.	Spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklenmiş tepki spektrumlarının ortalamasının, hedef tasarım spektrumu ile karşılaştırılması..... 78
Şekil 2.16.	Seçilen ham ivme kayıtları ile spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklenmiş ivme kayıtlarının karşılaştırılması ..... 79
Şekil 2.17.	Maksimum yer değiştirme kontur diyagramları ..... 84

Şekil 2.18.	Maksimum yer değiştirmelerin zamanla değişimi.....	84
Şekil 2.19.	Maksimum asal gerilme kontur diyagramları .....	86
Şekil 2.20.	Maksimum asal gerilmelerin zamanla değişimi .....	87
Şekil 2.21.	Minimum asal gerilme kontur diyagramları .....	89
Şekil 2.22.	Minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi.....	90
Şekil 2.23.	Maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları.....	91
Şekil 2.24.	Maksimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi .....	92
Şekil 2.25.	Minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları .....	94
Şekil 2.26.	Minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi .....	94
Şekil 2.27.	Maksimum yer değiştirme kontur diyagramları .....	97
Şekil 2.28.	Maksimum yer değiştirmelerin zamanla değişimi.....	98
Şekil 2.29.	Maksimum asal gerilmeler.....	101
Şekil 2.30.	Maksimum asal gerilmelerin zamanla değişimi .....	101
Şekil 2.31.	Minimum asal gerilme kontur diyagramları .....	103
Şekil 2.32.	Minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi.....	104
Şekil 2.33.	Maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları.....	105
Şekil 2.34.	Maksimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi .....	106
Şekil 2.35.	Minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları.....	108
Şekil 2.36.	Minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi .....	108
Şekil 2.37.	Maksimum yer değiştirme kontur diyagramları .....	110
Şekil 2.38.	Maksimum yer değiştirmelerin zamanla değişimi.....	111
Şekil 2.39.	Maksimum asal gerilme kontur diyagramları .....	113
Şekil 2.40.	Maksimum asal gerilmelerin zamanla değişimi .....	114
Şekil 2.41.	Minimum asal gerilme kontur diyagramları .....	115
Şekil 2.42.	Minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi.....	116
Şekil 2.43.	Maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları.....	118
Şekil 2.44.	Maksimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi .....	119
Şekil 2.45.	Minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları.....	120
Şekil 2.46.	Minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi .....	121
Şekil 2.47.	Maksimum yer değiştirme kontur diyagramları .....	123
Şekil 2.48.	Maksimum yer değiştirmelerin zamanla değişimi.....	124
Şekil 2.49.	Maksimum asal gerilme kontur diyagramları .....	127
Şekil 2.50.	Maksimum asal gerilmelerin zamanla değişimi .....	128

Şekil 2.51.	Minimum asal gerilme kontur diyagramları .....	129
Şekil 2.52.	Minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi.....	130
Şekil 2.53.	Minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları .....	131
Şekil 2.54.	Maksimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi .....	132
Şekil 2.55.	Minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları .....	134
Şekil 2.56.	Minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi .....	134
Şekil 2.57.	Tek doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması.....	144
Şekil 2.58.	Tek doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal gerilmelerin karşılaştırılması .....	145
Şekil 2.59.	Tek doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal şekil değiştirmelerin karşılaştırılması .....	146
Şekil 2.60.	Çift doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması.....	147
Şekil 2.61.	Çift doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal gerilmelerin karşılaştırılması .....	148
Şekil 2.62.	Çift doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal şekil değiştirmelerin karşılaştırılması .....	149
Şekil 2.63.	Tek ve çift doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal gerilmelerin karşılaştırılması .....	150
Şekil 2.64.	Tek ve çift doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal şekil değiştirmelerin karşılaştırılması .....	151
Şekil 2.65.	Tek ve çift doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal gerilmelerin karşılaştırılması .....	152
Şekil 2.66.	Tek ve çift doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal şekil değiştirmelerin karşılaştırılması .....	153
Şekil 2.67.	Maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması .....	154
Şekil 2.68.	Asal gerilmelerin karşılaştırılması .....	155
Şekil 2.69.	Asal şekil değiştirmelerin karşılaştırılması.....	156



## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Savage ve Rupp (2000) tarafından elde edilen zaman ve uzaklık pencerelerinin boyutları .....	29
Tablo 1.2. Gardner ve Knopoff (1974) tarafından elde edilen zaman ve uzaklık pencerelerinin boyutları .....	29
Tablo 1.3. Deniz (2006), tarafından elde edilen zaman ve uzaklık pencerelerinin boyutları .....	29
Tablo 2.1. Sonlu eleman modeli malzeme özellikleri .....	51
Tablo 2.2. Sismik kaynaklara ait parametreler .....	55
Tablo 2.3. Karma deprem kataloğu oluşturulurken dikkate alınan deprem kayıtları .....	57
Tablo 2.4. Oluşturulan karma deprem kataloğundan öncü ve artçı depremler elenerek oluşturulan yeni katalog .....	60
Tablo 2.5. Olasılıksal deprem tehlikesi hesaplamalarında kullanılan yer hareketi tahmin denklemleri .....	66
Tablo 2.6. Ölçeklendirme işleminde kullanılmak üzere seçilen yer hareketi kayıtları .	67
Tablo 2.7. Basit ölçeklendirme yöntemi sonucu doğrusal dinamik analizler için tek doğrultuda seçilen yatay bileşenler .....	83
Tablo 2.8. Basit ölçeklendirme yöntemi sonucu doğrusal dinamik analizler için çift doğrultuda seçilen yatay bileşenler .....	96
Tablo 2.9. Spektral uyuşum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemi sonucu doğrusal dinamik analizler için tek doğrultuda seçilen yatay bileşenler ...	110
Tablo 2.10. Spektral uyuşum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemi sonucu doğrusal dinamik analizler için çift doğrultuda seçilen yatay bileşenler ...	122
Tablo 2.11. Tek doğrultuda gerçekleştirilen analiz sonuçları .....	137
Tablo 2.12. Çift doğrultuda gerçekleştirilen analiz sonuçları .....	138
Tablo 2.13. Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı, $f_k$ (MPa) .....	139
Tablo 2.14. Tek doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu lokal ve genel gerilme değerleri .....	140
Tablo 2.15. Çift doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu lokal ve genel gerilme değerleri .....	141

## SEMBOLLER DİZİNİ

$a$	: Ampirik katsayı
$a_{ST}$	: Doğrusal ölçekleme katsayısını
$b$	: Ampirik katsayı
$c$	: Doğrusal sistem sönümü
$F_m(m)$	: Magnitüd olasılık yoğunluk işlevi
$k$	: Rijitlik matrisi
$m$	: Doğrusal sistem kütlesi
$M_w$	: Moment magnitüdü
$M_L$	: Yerel büyüklük
$M_d$	: Süreye bağlı büyüklük
$M_s$	: Yüzeysel dalgası büyüklüğü
$M_{max}$	: Maksimum magnitüd
$M_{min}$	: Minimum magnitüd
$M_0$	: Sismik moment
$M_0'$	: Sismik moment oranı
$N$	: Deprem sayısı
$N_y$	: Rassal düzeltme katsayısı
$S_a^{gerçek}$	: Gerçek deprem kaydı ivme spektrumu
$S_a^{hedef}$	: Hedef tasarım ivme spektrumu
$SP_i$	: Deprem kaynağı
$T$	: Salınım periyodu
$T_1$	: Ölçeklenmenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı
$T_2$	: Ölçeklenmenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırı
$U$	: Rölatif yer değiştirme
$\dot{U}$	: Rölatif hız
$\ddot{U}$	: Rölatif ivme
$Y$	: Yer hareketi tahmin parametresi
$Y_g$	: Rassal değişken

- $v$  : Yıllık ortalama deprem sayısı  
 $v_m$  : Aktivite oranı  
 $\sigma_x$  : Deprem konumundaki belirsizlik  
 $\sigma_y$  : Deprem konumundaki belirsizlik  
 $\theta(\omega)$  : Frouier spektrum fazı  
 $\omega$  : Açısal frekans  
 $\omega_{min}$  : Minimum ölçekleme açısal frekansı  
 $\omega_{mak}$  : Maksimum ölçekleme açısal frekansı



# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Ülkemiz tarih boyunca birçok medeniyete ev sahipliği yapmış olup, her bir köşesinde farklı kültürlerle ait tarihi yapıları barındırmaktadır. Geçmiş ile günümüzü birbirine bağlayan köprü niteliğindeki tarihi yapılar, toplumların ya da ülkelerin kültür ve medeniyetlerinin anlaşılmasında ve sosyolojik tabanlarının yorumlanmasında en büyük rolü üstlenmektedir. Bu nedenle tarihi yapılar sadece ulusal nitelik taşımayıp tüm insanlığın evrensel mirası olarak kabul görmektedir. Mevcut kültürel mirasın farkında olmak ve korunmasını sağlamak, bu mirasın gelecek kuşaklara aktarılması için oldukça önemlidir. Ancak zaman içerisinde meydana gelen afetler bu yapıların hasar görmesine veya tamamen yok olmasına neden olmaktadır.

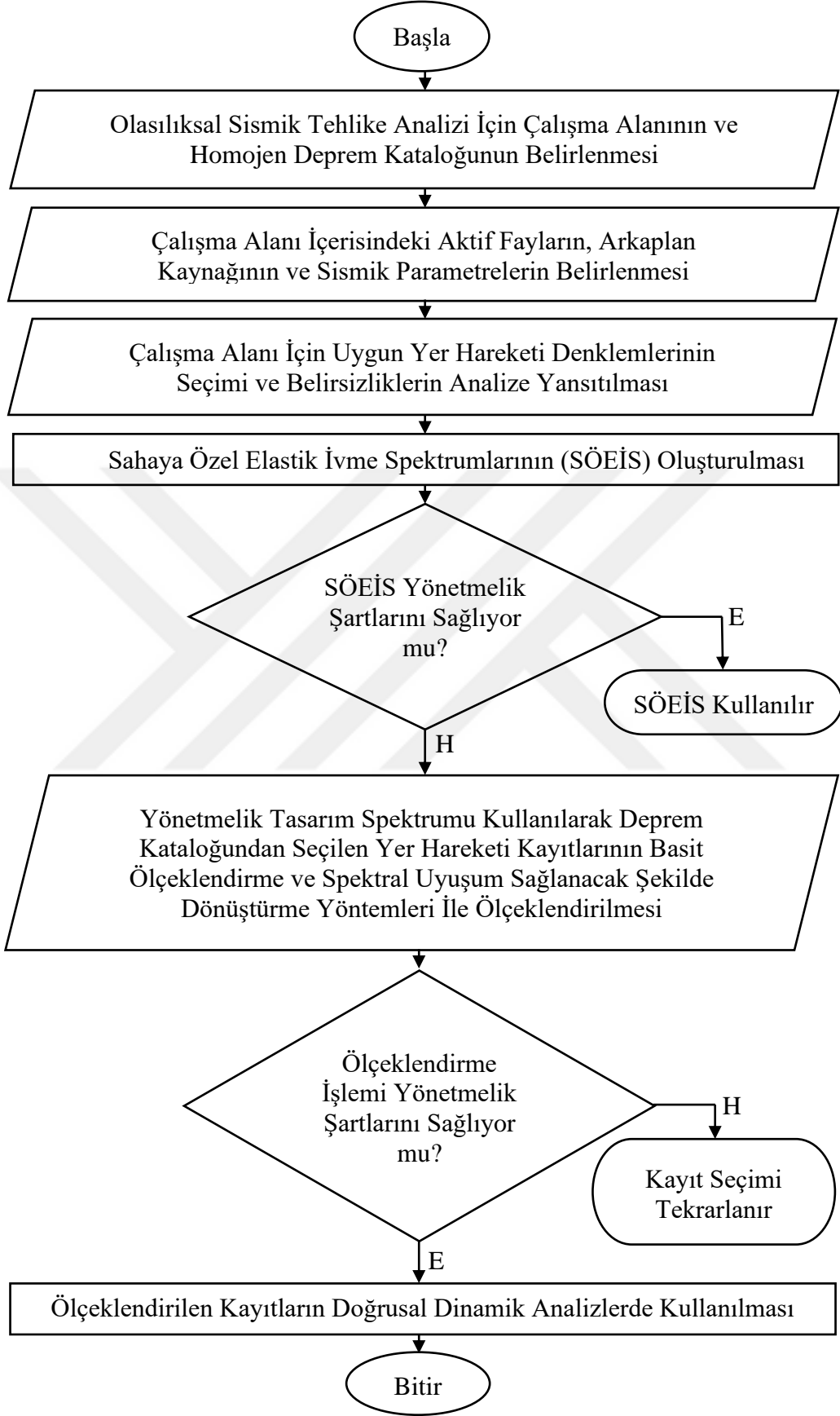
Doğal ve insan kaynaklı etkiler ile oluşan afetler, tarih boyunca insanlık ve mühendislik yapıları için tehlike oluşturmuştur. Doğal afetlerden biri olan depremler, Ülkemiz için önemli bir afet türüdür. Ülkemiz karmaşık jeolojik yapısı ve jeodinamik konumu nedeniyle önemli ölçüde aktif sismik kaynak içermekte ve bu durum depremi Türkiye'nin gerçeği haline getirmektedir. Ülkemizin deprem geçmişi incelendiğinde, son yüzyıl içerisinde meydana gelen büyük depremler nedeniyle büyük can ve mal kayıpları yaşandığı görülmektedir. Uzun çalışmalar sonucu elde edilen Türkiye Deprem Tehlike Haritası (2018), ülke nüfusunun ve yapı stokunun önemli bir kısmının deprem tehlikesi ile karşı karşıya olduğunu ve depreme karşı önlemler alınması gerektiğini açıkça göstermektedir.

Tarihi yapılar, farklı yapım teknikleri ve malzemeler ile inşa edilmekte ve zamana bağlı olarak dış etkiler altında homojen malzeme dağılımları bozularak dayanım kayıpları yaşanmaktadır. Ülkemizin sahip olduğu tarihi yapılar ve aktif sismik kaynaklar düşünüldüğünde, şüphesiz ki tarihi yapılara zarar verebilecek en önemli tehditlerden biri oluşum zamanı, konumu ve büyüklüğü önceden bilinemeyen depremlerdir. Bu nedenle tarihi yapıların sismik etkiler altındaki yapısal davranışlarının belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması son derece önemlidir. Gerek kültürel mirasın aktarıcılarında biri olan tarihi yapıların korunmasına yönelik yapılacak çalışmalarda gerek ise büyük ölçekli mühendislik yapılarının tasarımında, belirli bir büyüklükteki depremin tekerrür aralığının hesaplanması,

maksimum yer ivmesinin dönüş periyodu ile maksimum yer ivmesinin aşılma ihtimalinin belirlenmesine dayanan sismik tehlike analizlerinin gerçekleştirilmesi ve sahaya özel yer hareketi spektrumlarının oluşturulması önem teşkil etmektedir. Böylece depremlerin doğasında var olan rassallıklar ve çeşitli belirsizlikler göz önüne alınarak yapıların karşılaşılabileceği deprem durumlarının belirlenmesinde gerekebilecek yer hareketi parametreleri (yer değiştirme, hız, ivme) deterministik veya olasılıksal yöntemlere dayalı olarak hesaplanabilmekte ve sahaya özel spektrumlar elde edilebilmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'de belirtilen sahaya özel deprem yer hareketi spektrumlarının ordinatlarının, hiçbir zaman tanımlanan tasarım spektrumu ordinatlarının % 90'ından daha küçük olmayacağı şartının sağlanması durumunda, tarihi yapıların dinamik davranışının değerlendirilmesinde sismik tehlike analizi sonucu elde edilen sahaya özel spektrumlar kullanılabilir.

Tarihi yapıların sismik etkiler altındaki yapısal performansının değerlendirilmesinde, zaman tanım alanında doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz yönteminde, yapıların kalıcı yer değiştirmeler yapmadığı ve malzemenin elastik davrandığı kabulü yapılmaktadır. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizler ile yapısal performansın doğru şekilde değerlendirilmesindeki en önemli faktör, uygun sismik kayıtların seçilmesi ve basit ölçeklendirme yöntemi veya spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemleri kullanılarak TBDY-2018'de belirtilen kurallara göre seçilen kayıtların ölçeklendirilmesidir.

Ülkemizin sahip olduğu tarihi yapılar, aktif sismik kaynaklar ve belirtilen nedenler göz önüne alındığında konunun öneminin vurgulanması amacı ile çalışma kapsamında tarihi yığma Çorum Saat Kulesi incelenmektedir. Sismik tehlike analizi ve TBDY-2018'de belirtilen deprem yer hareketi ölçeklendirme yöntemleri ile ilgili teorik bilgiler verilmekte ve çalışmaların gerekliliği vurgulanmaktadır. Çorum Saat Kulesi'ni merkezine alan çalışma alanı için sismik tehlike analizi gerçekleştirilmekte ve zaman tanım alanında analizlerde kullanılmak üzere gerçek deprem yer hareketi kayıtları farklı yöntemler ile ölçeklendirilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen yapıya ait yer değiştirme, asal gerilme ve şekil değiştirme değerleri yönetmelik ve ilgili kılavuzlarda belirtilen kurallar çerçevesinde değerlendirilmektedir. Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar Şekil 1.1'de verilen akış diyagramında özetlenmektedir.



Şekil 1.1. Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların akış diyagramı ile gösterimi

## 1.2. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

### 1.2.1. Sahaya Özel Sismik Tehlike Analizi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Yüccemen ve Akkaya (2000), yaptıkları çalışmada rastgele fonksiyonlar teorisi ile deprem oluşumu için rassal bir model oluşturmuşlardır. Önerilen modelle ilişkili gerilme enerjisi rastgele alanının korelasyon yapısının analizi, varyans fonksiyonu ve dalgalanma ölçeği kavramları kullanılarak açıklanmıştır. Oluşturulan modelin kullanılmasıyla elde edilen deprem oluşum oranlarının, klasik deprem oluşumu oranlarından farklı olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın teorisi Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun sismik tehlike değerlendirmesi üzerinde uygulanmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan rassal alan modeli ile elde edilen yıllık sismik tehlikenin, Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca gözlemlenen sismik aktivite ile tutarlı olduğu ifade edilmiştir.

Kagan (2002), yaptığı çalışmada büyük depremler için ( $M_w \geq 7$ ), artçı depremlerin dağılım alanlarını araştırmıştır. Ana şoklar Harvard merkez moment tensör kataloğundan, artçı şoklar ise Preliminary Determination of Epicenters (NEIC) kataloğundan seçilmiştir. Artçı sarsıntı merkez üssü haritaları iki boyutlu Gauss dağılımı ile yakınlştırılmıştır. Çalışmada, analizler için mevcut ana şokların sayısının sınırlı olmasına rağmen tüm depremlerin aynı ölçeği gösterdiği ifade edilmiştir. Bu nedenle depremlerin odak bölgesi parametrelerinin kendine has olduğu belirtilmiştir.

Kalkan ve Gülkan (2004), yaptıkları çalışmada Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)'de büyük ölçekli jeolojik unsurların dikkate alındığını ve bu nedenle yönetmelikte mevcut olan spektral eğrilerde fay mesafelerinin ve magnitüd ilişkilerinin önemsenmediğini vurgulamışlardır. Bu sorunun yatay zayıflatma ilişkileri ile giderilebileceğini belirtmişlerdir. Bu amaçla, 1976 ve 2003 yılları arasında meydana gelen elli yedi farklı depremden oluşan yüz on iki deprem kaydı kullanılarak veri tabanı elde edilmiştir. Böylece herhangi bir sismik bölge için daha tutarlı elastik ivme spektrumlarının oluşturulabileceği ifade edilmiş ve belirlenen sonuçlar Deprem Bölgeleri Hakkında Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) ve Uniform Building Code (UBC) ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların UBC spektrumunun köşe periyotları ile tutarlı olduğu ifade edilirken, DBYBHY-2007'nin daha geniş spektral değerler verdiği belirtilmiştir.

Deniz ve Yüccemen (2005), yaptıkları çalışmada Antalya yöresinin sismik tehlike analizini stokastik modellerden yararlanarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında, Antalya İlini içine alan 250km<sup>2</sup>'lik bir alanda tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelen sismik aktiviteler incelenmiş ve elde edilen farklı magnitüd ölçeğine sahip veriler tek bir ölçeğe çevrilerek geniş kapsamlı bir veri tabanı elde edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarla belirlenen inceleme alanını etkileyebilecek sismik kaynak bölgelerinin sınırları tekrar düzenlemiş ve yerel bir yer hareketi tahmin denklemi kullanılmıştır. Sismik tehlike analizinde yapılan kabullerden ve sismik parametrelerden kaynaklı belirsizlikler, mantık ağacı yöntemi ile çalışmaya yansıtılmıştır. Çalışma elde edilen verilerin tümünü içeren ve ikincil depremlerin elenmesi ile sadece ana şokların dikkate alındığı iki farklı deprem kataloğu için tekrarlanmıştır. Çalışma sonucunda, deprem verilerinin tamamı dikkate alınarak gerçekleştirilen sismik tehlike analizinde bütün tekerrür süreleri için daha büyük yer ivmelerinin meydana geldiği belirtilmiştir.

McGuire ve Cornell (2005), yaptıkları çalışmada olasılıksal sismik tehlike analizinin (OSTA) tüm aşamalarının kabuller ve bilgi eksikliğine dayalı belirsizlikler içerdiğini ifade etmişlerdir. Çalışma alanının sismik tehlikesinin en gerçekçi şekilde temsil edilebilmesi için yıllık aşılma frekanslarının ortalamalarının hangi şartlar altında kullanılacağını ifade etmişlerdir.

Öztürk (2008), yaptığı çalışmada sismik kaynak tanımını, büyüklük dağılımını, deprem oluşumunu ve azalım ilişkilerinin türüne göre kullanılan farklı modellerin duyarlılığını araştırmış, bu modeller ile ilgili belirsizlikleri de dikkate alarak sismik tehlike analizi sonuçlarını irdelemiştir. Çalışma kapsamında ilk olarak, deterministik ve olasılıklı sismik tehlike analizi yaklaşımlarındaki farklılıklar, tek bir fay tehdidi altındaki bir alanın dikkate alındığı açıklayıcı bir örnekle sunulmuştur. Azalım ilişkilerindeki belirsizliklerin ve kaynak modelleme, büyüklük dağılımı gibi alternatif varsayımların OSTA sonuçlarına etkileri bir dizi alan için incelenmiş ve OSTA yapacaklar için birtakım öneriler sunulmuştur. Farklı varsayımların ve modellerin sonuçlara etkisini incelemek amacıyla büyük (bir ülke) ve daha küçük bir bölge (bir il) için gerçek verilere dayanan iki vaka çalışması yapılmıştır. Hem deterministik sismik tehlike analizinin (DSTA) hem de OSTA sonuçlarının yer hareketi tahmin denklemi seçimine ve yer hareketinin ortalama tahmin eğrisi etrafındaki değişkenliğine duyarlı olduğu ifade edilmiştir. Mantık ağacı yöntemine dahil edilecek azalım ilişkilerinin seçimine dikkat edilmesi önerilmiştir. Çalışma kapsamında sismik



tehlike analizi için birçok bilgi verilmiş ve bu konu üzerinde çalışma yapacaklara önerilerde bulunulmuştur.

Deniz ve Yüçemen (2010) yaptıkları çalışmada, sismik tehlike analizinde ana girdiyi oluşturan deprem kataloglarının çoğunlukla farklı ölçeklerde olduğunu ve bu farklı ölçeklerdeki büyüklüklerin, sismik bir veri tabanı derlenirken ortak bir ölçeğe dönüştürülmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında farklı magnitüd ölçeğinde (yüzey dalgası büyüklüğü  $M_s$ , lokal büyüklük  $M_l$ , cisim dalgası büyüklüğü  $M_b$  ve süreye bağlı büyüklüğü  $M_d$ ) verilen büyüklükleri, moment büyüklüğüne ( $M_w$ ) dönüştürmek için ampirik formüller geliştirilmiştir. Türkiye'de meydana gelen depremler için yurtiçi ve yurtdışı veri tabanlarından oluşan bir deprem kataloğu düzenlemişler ve bu veri kaynaklarının deprem raporlamadaki farklılıklarını irdelemişlerdir. Hem bağımlı hem de bağımsız değişkenlerdeki hatalar dikkate alınmış, farklı veri kaynaklarının aynı deprem büyüklüğü ölçeği ile farklı deprem büyüklüğü ölçeği arasında ilişki kurularak uygun istatistiksel yöntemler ile dönüşüm formülleri belirlenmiştir.

Çağnan ve Akkar (2010), yaptıkları çalışmada yerel ve küresel yer hareketi tahmin denklemlerinin farklılıklarını incelemişler ve farklılıklara neden olabilecek sismolojik parametreleri araştırmışlardır. Bu amaçla çalışma kapsamında, Türkiye yer hareketi veri tabanı kullanılarak pik yatay ivmeyi, hızı ve sözde spektral ivmeyi tahmin etmek için bir dizi yer hareketi tahmin denklemi türetilmiştir. Türetilen yeni yer hareketi tahmin denklemleri küresel denklemler ile karşılaştırılmıştır. Yerel ve küresel yer hareketi tahmin denklemleri arasındaki tutarsızlığın, küresel denklemlerin benzer magnitüd büyüklük sınırlarına sahip olması şartıyla, küçük magnitüd büyüklüklerinde daha belirgin olduğu ifade edilmiştir. Yapılan ayrıntılı karşılaştırmalar sonucu, derinliğin yerel ve küresel yer hareketi tahmin denklemleri arasındaki farkları tanımlamak için önemli bir parametre olabileceği belirtilmiştir.

Yüçemen (2011) tarafından yapılan çalışmada, sismik tehlike analizinin temelini oluşturan modeller açıklanmış ve sismik tehlike haritalarının oluşturulmasında kullanılacak stokastik modeller üzerinde durmuştur. Çalışma kapsamında, sismik tehlike analizinin aşamaları tek tek anlatılmış, içerdiği rassal değişkenlerden ve bilgi eksikliğinden kaynaklı hataların dikkate alınması ve olasılık-istatistik metotların kullanılması önerilmiştir. Bu alanda çalışma yapacaklara, eldeki verilerin ve fiziksel olayların uygulanan stokastik modele uygun olup olmadığının araştırılması önerilmiştir.

Papagiannopoulos vd. (2012) yaptıkları çalışmada, Yunanistan'da bulunan iki adanın sismik tehlike analizini gerçekleştirmişlerdir. Ancak çalışma alanındaki yeterli sismik veri bulunmadığı için özel bariyer modeli kullanılarak yapay ivme kayıtları oluşturulmuş ve bu kayıtların pik ivme değerleri ampirik formüller ile elde edilen pik ivme değerleriyle karşılaştırılmıştır. Yapay ivme ile oluşturulan sahaya özel tepki spektrumunun, ülkenin deprem koduna ait tasarım spektrumu ile karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında eski ve yeni yapılara ait sismik hasar potansiyelleri değerlendirilmiş ve bu potansiyelin yüksek olduğu ifade edilmiştir.

Sitharam ve Kolathayar (2013), Hindistan için dört yer hareketi tahmin denklemi kullanarak sismik tehlike analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında, sismik tehlike analizi gerçekleştirilecek olan alan  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  derecelik küçük ızgaralara ayrılarak pik yatay ivme ve 0.1s–1.0s periyotları arası için spektral ivme tahminleri yapılmıştır. Hindistan'ın Kuzey ve Kuzeydoğu bölgelerinin sismik tehlikesinin yüksek olduğu ifade edilmiştir.

Karaca (2015), yaptığı çalışmada OSTA'yı ve Frankel (1995) tarafından geliştirilen mekânsal olarak düzleştirilmiş sismisite modelini (MODSİM) kullanarak Eskişehir ili için sismik tehlike haritalarını geliştirmiştir. Çalışma sahası olarak Eskişehir merkezli, çapı 300km olan dairesel bir alan belirlenmiş ve bu alanın içerisinde kalan sismik kaynaklar, ilgili sismik parametreler, sismik aktivite kayıtları ve alan kaynakları belirlenerek OSTA gerçekleştirilmiştir. Aletsel döneme ait 1900 ve 2000 yılları arasındaki deprem kataloğu belirlenmiş, her magnitüd aralığı ve periyod için eksikliği incelenmiş ve kataloğun eksik olmayan bölümleri seçilerek alt kataloglar elde edilmiştir. Elde edilen bu alt kataloglar yardımı sismik tehlike haritaları elde edilmiştir. Yöntemlerin uygulanmasında Çağın ve Akkar (2010) tarafından geliştirilen yer hareketi tahmin denklemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sismik tehlike haritaları mevcut resmi sismik tehlike haritası ile karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemle elde edilen haritaların birbiri ile olan benzerliğinin, ilgili tarihte yürürlükte bulunan sismik tehlike haritası ile olan benzerliklerinden daha fazla olduğu ifade edilmiştir.

Harman ve Küyük (2016), yaptıkları çalışmada Sakarya ilini etkileyen aktif sismik kaynakların etkilerini, pik yer ivmesine ait yıllık aşılma oranlarını, sismik tehlike analizi ile incelemişlerdir. Çalışma alanını olarak şehir merkezi seçilmiş ve çalışma alanı için en çok etki oluşturabilecek olası fay uzaklıkları ve deprem büyüklükleri bulunmuştur. Bununla birlikte, bölgeye ait pik yer ivmesi, periyodu 0.2s ve 1.0s olan spektrum ivmelerinin, 50 yılda

%10 ve %2 aşılma ihtimaline göre sismik tehlike haritaları elde edilmiştir. Elde edilen tepki spektrumlarının ivme değerlerinin, yönetmelik hedef tasarım spektrumu ile kıyaslandığında her periyod için ortalama 1.5-2.0 katı daha yüksek değerler elde edildiğini ifade etmişlerdir. Çalışma kapsamında bulunan en büyük yatay yer ivmeleri ile 0.2s ve 1.0s için ivme spektrum değerleri Marmara bölgesi ve Sakarya ili çevresi için daha önce yapılmış çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Deprem kaynaklarının ve moment büyüklüklerinin, Kalkan vd. (2009)'da yaptıkları çalışma ile önemli ölçüde eşleşse bile hesaplanan sonuçların yaklaşık %10 daha yüksek çıktığı ifade edilmiştir. Bu farklılığın nedenini, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün diri fay haritasına 2012 yılında eklenen Hendek fayının çalışmaya dahil edilmesi olarak açıklamışlardır. Erdik vd. (2006) tarafından Türkiye için genel bir deprem tehlikesi belirleme çalışması olarak gerçekleştirilen çalışmada Sakarya için bulunan değerlerin, bu çalışmada elde edilen değerlere göre daha büyük olduğu ifade edilmiştir. 50 yılda % 10 aşılma olasılığı için elde edilen değerlerin bu çalışma ile örtüşürken %2 aşılma olasılığı için adı geçen çalışmada bulunan değerlerin 0.5g-0.8g oranında daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada elde edilen spektrum ivmelerinin, DBYBHY-2007 tasarım spektrumu eğrilerine kıyasla çok daha yüksek değerlerde hesaplandığı ifade edilmiştir. Yani, diri faylara yakın yerleşim bölgelerinde tasarım için kullanılacak yönetmelik tasarım spektrumun yetersiz kaldığı belirtilirken Sakarya ilinin kuzeyinde yapılacak olan binalar için ise yüksek tasarımın söz konusu olduğuna dikkat çekilmiştir. Sakarya ili için literatürde ilk defa yapılan ayrıklaştırma çalışması sonucu, bölge için tehlike oluşturabilecek depremlerin, hangi büyüklük aralığında, ne kadar mesafede ve hangi oranda meydana gelebileceği hakkında fikir verilmiştir. Böylece, 50 yılda %10 ve %2 aşılma olasılıklarına göre Sakarya ili için, en büyük tehlike oluşturabilecek deprem büyüklüğü'nün %30-35 ihtimalle 6.0-6.5 arasında değişeceği ve şehir merkezinden 10-15km uzaklıkta meydana gelebileceği ifade edilmiştir.

Karaca (2017), OSTA kullanılarak Eskişehir ili için sismik tehlike haritası ve ivme spektrum eğrilerini elde etmiştir. Merkezini Eskişehir ilinin oluşturduğu 300km çapındaki çalışma alanı için sismik hareketlilik, ilgili sismik parametreler, seçilen alanda bulunan fay hatları, sismik aktivite kayıtları araştırılmış ve alan kaynaklar belirlenerek OSTA uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yer hareketi tahmin denkleminin yerelliğinin önemi vurgulanmış ve denklem için elde edilen esas katsayılar, sismik tehlike analizi için oluşturulan veri tabanından seçilen yerel sismik kayıtlar kullanılarak kalibre edilmiştir. Çalışma kapsamında bölge, 0.250x0.250 enlem ve boylam aralıklarında ızgara şeklinde

bölünerek kaynak alan ve faylardan meydana gelen sismik tehlike ayrı hesaplanmış ve toplam sismik tehlike değerlerinin elde edilmesi için toplanmıştır. Sahaya özel ivme tepki spektrumlarının oluşturulabilmesi için her bir spektral periyot ve PGA için yıllık aşım oranlarının hesaplanması gerektiği ifade edilmiştir. Yıllık aşım oranlarının hesaplanması için alan kaynaklar ve faylar ayrı ayrı değerlendirilmiş ve etkilerinin toplamı alınmıştır. EZ-FRISK (2013) yazılımı tarafından otomatik olarak yapılan bu hesaplamalar ile 50 yılda oluşma olasılığı sırasıyla %2, %5, %10, %25 ve %50 olan depremler için ivme tepki spektrumları elde edilmiştir. OSTA ile elde edilen sonuçlar, mevcut resmi deprem tehlike haritası ve ivme spektrum eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucu, bu çalışma ile elde edilen sismik tehlike haritasının daha detaylı olduğu belirtilmiştir. Bu durumun, çalışma yapılan alanların boyutlarının ve kullanılan yer hareketi tahmin denklemlerinin farklı olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Tekerrür periyodu 475 yıl olan ivme tepki spektrumu ile DBYBHY-2007 spektrumunun 1.5s civarına kadar hemen hemen aynı değerlerde iken bu periyottan sonraki değerlerde DBYBHY-2007'ye göre elde edilen ivme eğrisinin, bu çalışmada belirlenen eğri değerlerinin neredeyse iki katı olduğu belirtilmiştir. Ancak bu durumun yönetmelik duyarlılık derecesi dikkate alındığında kabul edilebilir olduğu ifade edilmektedir. DBYBHY-2007'de 0.3g olarak verilen maksimum yer ivmesinin bu çalışma sonucunda 0.24g olarak elde edildiği ve bu değer Yüçemen vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada belirlenen maksimum yer ivmesi değeri ile yakın olduğu belirtilmiştir.

Bıçak (2018), gerçekleştirdiği çalışmasında OSTA'nın aşamalarını ele almış, dikkat edilmesi gereken kuralları çıkarmış ve Burdur ili merkezinde yapılması planlanan hastane projesi için EZ-FRISK (2011) yazılımının kullanarak sahaya özel elastik ivme spektrumları elde etmiştir. Sismik tehlike analizi sonucu elde ettiği spektrumları, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 kurallarına göre belirlenen tasarım spektrumları ile karşılaştırmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucu sismik tehlike analizi ile elde edilen spektral ivme değerlerinin yönetmelik spektrumlarının altında kaldığı ifade edilmiş ve proje alanı için DBYBHY-2007 tasarım spektrumunun kullanılması önerilmiştir.

### 1.2.2. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Lee vd. (2000), yaptıkları çalışmada deprem yer hareketi kayıtlarının seçilmesini ve ölçeklendirilmesini yüksek binalar için incelemişleridir. Hem planda hem de düşeyde düzensizlikleri olan uzun periyotlu yüksek binaların zaman tanım alanında analizleri seçilen gerçek deprem kayıtlarının kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Elastik tasarım tepki spektrumlarının, deprem süresi, bölgeye ait özellikleri vb. sismik parametreleri içermediğini ifade etmişlerdir. Seçilen gerçek yer hareketi kayıtları, lineer elastik tepki spektrumuna göre ölçeklendirilmiş ve bu ölçekli kayıtlar deprem riski olan bölgelerde sismik analizler için kullanılmıştır.

Mukherjee ve Gupta (2002) yaptıkları çalışmada, mühendislik yapılarının doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde kullanılacak yapay kayıtların oluşturulmasında karşılaşılan sorunlar üzerinde durmuşlardır. Mevcut bir akselogram, dalga analizleri yardımı ile frekans içerikleri farklı olan kayıtlara dönüştürülmüş ve yöntemin ana fikrinin mevcut bir akselogram üzerinde değişiklikler uygulanarak frekans içeriğindeki varyasyonların yapay akselogramlara aktarılabilmesi belirtilmiştir. Dalga analizleri ile elde edilen kayıtların her birine ait davranış spektrumları, hedef tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir. Yöntem beş farklı kayıt üzerinde uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Kullanılan tekrarlı yöntemin mevcut bir akselogramın faz karakteristiklerini kullanan diğer yöntemlere oranla daha doğru sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Kurama ve Farrow (2003), yaptıkları çalışmada farklı zemin koşulları ve yapısal özelliklere (akma dayanımı ve periyot) sahip lineer olmayan tek serbestlik dereceli ve çok serbestlik dereceli sistemler için yer hareketi ölçeklendirme yöntemlerini incelemişlerdir. Sert zeminler için iyi sonuç veren ölçeklendirme yöntemlerinin yumuşak zeminler için aynı sonucu vermediği ifade edilmiş ve aynı şekilde uzak alan durumları için iyi sonuç veren ölçeklendirme yöntemlerinin yakın alan karakteristikleri açısından da aynı sonucu vermediği belirtilmiştir.

Naeim vd. (2004) yaptıkları çalışmada, belirli bir sahaya özgü tasarım spektrumu ile minimum değişikliklerle takım halinde eşleştirilebilen yer hareketi kayıtlarının seçimi için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Seçilen yer hareketlerine uygulanan ölçeklendirme faktörlerinin, kullanıcılar tarafından belirlenen sayısal aralıkta olduğu ve yer hareketi kayıtlarına ait tepki spektrumlarının faz ve şekil değiştirmedeği ifade edilmiştir. Mevcut

ölçeklendirme yöntemlerinin aksine, Genetik Algoritma (GA) yönteminin, binlerce deprem kaydından oluşan bir kümede hedef tasarım spektrumu ile iyi eşleşen kayıt kümesini verebileceği belirtilmiştir. Genetik algoritma yönteminin hızlı ve güvenilir olduğu ayrıca yer hareketi kayıtları üzerinde minimum değişiklikler yapılarak hedef spektrum ile en az ortalama sapma ile eşleşen kayıtlar elde edilebileceği ifade edilmiştir.

Fahjan vd. (2007) yaptıkları çalışmada, sayısal analizlerde kullanılacak olan yer hareketlerinin seçiminde dikkat edilmesi gereken temel unsurları tanımlamış ve bu unsurların İran tasarım yönetmeliği ile olan uyumunu irdelemişlerdir. Seçilen yer hareketi kayıtları, tasarım spektrumu ile eşleştirilmek üzere zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemlerine tabi tutulmuştur. Her iki yöntem sonucu elde edilen ölçeklenmiş kayıtlar karşılaştırılmış ve mühendislik yapılarının sismik davranışlarının belirlenmesini sağlayan zaman tanım alanı analizlerinde kullanılıp kullanılmayacağı tartışılmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen yöntemler karşılaştırıldığında, zaman tanım alanında ölçeklendirme yönteminin hem yer hareketi kayıtlarının frekans içeriğini değiştirmedeği hem uygulanması basit bir yöntem olduğu için frekans tanım alanı yöntemine göre daha avantajlı olduğu ifade edilmiştir. Ancak tasarım spektrumuna uygun olan gerçek yer hareketi kayıtlarının az olması durumunda kullanılabilmesi ifade edilen frekans tanım alanı yöntemi ile elde edilen kayıtların, hedef tasarım spektrumu ile daha iyi eşleştiği ifade edilirken yöntemin olumsuz yanları da belirtilmiştir. Frekans tanım alanında ölçeklendirme yönteminde kullanılan yer hareketi kayıtlarının gerek frekans içeriği gerek ise spektral yer değiştirme davranışlarında önemli oranda değişimlerin olduğu ifade edilmiştir. Bu değişimlerin, kullanılacak yer hareketi kayıtlarının ölçeklenecek hedef tasarım spektrumuna uyumlu olacak şekilde seçilmeleri ile azaltılabileceği belirtilmiştir.

Özdemir ve Fahjan (2007), yaptıkları çalışmada yer hareketi kayıtlarının elde edilmiş yöntemlerini tanımlamış, deprem yönetmeliklerinde verilen tasarım spektrumlarına uygun kayıtların taşınması gereken özellikleri belirtmişlerdir. Zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Çalışma kapsamında DBYBHY-2007 Z2 zemin sınıfına uygun olarak seçilen gerçek yer hareketi kayıtları zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında hedef ivme spektrumlarına göre ölçeklenmiştir. İki yöntem ile elde edilen ölçeklenmiş kayıtlar kullanılarak tek serbestlik dereceli sistemin doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan davranışları karşılaştırılmıştır. Frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi ile elde edilen kayıtların zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi ile elde edilenlere göre tasarım spektrumu ile daha iyi eşleştiği belirtilmiş ancak

frekans içeriği değiştiği için kaydın doğal özelliklerini kaybettiği ifade edilmiştir. Ayrıca frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi ile elde edilen kayıtların, yer değiştirmeye hassas bölgede eşit yer değiştirme kuralını sağlamadığı belirtilmiş ve yapıların doğrusal olmayan deprem hesaplarında kullanılmasının uygun olmadığı ifade edilmiştir. Diğer yandan zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi ile elde edilen kayıtların doğrusal elastik olmayan ivme davranış spektrumlarının, yer değiştirmeye hassas bölgede eşit yer değiştirme kuralını sağladığı ve sabit sistem davranış katsayısı ile elde edilen yer değiştirme süneklik taleplerinin sistem davranış katsayısına eşit olduğu ifade edilmiştir.

Fahjan (2008) yaptığı çalışmada, yapıların sismik analizinde kullanılan zaman tanım alanında hesap yöntemi için kullanılacak yer hareketi kayıtlarının elde ediliş yöntemlerini tanımlamış, deprem yönetmeliklerinde verilen tasarım spektrumlarına uygun kayıtların taşması gereken özellikleri belirtmiştir. Zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemleri açıklanmıştır. Frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılarak tasarım spektrumu ile çok iyi eşleşen kayıtların elde edilebildiğini ancak bu kayıtların yer değiştirmeye hassas bölgede eşit yer değiştirme kuralını sağlamadığı gerekçesiyle, yapıların doğrusal olmayan analizlerinde kullanılırken dikkatli olunması gerektiğini ifade edilmiştir. Çalışmada kullandığı yer hareketi kayıtları, DBYBHY-2007 zemin sınıflarına göre ayrılmış ve 0.01s-5.0s periyot aralığında zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi uygulanmıştır. Her bir zemin sınıfı için tasarım spektrumu ile en iyi eşleşen 10'ar adet yer hareketi seçilmiş ve zemin sınıfı, deprem bölgesi, bina önem katsayısı belirlenen iki örnek üzerinde yer hareketi kayıtlarının ölçeklendirilmesi detaylı olarak açıklanmıştır.

Luca vd. (2009), farklı yöntemlerle ölçeklendirilmiş olan deprem yer hareketi kayıtlarının, yapıların doğrusal olmayan analizleri ve plastik davranışları üzerindeki etkilerini incelemişleridir. Çalışmada gerçek kayıtlar, nispeten lineer olarak ölçeklendirilmiş gerçek kayıtlar, lineer olarak ölçeklendirilmiş kayıtlar, dalgalarla düzeltilmiş gerçek kayıtlar ve iki farklı yöntem kullanılarak elde edilen yapay kayıtlara ait karşılaştırmaların yapılabilmesi için tek serbestlik dereceli sistemler kullanılmıştır. Dalgalarla düzeltilmiş kayıtların ve iki farklı yöntem kullanılarak elde edilen yapay kayıtların, doğrusal olmayan bölge için yer değiştirme ve süneklik taleplerinin tahmini konusunda gerçek kayıtlara oranla eksik kaldıkları belirtilmiştir. Ancak yapay kayıtların, döngüsel davranış göz önüne alındığında gerçek ve dalgalarla düzeltilmiş kayıtlara göre daha iyi sonuç verdiği ifade edilmiştir.

Hachem vd. (2010), yaptıkları çalışmada Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Avrupa Birliği Ülkeleri ve Yeni Zelanda gibi ülkelerde mevcut olan yönetmeliklerde, deprem yer hareketi kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi alanında belirtilen kuralları incelemişler ve yönetmelikler arasındaki farklılıkları ortaya koymuşlardır. Çalışma kapsamında, tasarım yüklerinin ve davranış spektrumlarının belirlenmesinde yönetmelikler arasında büyük farklılıklar olduğu ifade edilirken yer hareketi kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesinde nispeten daha az farklılığın olduğu belirtilmiştir. Her ülkeye ait yönetmelikte üç yer hareketi kaydının seçilmesi ve benzer ölçeklendirme kurallarının uygulanması belirtilirken çift yönlü ivme etkisinin tüm yönetmeliklerde aynı oranda yer bulmadığı ifade edilmiştir.

Katsanos vd. (2010) yaptıkları çalışmada, yapıların sismik davranışlarının belirlenmesinde kullanılan yer hareketi kayıtlarının seçilmesi alanında yapılan çalışmaları ve geliştirilen yöntemleri, yönetmelik şartlarına göre değerlendirmişlerdir. Yapılan çalışmada, mevcut yönetmeliklerin yapıların sismik davranışlarının belirlenmesinde yeterli olurken sismik girdilerin belirlenmesi, uygun yapısal modellerin oluşturulması ve kompleks yapılar için gerekli olan mühendislik hükümlerinin yetersiz olduğu belirtilmiştir.

Fahjan vd. (2011) yaptıkları çalışmada, zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi ile on adet gerçek yer hareketi kaydını hedef tasarım spektrumu ile eşleştirmiş ve on iki katlı betonarme bir yapı örneğinin zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Örnek olarak seçilen yapının Z2 ve Z4 olmak üzere iki farklı zemin sınıfı üzerine inşa edilmiş olduğu kabulü yapılarak analizler gerçekleştirilmiş ve yapıya ait yer değiştirme ve görelî kat ötelemeleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler ile DBYBHY-2007'ye göre zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumunun, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalamasının tasarım için esas alınması gerektiği kuralı irdelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, zaman tanım alanında doğrusal hesaplarda yedi yer hareketi kullanılarak elde edilen sonuçların ortalaması ile spektral analiz sonuçlarının birbirine oldukça yakın çıktığı belirtilirken doğrusal ve doğrusal olmayan hesapta üç yer hareketinden elde edilen sonuçların maksimumunun kullanılmasının konservatif tasarımlara neden olacağı ifade edilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucu, yapıların zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizlerinde en az yedi adet yer hareketi kaydının kullanılarak



sonuçların ortalamasının alınmasının, sistem davranışını daha doğru yansıtacağı belirtilmiştir.

Kayhan (2011) yaptığı çalışmada optimizasyon tekniğini kullanarak farklı zemin sınıfları için tasarım ivme spektrumları ile eşleşen ivme kaydı takımlarını elde etmiştir. Her bir ivme kayıt takımı, yedi adet ham gerçek yer hareketi kaydı bulunduracak şekilde oluşturulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda optimizasyon tekniğinin, Eurocode 8'de tanımlanan hedef tasarım ivme spektrumları ile iyi eşleşen ivme kayıt takımlarının oluşturulmasında etkili olduğu ifade edilmiştir.

Huang vd. (2011) yaptıkları çalışmada farklı yer hareketine maruz kalan yapıların, yapısal davranışında meydana gelen dağılışı korumayı ve gerek yakın gerek ise uzak fay etkileri için en uygun olan ölçeklendirme yöntemini belirlemeyi amaçlamışlardır. Yer hareketi bileşenlerinin geometrik ortalamalarının ölçeklendirilmesi, yer hareketlerinin spektrumlarının eşleştirilmesi, yapının temel periyoduna karşılık gelen spektral ivme  $S_a(T_1)$  değerlerinin ölçeklendirilmesi ve spektral taleplerin her biri için yer hareketlerinin ölçeklendirilmesi olmak üzere toplamda dört farklı ölçeklendirme yönteminin, yapısal sistemlerin yer değiştirme davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında çok sayıda tek serbestlik dereceli sistemin doğrusal olmayan davranışları karşılaştırılmış ve her bir ölçeklendirme yönteminin olumlu olumsuz yönleri belirtilmiştir.

Haselton vd. (2011), yaptıkları çalışmada mühendislik yapılarının göçme performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan yer hareket kayıtlarının seçilmesi için alternatif bir yöntem üzerinde durmuşlardır. Çalışma kapsamında spektral şekil ile epsilon ( $\epsilon$ ) arasındaki ilişki tanımlanmış ve spektral şekil etkilerinin yapılarının göçme performansını nasıl etkilediği belirtilmiştir. Göçme simülasyonları için kapsamlı bir uzak fay yer hareket takımı kullanılarak ortalama göçme kapasiteleri elde edilmiştir. Elde edilen ortalama göçme kapasiteleri üzerinde bir düzeltme katsayısı uygulanmış ve spektral şekil etkilerinin yapıların göçme performansları üzerindeki etkilerini tanımlayan bir regresyon yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem, göçme kapasitelerini düzenlemek amacıyla bir epsilon ( $\epsilon$ ) düzeltme katsayısı ile yüzün üstünde yapı modeline üzerinde uygulanarak basit bir yöntem ortaya konmuştur. Yapılan çalışmada sunulan yöntemin, yer hareketi kaydı seçmede kullanılan diğer yöntemlerle yakın sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Kalkan ve Chopra (2011), yaptıkları çalışmada, yer hareketi kayıtlarının ölçeklendirilmesinde modal itmeye bağlı bir yöntem üzerinde durmuşlardır. Bu yöntem ile belirlenen yer hareketi kayıtları, binaların doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi

için analizlerde kullanılmıştır. Yöntemde tek serbestlik dereceli elastik olmayan sistemlerin ilk modlarının elastik olmayan deformasyonları, ilk mod itme analizi ile belirlenmiş ve yer hareketi özellikleri bu deformasyonlar hedef alınarak ölçeklenmiştir. Yöntemin ilk modları baskın olan yapılar için uygun olduğu ifade edilmiştir. Yüksek modların katkılarının önemli olduğu yapılar için geliştirilebileceği ifade edilmiş ancak yöntem uygulanırken ölçeklenmiş yer hareketi kayıtlarının seçilirken tek serbestlik dereceli sistemlerin ikinci mod elastik deformasyonlarının göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmiştir. Çalışma kapsamında dört, altı ve on üç katlı binalar üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar ile uygulanan yöntemin doğruluğu ve etkinliği gösterilmiştir.

Uçar ve Merter (2015), büyüklük, faylanma mekanizması ve zemin koşulları dikkate alınarak seçtikleri gerçek yer hareketi kayıtları iki farklı zemin türüne göre gruplandırmış ve her birinin %5 sönüm oranına sahip elastik ivme spektrumlarını zaman tanım alanında ölçeklemiştir. Ölçeklenme işleminde hedef spektrum olarak 1. derece deprem bölgesi, bina önem katsayısı  $I=1$  ve iki farklı zemin sınıfı için belirtilen DBYBHY-2007 ve farklı yönetmeliklere ait elastik tasarım ivme spektrumları kullanılmıştır. Ölçeklemenin periyot aralığı 0.01s-4.00s olarak seçilmiştir. 6 farklı elastik tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde yedi farklı kayıt ölçeklenmiş ve toplamda kırk iki adet doğrusal ölçekleme katsayısı ve oransal göreceli hata değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan katsayılar kullanılarak, ölçeklenmiş kayıtlara ait zarf süreler ayrıca belirlenmiştir. Aynı zemin sınıfları kabulünde, çalışmada kullanılan yönetmeliklerdeki tasarım ivme spektrumlarına göre her bir kayıt için zaman tanım alanında hesaplanan ölçekleme katsayılarının birbirine oldukça yakın değerler geldiği belirtilmiştir. Ancak aynı yer hareketi kaydı için farklı yönetmeliklerdeki tasarım ivme spektrumlarına göre hesaplanan ölçekleme katsayısında sistematik değişimler görüldüğü halde hesaplanan oransal göreceli hata değerinin azalmakta veya artmakta olduğu ifade edilmiştir.

Ergün ve Ateş (2015), onar adet yakın ve uzak fay yer hareketini Eurocode 8 yönetmelik tasarım ivme spektrumuna göre zaman tanım alanında ölçeklendirmişlerdir. Elde edilen ölçeklenmiş kayıtlar ile izolasyonlu verev bir köprünün dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Köprü tabliyesi ve köprü orta ayağına ait eğilme momenti değerleri her bir yer hareketinin ölçekli olması ya da olmaması durumuna göre değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında kayıtlara ait ölçeklendirme katsayısının ve oransal göreceli hata gibi ölçeklendirme parametrelerinin değerlerinin küçük geldiği belirtilmiş ve bu durumun seçilen

kayıtlara ait ivme davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasındaki genlik farkının az olmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Yer hareketi kayıtlarının ölçeklendirilerek tasarım ivme spektrumu ile arasındaki farkın azaltılması ile dinamik analiz sonuçlarının doğruluğunun artacağı ve yer hareketleri arasındaki genlik farklılıklarının azaltılmasıyla yapısal davranış üzerinde oluşturdukları etki farklılıklarının azaltılacağı belirtilmiştir. Dinamik analizler sonucunda elde edilen grafikler incelendiğinde, yakın fay yer hareketleri köprü tabliyesi ve ayağı boyunca uzak fay yer hareketlerine göre daha büyük kesit etkileri oluşturduğu ifade edilmiştir.

Adekristi ve Eatherton (2016) yaptıkları çalışmada, bir deprem yer hareketinin spektral eşleştirilmesinde, o yer hareketine ait tepki spektrumu ile hedef spektrumun yeterince eşleşene kadar yöntem adımlarının tekrarlanması gerektiği belirtilmiştir. Spektral eşleştirme yönteminin, aslında doğrusal olmayan bir sorun barındırdığı ifade etmiştir. Doğrusal olmayan denklem setinin çözümü için Broyden güncellemesi kullanılarak mevcut zaman tanım alanında spektral eşleşme algoritmalarında değişiklikler önerilmiştir. Üç dalga türü değerlendirilmiş ve düzeltilmiş konik kosinüs dalgası seçilmiştir. Önerilen algoritma daha sonra test edilmiş ve spektral eşleme için yaygın olarak kullanılan diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen algoritmanın yer hareketi ile hedef spektrumun eşleştirilebildiğini ve spektral durağanlığın, enerji gelişiminin ve orijinal zaman geçmişlerinin frekans içeriğinin makul bir şekilde korunduğunu göstermiştir.

Gaikwad vd. (2017), yaptıkları çalışmada beş, on iki ve on sekiz katlı çerçeve sistemler için dinamik analizler gerçekleştirmişlerdir. Analizlerde, çalışma kapsamında seçilen ve ölçeklendirilen yedi yer hareketi kaydı kullanılmıştır. Pik ivme değeri ve ölçeklendirme faktörü büyük olan deprem kayıtlarının, küçük olanlara kıyasla daha büyük yer değiştirme değerleri verdiği ve yapı davranışlarının büyük ölçüde depremlerin büyüklüğüne bağlı olduğu çıkarımı yapılmıştır.

Muchhandani vd. (2018), uluslararası yönetmeliklerde mevcut olan yer hareketi kaydı seçim ve ölçeklendirme yöntemlerini değerlendirmişlerdir. Çalışma kapsamında, yer hareketi kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi aşamalarında dikkate alınması gereken faktörler belirtilmiş ve örnek bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. İki katlı çerçeve sistem için seçilen yer hareketi kayıtları hem genlik ölçeklendirmesi hem de spektral eşleme yöntemlerine göre ölçeklendirilmiştir.

Kottke ve Rathje (2019) yaptıkları çalışmada, deprem yer hareketi takımlarının sismik tasarım ve analiz sürecinde önemli bir rol oynadığını belirtmiş ve hedef ivmesi tepki

spektrumuna uyacak şekilde yer hareketlerini seçen ve ölçekleyen yarı otomatik bir yöntem açıklamışlardır. Yöntemin aynı zamanda yer hareketi takımındaki değişkenliği kontrol ettiği belirtilmiştir. Yöntemin temelini, hedef spektrum ile eşleşen yer hareketi seçiminin yapılması ve hedef spektruma uygun olarak genlik ve standart sapmalar ile yer hareketleri için ayrı ölçek faktörlerinin belirlenmesine dayandığı ifade edilmiştir. Çok sayıda yer hareketi içeren kataloglardan yer hareketi seçiminin gerek her hareket takımını inceleyen ayrıntılı bir yöntemle gerek ise hedef spektrumla kabul edilebilir düzeyde eşleşen daha küçük yer hareketi takımlarının içerisinde iteratif yaklaşımlarla yapılabileceği belirtilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen prosedürlerin uygulanmasına ilişkin öneriler verilmiş ve örnek uygulamalarla açıklanmıştır.

### **1.2.3. Yığma Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi ile İlgili Yapılan Çalışmalar**

Casolo (2000) yaptığı çalışmada, tarihi yığma yapılar üzerinde incelemelerde bulunarak yığma duvarların sismik etkilere karşı davranışını belirlemiştir. Çalışma kapsamında yığma duvarların, farklı yönde yapacağı eğilmeler ve düzlem dışı yer değiştirmeler irdelenmiştir. Farklı yöntemler kullanarak yığma duvarlarda kullanılan malzemelerin davranışı sunulmuştur.

Valuzzi vd. (2004) yaptıkları çalışmada, tuğla birimlerinden oluşan yığma yapıları farklı yüklemeler uygulayarak deneysel olarak incelemiştir. Çalışma kapsamında yapılan deney sonuçlarında yapıda, zamana bağlı olarak çökmeler, çatlaklar ve göçüklerin oluşabileceği ifade edilmektedir. Ayrıca gerçekleştirilen deneylerde yığma yapıların yatay derzlerinde çelik elemanlar ile yapılacak güçlendirmeler yardımıyla zamana bağlı oluşacak hasarların değişimi incelenmiştir. Uygulanan güçlendirmenin zamana bağlı hasar oluşumunu azalttığı belirtilmiştir.

Akgündüz (2004) yaptığı çalışmada, deprem esnasında zeminde oluşan titreşimin yapıların temelinde dönme ve ani ötelenmeler oluşturduğunu, temelde meydana gelen bu harekete yapının üst kısmının uyum sağlayamaması sonucu atalet kuvvetlerinin oluştuğunu ve bu kuvvetlerin yığma yapılar tasarlanırken göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmiştir. Çalışma kapsamında İstanbul ilinde bulunan üç katlı yığma bir yapı yönetmelikler, geçmiş depremlerde elde edilen gözlemler, yapı teknikleri ve tasarım kurallarını dikkate alarak incelemiştir.

Kuruşcu (2005) yaptığı çalışmada, yığma yapıların tarihçesi, malzeme özellikleri ve yapı elemanlarına ilişkin açıklamalar yapmıştır. Çalışma kapsamında mevcut sayısal yöntemler ve modelleme teknikleri karşılaştırılmıştır. Gerçek ölçekli duvar deneyi yapılmış ve yük-yer değiştirme eğrileri yardımıyla sayısal analiz yöntemleri karşılaştırılmıştır.

Çöğürücü (2007) tarafından yapılan çalışmada, yığma yapılarda kullanılan malzemeler belirlenerek bu malzemeler hakkında bilgi verilmiş ve yığma yapıların deprem etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Laboratuvar ortamında oluşturulan bir katlı yığma bina örneğine yatay tersinir yükler etki ettirilmiştir. Yapılan çalışma kapsamında önce 65kN'luk yatay yük uygulanarak yapı incelenmiş ve yapının güçlendirme yapılması gereken bölümleri güçlendirilmiştir. Daha sonra uygulanan yatay yük 80kN'a çıkartılmış ve yapının durumu tekrar incelenmiştir. Her iki yükleme durumu için de her eleman için yük deplasman eğrisi çizdirilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde; ilk duvar çatlamasının, duvar köşelerini çekme altında bırakan yük tarafından elastik sınırlar içinde 40kN'da olduğu ve çatlama sonrası duvarın rijitliğinde %50 oranında azalma meydana geldiği, yapının periyodunun 1.40 kat büyüdüğü ve düzlem dışı yüklenen duvarlarda farklı etkilerin ortaya çıktığı belirtilmiştir.

Kanıt (2007), gerçekleştirdiği çalışmada düzlem dışı yüklemeye maruz kalan yığma duvarın kırılma davranışını analitik ve deneysel olarak irdelemiştir. Yığma duvarlardaki güç tüketiminin kesme kuvveti şeklinde olduğu ve gevrek davrandığı için düzlem dışı yüklemeye maruz kalan yığma yapıların duvarlarında meydana gelebilecek kırılmaların, yapıyı hasara uğratacağı veya çökmesine neden olacağı belirtilmiştir. Çalışma kapsamında 2.7×2.1m boyutlarında yığma duvar örneği yapılmış ve tam orta noktasına yatay yönde yayılı yüklemeye verilerek modelde oluşabilecek kırılmalar verilmiştir.

Dabanlı (2008), yaptığı çalışmada tarihi yığma yapıların yapısal güvenliği ve deprem performansı ile ilgili teorik yaklaşımları incelemiş, yığma yapı elemanlarının modellenme teknikleri ve analiz yöntemleri üzerinde durmuştur. Yapılan çalışmada örnek olarak seçilen ve 17. yy. Osmanlı eseri olan Hırka-i Şerif Camii'nin sonlu eleman modeli oluşturularak statik ve dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar irdelenerek tarihi yapının yapısal güvenliği ve deprem performansı değerlendirilmiştir. Ayrıca yapıyla ilgili güçlendirme önerileri sunulmuştur.

Sayın (2009), yaptığı çalışmada yığma yapı tasarım kuralları, çeşitleri ve modelleme tekniklerine ilişkin konulara değinmiştir. Yığma yapıların deprem performansını belirleyebilmek için yığma duvarların doğrusal olmayan statik ve dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan statik analizlerde yığma yapılardaki mevcut boşluk

boyutu, malzemenin çekme dayanımı ve hatılların duvar etkisi incelenmiştir. Dinamik analizlerde ise iki farklı yer hareketi kaydı kullanılarak yığma duvarlarda meydana gelen değişimler takip edilmiştir.

Ural (2009) gerçekleştirdiği çalışmada, ülkemizdeki mevcut deprem yönetmeliğinde yığma yapılar hakkında bulunan hükümler ile diğer ülke yönetmeliklerinin karşılaştırmalı olarak incelemiş ve modelleme tekniklerini açıklamıştır. Çalışma kapsamında, Drucker-Prager malzeme modeli kullanılarak iki boyutlu bir yığma duvar için doğrusal olmayan analiz, iki boyutlu yığma duvarlar ve üç boyutlu yığma kemer yapı sistemi için doğrusal analiz gerçekleştiren iki farklı program yazılmıştır. Ayrıca yığma yapılar, statik ve dinamik yükler altındaki doğrusal ve doğrusal olmayan davranışları ve yapımında kullanılan malzemelere göre değerlendirilmiştir. Yığma yapıyı oluşturan harç ve yığma birimlerinin dayanımlarının ve hatılların yerleştirilme biçimlerinin, yığma duvarın yük taşıma kapasitesine etkisi ortaya konmuştur.

Yıldız vd. (2011) yaptıkları çalışmada, Nevşehir, Ürgüp'te örnek olarak seçtikleri yığma taş bir yapıyı tarihi ve mimari açıdan incelemişlerdir. Yığma yapıya ait yapısal hasarlar tespit edilmiştir. Yapının özgünlüğü bozmayacak şekilde taş elemanlar arasındaki boşluklara, çatlaklara ve yarıklara uygun kimyasal reçinelerin enjeksiyonu, temel zeminindeki farklılıklar ve boşluklu zayıf bölgeler için poliüretan ve silikat esaslı enjeksiyon reçineleri uygulanması önerilmiştir. Ayrıca yapıda mevcut olan çatlakların büyümesinin önlenmesi için dikiş yönteminin kullanılması önerilmiştir.

Altunışık (2011), gerçekleştirdiği çalışmada Trabzon ilinde bulunan tarihi İskenderpaşa minaresinin FRP kompozit malzemesi ile güçlendirilmesinden önce ve sonra dinamik davranışını incelemiştir. İlk olarak, minarenin üç boyutlu sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve bölgenin yakınında oluşan 1992 Erzincan deprem kaydı kullanılarak dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra minarenin silindirik gövdesi, farklı konfigürasyonlar kullanılarak FRP kompozit malzeme ile güçlendirilmiş ve dinamik analizler tekrarlanmıştır. Gerçekleştirilen analizler sonucu güçlendirme öncesi ve sonrası maksimum yer değiştirmelerin, minarenin tepe noktasında meydana geldiği ve yükseklik boyunca arttığı gözlemlenmiştir. Kompozit malzeme ile güçlendirilen modelde elde edilen yer değiştirme değerlerinin daha küçük olduğu ifade edilmiştir. Maksimum ve minimum asal gerilmelerin geçiş segmenti ile silindirik gövde arasındaki bölgede meydana geldiği ve silindirik gövdenin FRP ile güçlendirilmesi sonrası elde edilen gerilme değerlerinde azalış

olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonucunda, FRP kompozit malzeme güçlendirmesinin tarihi yığma minarelerin dinamik davranışı üzerinde etkili olduğu ifade edilmiştir.

Çarhoğlu vd. (2013), yaptıkları çalışmada, mevcut bir yığma yapının zaman tanım alanında dinamik analizlerini gerçekleştirerek sismik etkilere karşı davranışı irdelemişlerdir. Analizlerde yirmi farklı yer hareketi kullanarak yapıda meydana gelen yer değiştirme ve gerilme değerleri karşılaştırılmıştır. Uygulanan yer hareketlerinin odak derinliğinin değişmesi ile yapıda meydana gelen hasar değişimleri karşılaştırılmış ve yapının en çok ve en az hasar almasına neden olan depremler belirtilmiştir. Analizler sonucu yığma yapıdaki en büyük yer değiştirmenin çatı katı üst seviyesinde olduğu, en büyük gerilme değerinin en büyük yer değiştirmeyi veren depremde gerçekleştiği ve gerilmelerin genellikle kapı ve pencere boşluğunda yoğunlaştığı ifade edilmiştir.

Demirel vd. (2013), yaptıkları çalışmada Antakya bölgesindeki yığma binaları temsil edebilecek bir yapı belirlemiş ve bu yığma yapının tasarım depremi etkisi altındaki davranışını incelemişlerdir. Seçilen yığma yapının analizleri SAP2000 programında gerçekleştirilmiştir. Analizler gerçekleştirilirken yapının x ve y yönlerindeki duvar alanlarına bakılarak mevcut planından eksiltelen duvarlardan türetilen farklı planlar dikkate alınmıştır. Ayrıca yapıya ait duvarın basınç dayanımları için 3.0MPa ve 6.0MPa olmak üzere iki farklı kabul yapılmıştır. Statik itme analizi uygulanmış, her yön ve her model için kapasite eğrileri oluşturulmuş ve performans noktaları tespit edilmiştir. Yapının performans değerlendirilmesi yapılarak her bir duvarının performans seviyesi belirlenmiştir.

Karabork ve Koçak (2014), yaptıkları çalışmada, yığma taş duvarların kayma mukavemetini arttırmak için duvarları dikey ve yatay olarak bağlayan çeşitli metal bağlayıcılar (metal kelepçe) kullanmışlardır. Çalışmada, üç farklı yeni kelepçe tasarımı geliştirilmiş ve kelepçelerin kesme dayanımını artırıp arttıramayacağını belirlemek için yığma taş duvarlarda kesme dayanımı deneysel olarak test edilmiştir. Bu kelepçeler taşlara tek ve çift üniteler halinde uygulanmıştır. Kelepçe levhalarla güçlendirilmiş taş duvarlarının davranışını inceleyen deneysel çalışmanın sonucunda; yeni geliştirilen kelepçelerin yığma taş duvarlara tek bir ünite olarak uygulanması halinde ünitelerdeki büyük yer değiştirmeler nedeniyle duvarların kayma mukavemetinin ve sönümünün önemli ölçüde artarken çift ünite olarak uygulandığında daha yüksek değerlerin elde edildiği ifade edilmiştir. Yeni inşa edilen yığma taş duvarlarda ve tarihi yapıların restorasyonunda uygulanabilir olduğu belirtilmiştir.

Çarhoğlu vd. (2014), yaptıkları çalışmada örnek olarak seçtikleri Kars Kümbet Cami'sinin sonlu eleman modelini oluşturmuşlar ve yirmi farklı deprem yer hareketi kaydı

kullanarak zaman tanım alanı yönteminde doğrusal dinamik analizleri gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirilen analizler sonucu caminin deprem performansını değerlendirilmiştir. Korkmaz vd. (2014) ise yaptıkları çalışmada tarihi yapı olarak Rize’de bulunan Kurşunlu Cami’sini seçmişler ve gerçek deprem yer hareketi kayıtlarını kullanarak yapının deprem performansını değerlendirmişlerdir.

Hejazi vd. (2016), gerçekleştirdikleri çalışmada dokuz farklı tarihi yığma minarenin sıcaklık, rüzgar ve deprem etkisi altındaki yapısal davranışını incelemiştir. Sonlu eleman modelleri, minarelerin merkezi kolan ve merdivenlerinin yapısal davranışa etkisinin araştırılması için tam minare ve sadece dış kabuk olarak modellenmiştir. Sıcaklık değişiklikleri altında belirli iç ve dış sıcaklık farklarının, minarelerin yapısal davranışını olumsuz etkilediği belirtilmiştir. Rüzgar etkisi minarelerde herhangi bir hasara neden olmazken deprem etkisi altında tüm minarelerde depremlerin erken aşamalarında çatlakların oluştuğu ifade edilmiştir. Minare yüksekliklerinin azaltılarak veya malzeme mukavemetlerinin artırılarak oluşan hasarların azaltılabileceği belirtilmiştir.

Altunışık vd. (2017), yaptıkları çalışmada Trabzon ilinde bulunan Zağanos Kalesi’nin yapısal davranışını hem deneysel hem de sayısal yöntemler ile incelemiştir. Deneysel modal analiz yöntemi ile yapının dinamik karakteristik özelliklerini belirlemiş ve ANSYS yazılımında sonlu eleman modeli oluşturularak modal analiz sonucu elde edilen ilk üç mod şekli için frekans değerlerini karşılaştırılmıştır. Frekans değerleri arasında fark gözlemlense de mod şekillerinin aynı olduğu ifade edilmiştir. Yapının doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik davranışını belirlemek için 1999 Kocaeli depremi kullanılmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analiz sonucu elde edilen maksimum yer değiştirme ve asal şekil değiştirme değerlerinin doğrusal dinamik analize oranla daha yüksek elde edildiği belirtilirken asal gerilme değerlerinin daha düşük meydana geldiği ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçları ilgili yönetmelik sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Altunışık vd. (2018), yaptıkları çalışmada aynı yapı için modeldeki belirsiz parametre değerlerini belirlemek, deneysel ve sayısal olarak tanımlanan dinamik karakteristik özellikler arasındaki farklılıkları en aza indirmek amacıyla manuel ve otomatik sonlu eleman model iyileştirme prosedürlerini uygulamışlardır. Deneysel ve sayısal olarak belirlenen mod şekillerinin uyumlu olduğu ancak doğal frekans değerleri arasında %26 oranında fark olduğu belirtilmiştir. Gerçekleştirilen manuel sonlu eleman model iyileştirme sonrası bu farkın %3’e ve otomatik sonlu eleman model iyileştirme sonrası ise %0.02’ye düşürüldüğü ifade edilmiştir. Böylelikle yapının mevcut durumunu yansıtan güncel parametreler belirlenmiştir. Altunışık



vd. (2018) seçtikleri farklı bir tarihi yığma yapıda deneysel ve sayısal yöntemler ile elde edilen dinamik karakteristikleri karşılaştırmış ve doğal frekanslar arasındaki farkı %0-1 aralığına minimize etmişlerdir. Sonlu eleman modelinin ilk ve iyileştirilmiş hali için doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizlerde elde edilen yer değiştirme, gerilme ve şekil değiştirme değerlerinin iyileştirilen sonlu eleman modeli kullanılması durumunda arttığı ifade edilmiştir. Ayrıca doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları karşılaştırıldığında ise yer değiştirme ve şekil değiştirme değerlerinin doğrusal olmayan dinamik analizlerde arttığı belirtilmiştir.

Ural ve Çelik (2018), yaptıkları çalışmada Aksaray il merkezinde bulunan ve tek şerefeli olan yedi adet yığma minarenin deprem davranışını incelemişlerdir. İncelenen minarelerin geometrik özellikleri fotogrametrik cihazlar yardımı ile belirlenmiştir. Çalışmada Türkiye’de gerçekleşen, önemli can ve mal kaybına neden olan Erzincan, Kocaeli, Bingöl, Van depremleri ve DBYBHY-2007’e göre belirlenen dört farklı tasarım spektrumu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, yükseklik, genişlik, rijitlik ve toplam kütle gibi faktörler sonuçları etkilemiştir. Maksimum yer değiştirmelerin minarelerin tepe noktasında gerçekleştiği ve oluşan çekme gerilmelerinin kare kesitten dairesel kesite geçiş bölgesinde kesitteki azalmadan dolayı meydana geldiği belirtilmiştir. Ayrıca oluşan çekme gerilmelerinin, belirlenen dayanım değerinden fazla olduğu ve neredeyse tüm minarelerin göçme sınırında olduğu ifade edilmiştir.

Rinaldin vd. (2019), yaptıkları çalışmada uluslararası tasarım kodlarında ihmal edilen deprem yer hareketi kaydına ait düşey bileşenin, donatısız yığma yapıların sismik davranışı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Oluşturulan sonlu eleman modeli üzerinde dokuz adet deprem yer hareketi kaydı kullanılmıştır. Kullanılan kayıtlar için yığma duvarın çökmesine neden olacak sismik hareketi temsil eden ölçek faktörleri belirlenmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucu düşey bileşeni olan ve olmayan kayıtlara ait sonuçlar karşılaştırılmış ve düşey bileşen etkisinin her ne kadar kaydın frekans içeriğine bağlı olsa da tasarım prosedürlerinde dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Wang vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada yığma bir yapının sismik etkilere karşı güçlendirilme yöntemleri değerlendirilirken Uzun vd. (2019) iki katlı yığma bir yapının sonlu eleman modelini oluşturmuş, statik ve dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Doğrusal olmayan dinamik analizler yatay doğrultuda her iki yönde de ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde yapının güçlü yer hareketine

karşı güvenli olmadığı, doğru ve etli bir güçlendirme yöntemi ile yapının üst noktası için maksimum yer değiştirmelerin %68.5 oranında azaltılabileceği ifade edilmiştir.

Kılıç vd. (2020), yaptıkları çalışmada deprem etkisine karşı uzun ve ince yapı olması nedeniyle hassas olan örnek bir tarihi yığma minarenin dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Minareye ait malzeme özellikleri, yerinde yapılan hasarsız deneyler ile belirlenmiştir. Sonlu eleman modeli kabuk ve çubuk olmak üzere iki farklı eleman türü ile oluşturulmuştur. Dinamik analizler mod birleştirme yöntemi ile DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucu, TBDY-2018'e göre elde edilen tepe noktası deplasman ve taban kesme kuvveti değerinin daha yüksek geldiği ifade edilmiştir. Kabuk ve çubuk eleman kullanımının elde edilen sonuçlarda çok küçük oranda değişikliklere neden olduğu belirtilirken minarenin muhtemel büyük bir depremde dinamik davranışın daha gerçekçi belirlenebilmesi için doğrusal olmayan dinamik analizlerinin de gerçekleştirilmesi önerilmiştir.

### **1.3. Tezin Amacı ve İçeriği**

Bu tez çalışması kapsamında; sahaya özel deprem spektrumlarının oluşturulması, gerçek yer hareketi kayıtlarının seçilerek basit ölçeklendirme ve spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemleri ile yönetmeliklerde verilen tasarım ivme spektrumlarına göre ölçeklendirilmesi ve seçilen yapının doğrusal dinamik analizlerinin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde OSTA ve sahaya özel deprem spektrumu geliştirilmesinde farklı metod ve formülasyonların kullanılarak elastik tasarım spektrumlarının elde edildiği; son yıllarda gelişen teknoloji ile yapısal analizlerde zaman tanım alanında analizlerin yaygın bir şekilde kullanıldığı ve deprem yer hareketi kayıtlarının seçilmesinde ve ölçeklendirilmesinde uygun yöntemlerin geliştirilmesi üzerine çalışmaların yapıldığı görülmektedir.

Birinci bölümde, konu ile ilgili genel bilgilere, yapılmış çalışmalara yer verilmekte ve konunun önemi vurgulanmaktadır. Bu bölümde, OSTA'nın ne olduğu, sismik tehlike analizinin yapılabilmesi için homojen bir deprem veri tabanının nasıl oluşturulması gerektiği, magnitüd tekerrür ilişkisinin ve magnitüd dağılımının ne anlama geldiği, yer hareketlerinin nasıl tahmin edilmesi gerektiği, deprem kayıtlarının hangi yöntemlerle elde edildiği, ölçeklenecek yer hareketi kayıtlarının nelere dikkat edilerek seçildiği, yönetmelikte

verilen ölçeklendirme yöntemlerinin nasıl uygulandığı ve hangi kuralların sağlanması gerektiği ve doğrusal dinamik analizlerde kullanılan yöntemlere değinilmiştir.

İkinci bölümde, tez kapsamı dahilinde yapılan çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen bulgular ile sonuçlar sunulmaktadır. Bu bölümde, Çorum ilinde bulunan tarihi yığma saat kulesini merkez alacak çalışma alanı için sismik tehlike analizi yapılmıştır. Çalışma sonucunda sahaya özel deprem spektrumu geliştirilmiş ve yönetmelik spektrumu ile de karşılaştırılmıştır. Daha sonra seçilen yer hareketi kayıtları, TBDY-2018’de verilen ölçeklendirme yöntemleri uygulanarak hedef tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir. Ölçeklenmiş ivme kayıtları kullanılarak Çorum Saat Kulesi’nin doğrusal dinamik analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler sunulmuştur.

Üçüncü bölümde ise tez çalışmasından elde edilen tüm verilerin değerlendirilmesi ve yapılan öneriler sunulmaktadır.

#### **1.4. Sismik Tehlike Analizi**

Gelecekte oluşabilecek depremlerin oluşum zamanları, büyüklükleri, konumu ve diğer sismik özellikleri önceden belirlenmemektedir. Belirli zaman aralığında oluşabilecek bir depremlerin, mühendislik yapılarında neden olabileceği etkilerin belirlenmesi, deprem mühendisliğindeki önemli sorunlardan birini oluşturmaktadır. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılacak olan parametrelerin belirlenmesinde olasılık ve istatistik metodlarına dayalı sismik tehlike analizi önem kazanmaktadır.

Sismik tehlike analizi, can kaybına ve hasara neden olabilecek büyüklükteki depremlerin, belirli yer ve zaman aralığında meydana gelme olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Sismik tehlike analizinde amaç, eskiden oluşmuş depremlere ait veriler ile jeolojik, sismolojik ve istatistiksel bilgilerin sistematik bir şekilde birleştirilerek mühendislik yapılarının karşılaşılabileceği deprem durumlarının belirlenmesinde gerekebilecek yer hareketi parametrelerinin (yer değiştirme, hız, ivme) hesaplanmasıdır. Böylece deprem tehlikesi; depremlerin yer, zaman ve büyüklük itibari ile gösterdiği rassallık ve birçok belirsizlik de göz önüne alınarak, deprem mühendisliğinde kullanılacak parametreler cinsinden ifade edilebilmekte ve yapıların sismik aktivitelere karşı projelendirilmesi mümkün olmaktadır.

Sismik tehlikenin belirlenmesinde, DSTA ve OSTA olmak üzere iki farklı yöntem geliştirilmiştir.

#### **1.4.1. Deterministik Sismik Tehlike Analizi (DSTA)**

DSTA, deprem tehlikesi ile karşı karşıya kalmaları durumunda büyük ölçüde can ve mal kaybının yaşanacağı hastane, baraj, nükleer santral gibi önemli mühendislik yapılarının bu sismik etkilere uygun olarak tasarlanmasında kullanılan sismik tehlike analiz yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde depremlerin yinelenme periyotları göz önüne alınmamaktadır. Sadece maksimum deprem büyüklükleri ve kaynak ile çalışma sahası arasındaki en kısa mesafe dikkate alınmaktadır. Pratik olması açısından avantaj sağlamaktadır. Ancak hesaplamalarda belirsizlik içermeyen ve olasılığa dayalı olmayan matematiksel ifadeler kullanıldığı için deprem olayının doğası gereği sahip olduğu belirsizlikler yeteri kadar yansıtılamamaktadır.

#### **1.4.2. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (OSTA)**

OSTA, eskiden oluşmuş depremlerin konumu, büyüklüğü, meydana gelme periyotları ve konumuna bağlı olarak yer hareketi parametrelerindeki değişikliklerin istatistiğe bağlı olarak hesaplanmasıdır. Böylelikle depremlere ait veriler ile jeolojik, sismolojik ve istatistiksel bilgiler sistematik bir şekilde birleştirilerek çalışma sahasına ait sismik tehlike analizi gerçekleştirilmekte ve sismik aktivite değerleri belirlenerek mühendislik yapılarının projelendirilmesinde kullanılacak yer hareketi tasarım spektrumları oluşturulmaktadır. OSTA yönteminin uygulanmasındaki başlıca aşamalar aşağıda sıralanmıştır.

1. İnceleme alanının tespit edilmesi ve bu inceleme alanında geçmişte meydana gelmiş depremlere ait verileri içeren deprem kataloglarında gerekli değişiklikler yapılarak sismik veri tabanının oluşturulması,

2. İncelenecek alan sınırları içerisinde kalan alansal ve çizgisel sismik fayların tanımlanması, aktif fay haritalarının belirlenmesi, tanımlanan aktif fayların özelliklerini ifade eden parametre değerlerinin belirlenmesi,

3. Sismik veri tabanındaki depremlerin merkez üstlerinin konumlarına göre inceleme alanındaki sismik kaynaklara dağıtılması ve her sismik kaynak için magnitüd-tekerrür

ilişkisi belirlenerek magnitüd olasılık dağılımının çıkartılması, diğer sismisite parametrelerinin belirlenmesi, sismik kaynakların hiçbiri ile ilişkilendirilemeyen depremlerin etkisinin dikkate alınması için alansal geri plan sismik kaynaklarının tanımlanması,

4. Depremlerin oluşumu için uygun modellerin belirlenmesi,

5. Yer hareketi tahmin (azalım) ilişkisinin, inceleme alanı için yerel verilere dayalı olarak çıkartılması veya mevcut azalım ilişkilerinden uygun olanın seçilmesi,

6. Dikkate alınan tüm sismik kaynakların inşaat sahasındaki sismik tehlikeye olan katkılarını birleştirecek hesap algoritmasına göre zemin hareketi parametresi için olasılık dağılımının elde edilmesi,

7. Bilgi eksikliğine dayalı değişik türdeki belirsizliklerin değerlendirmesinin doğrudan yapılması veya mantık ağacı gibi yöntemlerle etkilerinin sonuçlara yansıtılması,

8. Belirli tekerrür süresine (ya da aşılma olasılığına) denk gelen yer hareketi değerlerinin belirlenmesi ve bu değerlere dayalı olarak deprem tehlike haritalarının oluşturulması.

#### **1.4.2.1. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi İçin İncelenecek Alanın Belirlenmesi**

İncelenecek alanın belirlenmesi sismik tehlike analizinin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu aşama inşa edilecek mühendislik yapısını etkileyecek sismik aktiviteye sahip kaynakların eksiksiz bir şekilde hesaba katılması ve elde edilen sonuçların doğruluğunun sağlanması açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle inceleme yapılacak alanın seçimi çok yönlü bir çalışma gerektirmektedir.

Sismik tehlike analizinin yapılacağı alan belirlenirken, çalışma sahasına uzakta bulunan sismik kaynaklarda oluşabilecek depremlerin sahadaki yer hareketi parametrelerini ne ölçüde etkileyeceği göz önünde bulundurulmalı ve belirlenecek alan çalışma sahasını etkileyecek sismik kaynakları içerecek büyüklükte olmalıdır.

İncelenecek alanın büyüklüğü ile ilgili net bir kural olmayıp merkezinde inşaat sahası bulunan daire veya dikdörtgen şeklinde alınabilmektedir. Genellikle incelenen alan daire şeklinde seçilmekte ve bu dairenin çapı inşaat sahası etrafında bulunan fayların uzunluğu, mekanizmaları, sismik aktivite oranları, seçilen inşaat sahasına uzaklıkları, oluşturabilecekleri en büyük magnitüd değeri, inşa edilecek mühendislik yapısının önemi,

kullanılacak olan zemin hareketi parametresindeki mesafeye bağılı azalım oranı ve azalım ilişkisinin geçerlilik mesafesi gibi birçok etkene bağılı olarak belirlenmektedir.

#### 1.4.2.2. Deprem Veri Tabanının Oluşturulması

Sismik tehlike analizi için deprem katalogları en önemli veri kaynağıdır. Ancak deprem katalogları genellikle farklı türdeki magnitüd büyüklüklerini içermektedir. Bu farklı ölçekteki magnitüd büyüklüklerine sahip katalogların doğrudan kullanımı uygun olmayıp aynı tür magnitüd ölçeğine sahip veri tabanının kullanımı gerekmektedir. Ham deprem veri tabanı ikincil yani öncü ve artçı depremleri içerebilmektedir. Poisson modelinin bağımsızlık kabulü nedeniyle bu ikincil depremlerin elenmesi gerekmektedir. Ayrıca deprem kataloglarındaki çok küçük magnitüde sahip depremler ile uzun tekerrür süreli büyük magnitüdü depremlerin eksik olması da veri tabanında problem oluşturmaktadır (Yüçemen, 2011).

Veri tabanındaki depremlerin büyüklüğü süreye bağılı büyüklük ( $M_d$ ), yerel büyüklük ( $M_L$ ), yüzey dalgası büyüklüğü ( $M_s$ ), cisim dalgası büyüklüğü ( $M_b$ ) ve moment büyüklüğü ( $M_w$ ) şeklinde karışık olarak verilebilmekte ve doğru bir değerlendirilmenin yapılabilmesi için tek tür büyüklüğe çevrilmesi gerekmektedir. Bu amaçla değişik ampirik formüller geliştirilmiştir. Magnitüd büyüklükleri arasındaki dönüşümlerde kullanılan bu ampirik formüller en küçük kareler regresyonu veya ortogonal regresyon yöntemi ile elde edilebilmektedir. En küçük kareler regresyonunda, yalnızca bağımlı değişkende ( $M_w$ ) hata olması durumu dikkate alınmaktadır. Ancak deprem büyüklükleri arasında ilişki kurulurken hem bağımlı hem de bağımsız değişkenlerin hata içermemesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle magnitüd ölçekleri arasındaki dönüşümlerde ortogonal regresyon yöntemi önerilmektedir. Ortogonal regresyon yönteminde, büyüklük dönüşüm bağıntılarının eğimi en küçük kareler regresyonu yöntemine göre daha büyük belirlenmektedir. Bu nedenle büyük magnitüdü depremler en küçük kareler regresyonu yöntemine göre daha büyük hesaplanırken küçük magnitüdü depremler ise daha küçük hesaplanmaktadır (Yüçemen, 2011).

Literatürde, magnitüd ölçeklerinin tek bir ölçeğe çevrilmesini sağlayan çeşitli çalışmalar ve ampirik formüller vardır. Bu çalışmalardan, Deniz ve Yüçemen (2010)

tarafından Türkiye’de son yüzyıl içinde meydana gelmiş depremlerden oluşan veri tabanı ve ortogonal regresyon yöntemi kullanılarak elde edilmiş bağıntılar Denklem 1.1’de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 M_w &= 2.25 \times M_b - 6.14 \\
 M_w &= 1.57 \times M_L - 2.66 \\
 M_w &= 1.27 \times M_d - 1.12 \\
 M_w &= 0.54 \times M_s + 2.81
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

OSTA yönteminde kullanılan Poisson modeli, depremlerin hem zaman hem de konum açısından birbirlerinden bağımsız olarak meydana geldiği kabulüne dayanmaktadır. Poisson modelinin bu varsayımının sağlanabilmesi için deprem kataloglarındaki öncü ve artçı depremlerin elenmesi gerekmektedir.

Öncü ve artçı depremlerin zamana ve mekâna göre belirlenebilmesi için literatürde birçok çalışma yapılmıştır (Gardner ve Knopoff 1974; Van Dyck 1985; Utsu vd. 1995; Savage ve Rupp 2000; Kagan 2002). Yapılan bu çalışmalarda her bir deprem büyüklüğü seviyesi için kendi zaman ve uzaklık penceresi sınırları içinde kalan tüm depremlerin artçı olduğu kabul edilmektedir. Bir depremin öncü deprem olarak kabul edilebilmesi için ise kendi deprem büyüklüğü seviyesinin zaman ve uzaklık sınırları içerisinde kendisinden daha büyük bir deprem bulunmalıdır. Bu durumda magnitudü daha büyük olan deprem ana şok olarak kabul edilmektedir. Magnitud değeri 6.0’dan büyük olan tüm depremler ise ana şok sayılmaktadır. Ayrıca öncü ve artçı depremlerin ana şok etrafındaki zamansal ve mekânsal dağılımı benzerlikler gösterdiğinden belirlenmelerinde farklılık bulunmamaktadır.

Literatürde var olan Gardner ve Knopoff (1974) ile Savage ve Rupp (2000) tarafından yapılan çalışmalardan elde edilen zaman ve mekân pencerelerinin tabloları sırası ile aşağıda verilmektedir. Deniz (2006); Van Dyck (1985), Utsu vd. (1995), Savage ve Rupp (2000), Kagan (2002) tarafından yapılan çalışmalar çerçevesinde artçı şoklar için uzaklık pencerelerinin boyutlarını, Gardner ve Knopoff (1974) ile Savage ve Rupp (2000) tarafından verilen değerlerin ortalamasını alarak da zaman penceresinin boyutlarını belirlemiştir. Bu çalışma sonucu elde edilen uzaklık ve zaman pencerelerinin boyutları Tablo 1.3’de verilmektedir. Tabloda yer almayan ara değerlerin hesaplanmasında, zaman için doğrusal enterpolasyon yöntemi önerilirken uzaklık içinde logaritmik-doğrusal enterpolasyon yönteminin kullanımı önerilmektedir.

Tablo 1.1. Savage ve Rupp (2000) tarafından elde edilen zaman ve uzaklık pencerelerinin boyutları.

Magnitüd	Uzaklık (km)	Zaman (gün)
3.5	31.0	22
4.0	35.5	42
4.5	44.5	83
5.0	52.5	155
5.5	63.0	290
6.0	79.4	510
6.5	100.0	790
7.0	125.9	1737
7.5	151.4	3981

Tablo 1.2. Gardner ve Knopoff (1974) tarafından elde edilen zaman ve uzaklık pencerelerinin boyutları.

Magnitüd	Uzaklık (km)	Zaman (gün)
2.5	19.5	6.0
3.0	22.5	11.5
3.5	26.0	22.0
4.0	30.0	42.0
4.5	35.0	83.0
5.0	40.0	155.0
5.5	47.0	290.0
6.0	54.0	510.0
6.5	61.0	790.0
7.0	70.0	915.0
7.5	81.0	960.0
8.0	94.0	985.0

Tablo 1.3. Deniz (2006), tarafından elde edilen zaman ve uzaklık pencerelerinin boyutları.

Magnitüd	Uzaklık (km)	Zaman (gün)
4.5	35.5	42
5.0	44.5	83
5.5	52.5	155
6.0	63.0	290
6.5	79.4	510
7.0	100.0	1790
7.5	125.9	1326
8.0	151.4	2471



### 1.4.2.3. Deprem Veri Tabanındaki Eksiklerin Giderilmesi

Magnitüd olasılık üstel yoğunluk fonksiyonunun tahmini için deprem kataloğundaki verilerin, her magnitüd büyüklük düzeyi için eksiksiz olması gerekmektedir. Gelişen teknoloji ile deprem kataloğundaki verilerin eksikliği de giderilmektedir. Ancak zaman içerisinde geriye gidildikçe deprem kataloglarındaki deprem verilerinin gerek doğruluğu gerekse sayısı azalmaktadır. Küçük magnitüdü depremlerin kayıtları, yakın zamanda mevcut durumda iken çok eski kayıtlar büyük magnitüdü depremleri içermektedir. Ayrıca eski zamanlarda kayıt altına alınan bu büyük depremlerin çoğunluğu o dönemki yerleşim bölgelerinde gerçekleşmiş olup, kırsal alanlarda gerçekleşen büyük depremlerin kayda geçmemiş olma ihtimali bulunmaktadır. Bu nedenle deprem veri tabanında hem zaman hem de mekan açısından eksiklikler meydana gelmektedir. Eğer bu eksiklikler giderilmeden magnitüd-tekerrür ilişkisi hesaplanırsa uzun süreli oluş sıklıkları gerçekçi bir şekilde hesaplanmayacağı için belirli bir magnitüd aralığına düşen depremlerin eksiksiz olarak kayıt altına alındığı zaman aralığı belirlenmelidir. Belirli magnitüd aralığındaki depremlerin oluş sıklığı, sadece belirlenen bu zaman aralığında meydana gelen depremler dikkate alınarak yapılmalıdır.

Stepp (1972), tarafından geliştirilen yöntem ile deprem kataloglarında yer alan öncü ve artçı depremlerin elenmesi sonucu elde edilen yeni katalog belirli magnitüd aralıklarına göre sınıflandırılmakta ve her bir magnitüd sınıfı noktasal bir süreç olarak dikkate alınmaktadır. Bu yöntem örneklem ortalamasının varyansının, örnekleme sayısı ile ters orantılı olduğu yani gözlem sayısının çoğaltılarak varyansın istenildiği kadar küçültüldüğü temel istatistik kuralına dayanmaktadır. Bu kuralın uygulanabilmesi için deprem kayıtlarının eksiksiz ve sürecin durağan olması gerekmektedir. Eğer depremlerin oluşumu durağan bir süreçte ise ortalama değer, varyans ve diğer istatistiksel momentler sabit kalacaktır. Bu örneklem grubu için yansız ortalama deprem sayısı ve varyans sırasıyla Denklem 1.2 ve Denklem 1.3 ile aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \quad (1.2)$$

$$\sigma^2 = \frac{\lambda}{n} \quad (1.3)$$

Burada  $k_1, k_2, \dots, k_n$  birim zamana isabet eden deprem sayılarını,  $n$  birim zaman aralık sayısını göstermektedir. Eğer birim zaman aralığı bir yıl olarak dikkate alınırsa Denklem 1.4 elde edilmektedir.

$$\sigma_\lambda = \frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{T}} = \sqrt{\frac{\lambda}{T}} \quad (1.4)$$

Burada,  $\sigma_\lambda$  ortalama değerin standart sapmasını,  $T$  ise örneklemin yıl cinsinden zaman aralığını ifade etmektedir. Bu örnekleme eğer durağanlık kabulü geçerli ise, belirlenen magnitüd aralığında  $\lambda$  sabit kalacak ve  $\sigma_\lambda$ ,  $1/\sqrt{T}$  olacaktır. Bu durumda durağanlığın gerçekleşeceği zaman aralığı, hem ortalama değer için iyi bir tahmin oluşturacak kadar uzun hem de kayıtların eksik olduğu aralıkları içermeyecek kadar da kısa olmalıdır. Seçilen magnitüd aralığındaki depremlerin ortalama yıllık oluşum sayısı sadece belirlenen bu zaman aralığında meydana gelen depremler dikkate alınarak yapılmalıdır (Yüçemen, 2011).

#### 1.4.2.4. Deprem Magnitüdü – Tekerrür Modelleri

Sismik bir kaynak tarafından rastgele değişen büyüklüklerde oluşturulan depremlerdeki raslantısallık, magnitüd olasılık yoğunluk fonksiyonu ile belirtilmektedir. Yani magnitüd olasılık yoğunluk fonksiyonu, sismik kaynakta meydana gelen çeşitli büyüklükteki depremlerin olasılığını ifade etmektedir. Literatürde üstel dağılım modeli ve karakteristik deprem modeli olmak üzere iki farklı yöntemden söz etmek mümkündür.

Üstel dağılım modelinin, belirli bir sismik kaynak içermeyen geniş alanlar ile küçük ve orta büyüklükteki depremlerin dağılımı için kullanılması önerilmektedir. Diğer yandan büyük depremler ve özellikle büyük fay kaynakları gibi özel sismik kaynaklar için karakteristik deprem modelinin kullanılması önerilmektedir.

#### 1.4.2.4.1. Üstel Dağılım Modeli

Literatürde deprem magnitüd olasılık dağılımı için en yaygın olarak kullanılan ilişki Gutenberg ve Richter (1958) tarafından önerilen Denklem 1.5'deki doğrusal magnitüd-sıklık ilişkisidir.

$$\log_{10}(N) = a - bM \quad (1.5)$$

Burada, N birim zamandaki magnitüd değeri M'ye eşit ya da M'den büyük deprem sayısını; M Richter magnitüdünü; a ve b ilgili bölge için saptanan katsayıları ifade etmektedir. Eğer  $\alpha = a \ln(10)$  ve  $\beta = b \ln(10)$  olarak ifade edilirse Denklem 1.6 elde edilmektedir.

$$N = e^{\alpha - \beta M} \quad (1.6)$$

Burada,  $\alpha$  bir bölgede olabilecek depremlerin sayısına ilişkin bilgiyi ifade etmektedir. İncelenen alanın büyüklüğü ve zaman aralığı ile doğrudan ilişkilidir.  $\beta$  ise incelenen bölgenin sismik etkinliği ifade etmektedir.

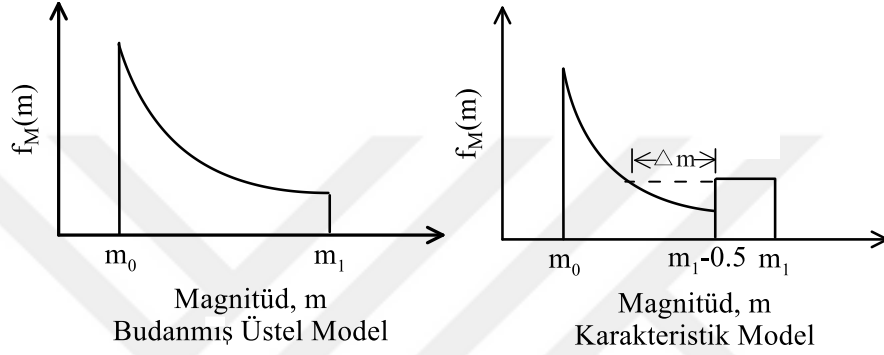
Sismik tehlike analizlerinde magnitüd değerleri için alt ve üst sınırlar belirlenmektedir. Alt sınır ( $m_0$ ) değerinden daha küçük magnitüdü depremler, mühendislik yapılarında hasara neden olmayacağı ve istatistiksel verilerinin güvenilirliği az olduğu için sismik tehlike analizlerinde dikkate alınmamaktadır. Diğer yandan o bölge için beklenen en büyük deprem magnitüdü ( $m_1$ ) üst sınır olarak alınmaktadır. Magnitüd değerleri için alt ve üst sınır varsayımları dikkate alınırsa Denklem 1.6 kullanılarak magnitüd için birikimli dağılım işlevi,  $F_M(m)$ , Denklem 1.7'deki gibi elde edilmektedir.

$$F_M(m) = \Pr(M < m | m_0 \leq m \leq m_1) = k \left[ 1 - e^{-\beta(m-m_0)} \right] \quad (1.7)$$

$$k = \left[ 1 - e^{-\beta(m_1-m_0)} \right]^{-1} \quad (1.8)$$

Burada,  $k$  birikimli dağılım işlevinin  $m=m_1$  değerinde 1.0 olmasını sağlayan standartlaştırma katsayısıdır. Birikimli dağılım işlevinin magnitüde göre türevinin alınması ile Denklem 1.9'da verilen olasılık yoğunluk işlevi,  $f_M(m)$ , bulunmaktadır (Şekil 1.1). Belirtilen  $m_0$  ve  $m_1$  aralığı dışında sıfır kabul edilmektedir.

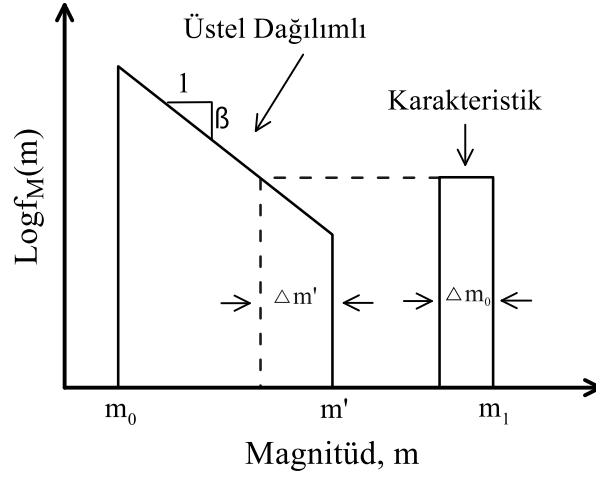
$$f_M(m) = k\beta e^{-\beta(m-m_0)} \quad m_0 \leq m \leq m_1 \quad (1.9)$$



Şekil 1.2. Budlanmış üstel model ve karakteristik deprem modelleri için magnitüd olasılık yoğunluk işlevi (Yüçemen, 2011).

#### 1.4.2.4.2. Karakteristik Dağılım Modeli

Schwartz ve Coppersmith (1984), üstel dağılım modelinin büyük alanlar ve genellikle küçük magnitüd büyüklüğüne uygun olduğunu ancak fay segmentlerinde meydana gelen büyük magnitüdü depremlerin oluş sıklığının tam olarak ifade edilemediği belirterek karakteristik dağılım modelinin kullanımını önermişlerdir. Schwartz ve Coppersmith (1984), tarafından önerilen karakteristik deprem modeline uygun olacak olasılık yoğunluk fonksiyonu ise Youngs ve Coppersmith (1985) tarafından yapılan çalışmalarla hesaplanmıştır. Bu modelde magnitüdüler belirli bir  $m'$  değerine kadar üstel dağılım şeklinde alınmış, bu  $m'$  değerinden büyük depremler ise karakteristik deprem olarak tanımlanmış ve bunların  $m_1 - \Delta m_c$  ve  $m_1$  arasında uniform dağılım gösterdikleri kabul edilmiştir (Şekil 1.2).



Şekil 1.3. Youngs ve Coppersmith (1985), tarafından önerilen karakteristik deprem modeli.

Youngs ve Coppersmith (1985) tarafından  $\Delta m_c$ , 0.5 ve  $m' = m_1 - \Delta m_c$  olarak alınmış ve karakteristik depremin frekansının da üstel dağılımın  $(m' - 1.0)$  değerindeki frekansa eşit olduğu kabulü yapılmıştır. Bu varsayımların uygulanması ve olasılık yoğunluk işlevinin altındaki toplam alanın 1 olmasının sağlanması için gerekli işlemin yapılması ile karakteristik deprem modeli için Denklem 1.10'da verilen olasılık yoğunluk işlevi elde edilmiştir. Burada,  $k$  olasılık yoğunluk işlevinin altındaki toplam alanın 1.0 olmasını sağlayan katsayıdır ve Denklem 1.11 ile ifade edilmektedir.

$$f_M(m) = \begin{cases} k\beta e^{-\beta(m-m_0)}, & m_0 \leq m \leq m_1 - 0.5 \\ k\beta e^{-\beta((m_1-3/2)-m_0)}, & m_1 - 0.5 \leq m \leq m_1 \end{cases} \quad (1.10)$$

$$k = \left[ 1 - e^{-\beta(m_1-0.5-m_0)} + \beta e^{-\beta(m_1-3/2-m_0)} 0.5 \right]^{-1} \quad (1.11)$$

#### 1.4.2.5. Deprem Oluşum Modelleri

Deprem oluşum modelleri, zamana bağlı ve zamandan bağımsız olmak üzere poisson modeli, yineleme modeli ve karma yineleme modeli ile tanımlanmaktadır.

#### 1.4.2.5.1. Poisson Modeli

Zamandan bağımsız olan homojen Poisson modeli, deprem oluşumlarının birbirinden bağımsız olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bu modele göre sismik bir kaynakta belirli bir t zamanı içerisinde en az bir deprem olma olasılığı Denklem 1.12 ile hesaplanmaktadır.

$$\Pr(N \geq 1) = 1 - e^{-v \cdot t} \quad (1.12)$$

Burada,  $v$  sismik tehlike analizi için incelenen bölgede belirli bir zaman içerisinde (genellikle bir yıl) meydana gelen magnitüdü  $M$ 'e eşit veya  $M$ 'den büyük depremlerin ortalama sayısı;  $1/v$  ise yıl cinsinden ortalama tekerrür süresini ifade etmektedir. Poisson modelinde,  $v$  zaman içinde değişmeyen sabit bir değere eşittir.

#### 1.4.2.5.2. Yineleme Modeli

Zamana bağlı yineleme modelleri, depremlerin meydana geliş tekerrür süreleri olan ve aynı dağılıma sahip olaylar dizisi olarak ele almakta, gelecekte beklenen bir depremin zamanının bir önceki depremin oluşum zamanına bağlı olduğunu varsaymaktadır. Yani sismik kaynakta oluşan bir deprem, bir sonraki deprem için tekerrür sürecini tekrar başlatmaktadır. Zamana bağlı modeller, tekerrür süreleri için kabul edilen dağılımlara bağlı olan tehlike oranı ile modellenmektedir (Yüçemen, 2011).

#### 1.4.2.5.3. Karma Yineleme Modeli

Wu vd. (1995) tarafından gerçekleştirilen karma yineleme modeli, büyük magnitüdü karakteristik depremlerin belirli periyotlar içerisinde oluştuğu kabulünü yapmaktadır. Yani büyük magnitüdü karakteristik bir depremin meydana gelmesinin, kendisinden bir önceki karakteristik depremden sonra geçen zamana bağlı olduğu ifade edilmektedir. Bu yöntemde, büyük magnitüdü depremlerin olasılıksal dağılımı üstel dağılım yerine, karakteristik dağılımda yer alan uniform bir olasılık dağılımı ile ifade edilmiş ve küçük depremler için üstel dağılım modeli ile birleştirilmiştir (Yüçemen, 2011).

#### 1.4.2.6. Yer Hareketi Tahmin Denklemi (Azalım İlişkisi)

Zemin hareketi parametrelerinin, depremin odak noktasından veya sismik kaynağın belirlenen bir noktasından uzaklaştıkça nasıl değişeceğini belirleyen yer hareketi tahmin denklemleri (azalım modelleri), OSTA'nın önemli bileşenlerinden biridir. Yer hareketi tahmin denklemleri göz önüne alınan bölgenin sismolojik özelliklerini en iyi şekilde temsil etmeli ve gelecekte oluşabilecek depremler sonucu meydana gelecek sismik tehlikeyi doğru bir şekilde yansıtmalıdır. Bu nedenle hesaplamalarda kullanılan yer hareketi denklemlerinin inceleme yapılan bölgeye uygulanabilir olması gerekmektedir.

Yer hareketi tahmin denklemi bir depremin; odak noktası, merkez üssü ya da sismik kaynak üzerindeki herhangi bir noktadan ölçülen uzaklığındaki inşaat sahasında neden olacağı en büyük zemin hareketi parametresini veren fonksiyondur. Bu fonksiyon Denklem 1.13'deki gibi ifade edilmektedir (Araya ve Der Kiureghian, 1988).

$$Y = N_y f(M, R, SP_i) \quad (1.13)$$

Burada, R depremin inşaat sahasına olan uzaklığını; M depremin büyüklüğünü; SP<sub>i</sub> deprem kaynağı, dalga yayılma hattı, yerel zemin koşulları ile ilgili parametreleri, Y tahmin edilecek yer hareketi parametresini ifade etmektedir. N<sub>y</sub> ise yer hareketi tahmininde en küçük kareler yönteminin gözlemlenen verilere uygulanması ile elde edilen eğrinin etrafındaki saçılımların neden olduğu belirsizliğin analizlere yansıtılmasını sağlayan rassal düzeltme katsayısıdır.

#### 1.4.2.7. Belirsizliklerin Analizi

OSTA'da temel olarak iki tür belirsizlik vardır; rassal belirsizlikler ve bilgiye/veri eksiliğine dayalı belirsizlikler. Bilgiye dayalı belirsizliklere sismik kaynakların coğrafi konumundaki ve sismisite parametrelerinin dağılımlarındaki istatistiksel parametrelerdeki belirsizlikleri örnek olarak vermek mümkündür. Bu belirsizlikler daha fazla bilgi ve verinin elde edilmesi ile azaltılabilmektedir. Ancak rassal belirsizlikler, gelecekte olacak bir depremin yeri, zamanı, büyüklüğü, fay kırılmasının yönü gibi olayın doğasında var olan

rassallıktan ve değişkenlikten kaynaklanmaktadır. Bu nedenle rassal belirsizliklerin daha fazla veri edilerek azaltılması mümkün olmamaktadır.

#### 1.4.2.7.1. Yer Hareketi Tahmin Denklemindeki (Azalım İlişisindeki) Belirsizlikler

Yer hareketi tahmin denklemlerinin hesaplanmasında en küçük kareler yönteminin gözlemlenen verilere uygulanması ile elde edilen azalım eğrisinin etrafında saçılımlar meydana gelmektedir. Bu saçılımın oluşmasına birkaç farklı neden oluşabilmektedir.

Yer hareketi tahmin denklemlerinin tek bir bölgeden elde edilen veriler ile hesaplanması uygun olmayacağından, jeolojik yapının ve zemin koşullarının farklı olduğu birkaç bölgeden elde edilen veriler bir arada kullanılmaktadır. Ancak farklı bölgelerin zemin şartları için herhangi bir düzeltme yapılmadığından, belirli bir bölge ve belirli bir deprem için belirlenen yer hareketi tahmin denklemi, bu şekilde bulunan azalım ilişkisinden farklılık göstermektedir. Diğer bir neden ise elde edilen verilerin de rassal özellik taşımasıdır. Yani depremler aynı bölgede meydana gelse bile oluşum mekanizmalarındaki farklılar, sismik kaynak ile inşaat alanı arasındaki jeolojik katmanların deprem dalgalarını yayma özelliklerindeki değişiklikler ve depremlerin inşaat sahasına olan rassal konumları farklı azalım özelliklerine neden olmaktadır.

Azalım eğrisi etrafındaki bu saçılım nedeni ile Denklem 1.8’de elde edilecek  $Y$  değeri ile inşaat sahasındaki en büyük zemin hareketi parametresinin gerçek değeri arasında fark meydana gelecektir. Saçılımın neden olduğu belirsizliğin etkisini hesaba katmak için rassal düzeltme katsayısı  $N_y$ ’nin Denklem 1.14’deki gibi ifade edilmesi önerilmektedir (Yücemen, 2011).

$$Y_g = N_y Y \quad (1.14)$$

Burada,  $Y_g$  inşaat sahasındaki en büyük zemin hareketi parametresinin gerçek değerini simgeleyen rassal değişkeni;  $Y$  verilen bir  $m$  ve  $r$  değeri için inşaat sahasındaki en büyük zemin hareketi parametresinin deterministik azalım ilişkisi ile elde edilen değerini;  $N_y$  azalım ilişkisindeki saçılım için rassal düzeltme katsayısını ifade etmektedir.



#### 1.4.2.7.2. Sismik Kaynakların Coğrafi Konumundaki Belirsizlikler

Sismik tehlike analizinde, sismik kaynak bölgelerinin mevcut konumlarının içerdiği belirsizlik nedeniyle, bölge sınırlarının konumunun deterministik sınırlar yerine rassal olduğu kabulü yapılmaktadır. Bölge sınırlarının konumundaki bu rassallık Gauss dağılımı ile modellenmektedir. En olası konumdan  $\delta_x$  ve  $\delta_x$  kadar sapma olma olasılığı Denklem 1.15 ile ifade edilmektedir (Bender, 1986).

$$f(\delta_x, \delta_y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{\delta_x^2 + \delta_y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1.15)$$

Burada ortalama vektor en muhtemel konumu,  $\sigma$  standard sapma konumdaki belirsizliği x ve y birbirine dik iki ekseni ifade etmektedir. Bu iki eksen boyunca konumdaki belirsizliğin eşit olduğu varsayılmaktadır. Eğer belirsizlik birbirine dik iki ekseninde farklılık gösteriyorsa ise Denklem 1.16'deki gibi değişecektir (Yüçemen ve Gülkan, 1994).

$$f(\delta_x, \delta_y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\left(\frac{\delta_x^2}{2\sigma_x^2} + \frac{\delta_y^2}{2\sigma_y^2}\right)\right] \quad (1.16)$$

Burada  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  ile ifade edilen bir sismik kaynak bölgesinde oluşan depremin konumundaki belirsizlik, depremi içine alan bölgenin içerisinde aynı değerlere sahip bir belirsizliğe eşit olmaktadır (Yüçemen ve Gülkan, 1994).

#### 1.4.2.7.3. Sismik Parametre Belirsizlikleri

Sismik tehlike analizi, sismik kaynakların coğrafi konumundaki ve yer hareketi tahmin denklemindeki belirsizlikler ile depremlerin zaman, magnitüd ve konum açısından rassallığını içermektedir. Fakat elde edilen sismik tehlike,  $\Pr(Y_g > y)$ , olasılık dağılımlarında da kullanılan  $v$ ,  $\beta$  ve  $m_1$  sismik parametreleri için geçerli olmaktadır. İnceleme yapılan bölge için elde edilen sismik verilerin eksikliğinden kaynaklı olarak bu parametreler de kesin değerlere sahip olmayıp belirsizlik içermektedir. Yani sismik tehlike analizi için  $\Pr(Y_g > y/v)$ ,

$\beta, m_1$ ) şeklinde koşullu olasılık yazılmalıdır. Değerleri kesin olmayan bu parametrelerdeki belirsizliklerin sismik tehlike hesabına doğrudan katılması, hesaplanan yıllık tehlikenin bu parametrelerin dağılımlarına göre ortalamasının bulunmasını sağlayan ve toplam olasılık kuramına dayanan Denklem 1.17 ile gerçekleştirilmektedir (Yüçemen, 1982).

$$\Pr(Y_g > y) = \iiint \Pr(Y_g > y / v, \beta, m_1) f_v(v) f_\beta(\beta) f_{m_1}(m_1) dv d\beta dm_1 \quad (1.17)$$

Burada  $f_v(v)$ ,  $f_\beta(\beta)$ ,  $f_{m_1}(m_1)$ ;  $v$ ,  $\beta$  ve  $m_1$  sismik parametrelerin olasılık yoğunluk işlevlerini ifade etmektedir. Denklem 1.12’de  $v$ ,  $\beta$  ve  $m_1$  rassal değişkenlerinin birbirinden istatistiksel olarak bağımsız oldukları kabulü yapılmaktadır. Ancak gerçekte, bu parametreler arasında aynı veri tabanına dayandıkları için ilişki bulunacaktır ve birleşik yoğunluk işlevi  $f(v, \beta, m_1)$ ’nin bilinmesi durumunda Denklem 1.18 geçerli olmaktadır.

$$\Pr(Y_g > y) = \iiint \Pr(Y_g > y / v, \beta, m_1) f(v, \beta, m_1) dv d\beta dm_1 \quad (1.18)$$

Yukarıdaki kuramsal model ile sismik parametrelerin içerdiği belirsizlikler sismik tehlike analizine doğrudan yansıtılırken sismik kaynakların coğrafi konumundaki ve yer hareketi tahmin denklemindeki belirsizlikler ile depremlerin zaman, magnitüd ve konum açısından rassallığını yansıtmaya imkânı yoktur. Bu nedenle hem sismik parametrelerdeki belirsizlikleri hem de diğer varsayımları sismik tehlike analizine yansıtılabilmek için “mantık ağacı” olarak tanımlanan yöntemin kullanılması önerilmektedir (Yüçemen, 1982).

Mantık ağacı yönteminde ilk olarak azalım ilişkisine, sismik parametrelerinin değerlerine, sismik kaynakların mevcut konumuna ve deprem veri tabındaki her varsayıma, o varsayımın diğerlerine göre doğru olma olasılığını ifade eden öznel olasılık değerleri verilmektedir.  $v$ ,  $\beta$ ,  $m_1$  değerleri, azalım ilişkisi ve sismik kaynaklara ilişkin konum varsayımından oluşan varsayım grupları oluşturulmakta ve her bir varsayım grubu için o grubu oluşturan varsayımların öznel olasılıkları çarpılarak birleşik olasılık değeri bulunmaktadır. Varsayım grupları için hesaplanan birleşik olasılıkların toplamının bire eşit olması ve en iyi tahminlerden oluşan varsayım grubunun birleşik olasılık değerinin de diğerlerinden daha büyük olması gerekmektedir. Her bir varsayım için sismik tehlike analizi yapılarak bulunan aşılma olasılığı, o varsayım grubu için hesaplanan birleşik olasılık değeri ile çarpılmaktadır. Böylece birleşik olasılık değerleri ile çarpılan aşılma olasılıklarının

toplamı ile sismik tehlike değeri elde edilecektir. Mantık ağacı yöntemi ile hesaplanan sismik tehlikeye Bayes tahmini denilmekte ve Denklem 1.19'de matematiksel olarak ifade edilmektedir.

$$\Pr(Y_g > y) = \sum_{j=1}^n \Pr(Y_g > y / G_j) w_j \quad (1.19)$$

Burada  $G_j$ ,  $j$  sayılı varsayım grubunu;  $w_j = \Pr(G_j)$ ,  $j$  sayılı varsayım grubunun diğerlerine göre doğru olma olasılığını yansıtan birleşik öznel olasılığı,  $n$  dikkate alınan varsayım takımlarının sayısını ifade etmektedir.

## **1.5. Deprem Yer Hareketinin Tanımlanması**

### **1.5.1. Deprem Kayıtlarının Elde Edilmesi**

TBDY-2018'de, zaman tanım alanında kullanılacak olan deprem yer hareketinin tanımlanması için deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi ile ilgili gerekli kurallar verilmiştir. Zaman tanım alanında analizlerde kullanılacak olan bu deprem kayıtlarını, tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde üç farklı yöntemle elde etmek mümkündür; yapay kayıtlar, benzeştirilmiş kayıtlar ve gerçek deprem kayıtları.

#### **1.5.1.1. Yapay Olarak Üretilmiş Deprem Kayıtları**

Geniş periyot aralıklarında, hedef spektrum ile uyumlu yapay ivme kayıtları elde etmek mümkündür. Yapay ivme kayıtlarının üretilmesinde güç spektral fonksiyonu, rasgele faz açısı üreticisi ve zarf fonksiyonu olmak üzere üç ana etkenden bahsedilebilir. Sadeleştirilmiş tepki spektrumundan güç spektral yoğunluk fonksiyonu elde edilir. Bu fonksiyon rasgele faz açıları ile birleştirilerek sinüzoidal sinyaller oluşturulur ve yapay kayıt elde edilmiş olur. Bu işlem sırasında iteratif bir yöntem kullanılarak yapay kayıt tepki spektrumu ile hedef tasarım spektrumu arasında bir ölçekleme katsayısı elde edilir ve güç spektral yoğunluk fonksiyonu bu ölçeklendirme katsayısının karesi ile düzeltilir. Yapay kayıt

tepki spektrumu ile hedef tasarım spektrumu arasındaki eşleşmenin doğruluk derecesi, yapay kayıt üretilirken yapılan iterasyon sayısı ile ilişkilidir (Malcıoğlu, 2011).

Yapay olarak üretilmiş deprem kayıtlarının kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri mevcuttur. Yönetmeliklerde verilen tasarım spektrumları ile uyumlu olmayan deprem kayıtlarının kullanılması, yapıların deprem altındaki davranışlarının doğru bir şekilde incelenmesinde problemler oluşturmaktadır. Bu durumda, yönetmeliklerdeki tasarım spektrumu ile uyumlu yapay deprem kayıtlarının kullanılması doğru bir değerlendirme yapılabilmesi için fayda sağlayacaktır. Ayrıca geçmiş depremlerde, kayıt alınamamış yörelerdeki yapılar için zaman tanım alanında dinamik analizlerin yapılmasına imkân sağlamaktadır. Diğer bir yandan yapay deprem kayıtlarının üretilmesi sırasında kullanılan iterasyon sayısının artması gerçeğe uygun olmayacak büyüklükte enerjinin açığa çıkmasına neden olmaktadır. Bu durum yapay kayıtların kullanılmasında deprem mühendisliği açısından problemler oluşturmaktadır. Ayrıca, yönetmeliklerde belirtilen tasarım spektrumları birçok sismik kaynağın istatistiksel analizleri sonucu elde edilmektedir ve her bir periyoda karşılık gelen spektral ivme değerleri farklı kaynaklardan elde edilmiş olabilir. Bu nedenle yapay kayıtların kullanımadaki en büyük zorluk çok fazla sayıda yer hareketini simgeleyen tasarım spektrumuna uygun tek bir davranış spektrumu elde etmeye çalışmaktır. Yapay deprem kaydı üretimindeki bu hususlar dikkate alınmadığı takdirde, gerçeğe aykırı kayıtların elde edilebileceği ve doğru incelemelerin yapılamayacağı belirtilmelidir (Özdemir ve Fahjan, 2007).

### **1.5.1.2. Benzeştirilmiş Deprem Kayıtları**

Benzeştirilmiş deprem kayıtları, deprem dalgaları yayılım ortamını ve zemin özelliklerini göz önüne alan sismolojik kaynak modellerinden oluşturulmaktadır. Bu deprem türlerinin üretilmesinde dinamik modeller ve kinematik modeller olmak üzere temel olarak iki modelden bahsetmek mümkündür.

Dinamik modeller ile üretilen benzeştirilmiş deprem kayıtlarında, deprem süresince meydana gelen kuvvetler temel alınmaktadır. Yani deprem süresince faylanmayı sağlayan tektonik hareketler ile fay yüzeyinin pürüzlülüğünün neden olduğu kırılmaya karşı koyan kuvvetleri ve sürtünmeyi içeren kırılma dinamiğidir. Kinematik modellerin esası ise kırılmanın, zamanın ve konumunun bir fonksiyonu olarak fayın yer değiştirmesinin

incelenmesine dayanmaktadır. Bu modelde kayma fonksiyonu, fayın yer değiştirmesi olarak adlandırılmaktadır (Cimellaro, 2007).

Yayımlı ortamı, kaynak ve zemin özellikleri benzeştiriliş deprem kayıtları üretilirken, göz önüne alınacak olan alandaki senaryo depremi mesafe ve büyüklüğe tabi olarak tanımlanmalıdır. Bu nedenle benzeştirilmiş deprem kayıtları üretilirken uygun yayılım ortamı, kaynak ve zemin özelliklerinin tanımlanması bu yöntemin uygulanması aşamasındaki en önemli zorluk olarak gösterilmektedir (Fahjan, 2008).

### **1.5.1.3. Gerçek Deprem Kayıtları**

Deprem hareketi hakkındaki en net bilgi, deprem süresi boyunca hareketin ölçülmesi ile elde edilen gerçek kayıtlardan elde edilir. Gerçek deprem kayıtları, depremin genliği, faz özellikleri, süresi ve frekans özellikleri hakkında gerçekçi bilgiler içerir. Ayrıca gerçek kayıtlar; depremin yayılım ortamı, kaynağı, zemin şartları ve depremin oluştuğu sahanın sismolojik özelliklerini de yansıtır. Gerçek deprem kayıtlarının tüm bu özellikleri ve gün geçtikçe gelişen teknoloji ile artan gerçek deprem kayıt sayısı göz önüne alındığında bu kayıt türünün yapay olarak üretilmiş ve benzeştirilmiş kayıtlara göre üstünlüğü kabul edilmektedir (Özdemir ve Fahjan, 2007).

### **1.5.2. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi**

TBDY-2018'e göre deprem kaydı seçilirken yapının bulunduğu bölgenin deprem yer hareketi düzeyi dikkate alınmalıdır. Deprem büyüklüğü, fay uzaklığı ve yerel zemin koşullarına göre seçilen kayıtların deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu olması gerekmektedir. Yapının bulunduğu bölgenin deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş gerçek deprem kayıtlarının bulunması durumunda öncelikli olarak bu kayıtların kullanılması gerekmektedir.

Aynı depremden seçilecek kayıt veya kayıt takımı sayısı üçü geçmeyecek şekilde, bir veya iki boyutlu hesapta kullanılacak olan deprem kayıtlarının ve üç boyutlu hesapta kullanılacak olan deprem kaydı takımlarının sayısı en az onbir olmalıdır.

Bölgeye ait yeterli sayıda kayıt bulunamaması durumunda ise benzeştirilmiş deprem kayıtları kullanılabilir. Ancak benzeştirilmiş kayıtlar oluşturulurken kullanılan parametrelerin bölgenin sismolojik özellikleri ile uyumlu olması gerekmektedir.

### **1.5.3. Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi**

Zaman tanım alanında yapılacak olan doğrusal ve doğrusal olmayan analizler için seçilen kayıtlar, deprem yönetmeliğimizde belirtilen tasarım spektrumları ile uyumlu olmalıdır. Deprem büyüklüğü, süresi, faylanma mekanizması, en büyük yer ivmesi, yerel zemin koşulları ve deprem kaydının spektral içeriğine göre seçilen bu kayıtlar, yönetmelikte belirtilen kurallar dahilinde basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirme veya spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülme ile tasarım spektrumlarına uyumlu hale getirilir.

#### **1.5.3.1. Deprem Kayıtlarının Basit Ölçeklendirme Yöntemi ile Ölçeklendirilmesi**

Zaman tanım alanında yapılacak olan analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarını ölçeklendirme yöntemlerinden biri olan basit ölçekleme yöntemi, kullanılacak olan kayıtların frekans içeriğini değiştirmez. Bu yöntem ile, ölçeklenecek kayıtların genliği 1'den büyük veya 1'den küçük sabit bir ölçekleme katsayısı ile çarpılarak yönetmelik kurallarına göre elde edilmiş olan hedef tasarım ivme spektrumu ile en uygun eşleşmeyi sağlayacak şekilde aşağı veya yukarı yönde ötelenmektedir.

Bu yöntemin uygulanması sırasında dikkat edilmesi gereken kurallar TBDY-2018'de verilmektedir. Yönetmeliğe göre bir ve iki boyutlu hesaplarda seçilen tüm kayıtlara ait spektrumların ortalamasının  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin tasarım spektrumundaki aynı periyot aralığındaki genliklerden küçük olmaması gerekmektedir. Üç boyutlu hesaplarda ise seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilmekte ve seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten daha küçük olmaması gerekmektedir.

Basit ölçekleme yöntemi ile ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydına ait tepki spektrumu ile hedef tasarım ivme spektrumu arasındaki genlik farkı en küçük kareler yöntemi ile belli

bir periyot aralığında ( $T_1:T_2$ ) minimize edilmektedir. Bu fark aşağıdaki Denklem 1.20 ile ifade edilebilmektedir (Fahjan, 2008).

$$|\text{Fark}| = \int_{T_1}^{T_2} \left[ \alpha_{ST} S_a^{\text{gerçek}}(T) - S_a^{\text{hedef}}(T) \right]^2 dT \quad (1.20)$$

Burada;  $\alpha_{ST}$ : doğrusal ölçekleme katsayısını,  $S_a^{\text{gerçek}}(T)$ : gerçek deprem kaydının ivme spektrumunu,  $S_a^{\text{hedef}}(T)$ : hedef tasarım ivme spektrumunu,  $T_1$ : ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının başlangıç değerini,  $T_2$ : ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının bitiş değerini,  $T$ : salınım periyodunu ifade etmektedir.

Ölçekleme işlemi uygulanmış deprem kaydına ait ivme spektrumu ile hedef tasarım ivme spektrumu arasındaki genlik farklarının toplamalarının minimum olması için Denklem 1.20’de belirtilen fonksiyonun doğrusal ölçekleme katsayısına göre türevi sıfır olmalıdır.

$$|\text{Fark}|_{\min} = \frac{d|\text{Fark}|}{d\alpha} = 0 \quad (1.21)$$

Denklem 1.20’nin  $d\alpha$ ’ya göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse deprem ivme kaydının ölçeklenmesi için kullanılacak olan doğrusal ölçekleme katsayısı, ölçekleme aralığı boyunca toplam fonksiyonu cinsinden Denklem 1.22’deki gibi elde edilmektedir.

$$\alpha_{ST} = \frac{\sum_{T_1}^{T_2} (S_a^{\text{gerçek}}(T) \times S_a^{\text{hedef}})}{\sum_{T_1}^{T_2} (S_a^{\text{gerçek}}(T))^2} \quad (1.22)$$

### 1.5.3.2. Deprem Kayıtlarının Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürülmesi

Spektral uyuşum sağlanacak şekilde ölçeklendirme yönteminin esası, ölçeklendirilecek gerçek deprem kaydının hedef tasarım spektrumu ile aynı sönüm oranına sahip davranış spektrumunun hedef tasarım spektrumu ile oranının frekans ortamında

filtrelenmesine dayanmaktadır. Bu yöntem ile elde edilen ölçeklenmiş kayıtlar, hedef tasarım spektrumu ile oldukça iyi eşleşmektedir. Ancak deprem kaydının frekans içeriği değiştiği için kaydın doğal sismik özellikleri de değişmektedir.

Bu yöntemin uygulanmasında öncelikli olarak deprem kaydının hedef tasarım spektrumu ile aynı sönüm oranına sahip davranış spektrumunu elde edilmektedir. Daha sonra ölçeklenmenin yapılacağı periyot aralığında, hedef tasarım spektrumunun deprem kaydına ait davranış spektrumuna oranı Denklem 1.23 ile hesaplanmaktadır (Özdemir ve Fahjan, 2007).

$$SPR(T) = \frac{S_a^{hedef}(T)}{S_a^{gerçek}(T)} \quad T_1 < T < T_2 \quad (1.23)$$

Zamana bağlı olarak elde edilen  $SPR(T)$  fonksiyonu, açısal frekans cinsinden Denklem 1.24 ile ifade edilir. Deprem kaydına ait Fourier spektrum genliği  $F^{gerçek}(\omega)$  ve Fourier spektrum fazı  $\theta(\omega)$  hesaplanarak  $F^{gerçek}(\omega)$  ve  $FILT(\omega)$  çarpımı ile Filtrelenmiş Fourier spektrum genliği elde edilmektedir.

$$FILT(\omega) = SPR(\omega) \quad \omega_{min} < \omega < \omega_{max} \quad (1.24)$$

$$F^{filtrelenmiş}(\omega) = FILT(\omega) \times F^{gerçek}(\omega) \quad (1.25)$$

Denklem 1.25 ile elde edilen Filtrelenmiş Fourier spektrum genliği ve orijinal kaydın Fourier spektrum fazından ters Fourier algoritması kullanılarak yeni bir deprem kaydı elde edilir. Elde edilen bu yeni kaydın davranış spektrumu ile hedef tasarım spektrumu arasında istenen eşleşme sağlanana kadar yapılan işlemler tekrarlanmalıdır.

## 1.6. Newmark Yöntemine Göre Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz

Bir yapının, doğrusal dinamik davranışını temsil eden hareket denge denklemi Denklem 1.29'daki gibi verilmektedir.

$$m\ddot{U} + c\dot{U} + kU = R \quad (1.29)$$



Burada,  $U$ ,  $\dot{U}$  ve  $\ddot{U}$  sırasıyla sistemin rölatif yer değiştirme, hız ve ivme vektörlerini,  $m$  ve  $c$  doğrusal sistemin kütle ve sönüm matrisini,  $k$  rijitlik matrisini,  $R$  ise zamanla değişen ve sisteme etkiyen yük vektörünü ifade etmektedir.

Yapıya ait bu hareket denge denkleminin çözümünde farklı sayısal yöntemler kullanılabilir. Pratik ve kolay olduğu gerekçesiyle direkt integrasyon yöntemleri ile çözümler gerçekleştirilmektedir. Direkt integrasyon yönteminde, işlemler adım adım yürütülmekte ve dinamik hareket denklemleri farklı bir forma dönüştürülmemektedir. Direkt integrasyon yöntemi farklı iki durum göz anına alınarak gerçekleştirilmektedir. İlk durumda, herhangi bir  $t$  anı yerine ayrı ayrı  $\Delta t$  zaman aralıkları için dinamik denge denkleminin sağlanması amaçlanmaktadır. İkinci durumda ise her  $\Delta t$  zaman aralığı için yer değiştirme, hız ve ivme değerleri değişiklik göstermektedir (Bathe, 1996).

Dinamik hareket denkleminin çözümünde,  $t=0$  ve  $t=T$  zaman aralığı göz önüne alındığında çözüm zamanı  $T$ , eşit aralıklara ( $\Delta t$ ) bölünmektedir. Burada  $t=0$  anındaki  $U_0$ ,  $\dot{U}_0$  ve  $\ddot{U}_0$  ile verilen başlangıç yer değiştirme, hız ve ivme değerleri bilindiği için  $t+\Delta t$  anındaki çözüm hesaplanabilmektedir. Yani, başlangıç şartlarından hareketle  $\Delta t$  zaman sonraki değerler elde edilebilmekte ve işlem çözüm aralığı ( $T$ ) boyunca sürdürülmektedir.

1959 yılında N.M. Newmark tarafından geliştirilen aşağıdaki formüllerle dinamik hareket denklemi adım adım çözülebilmektedir. Hız ve yer değiştirmeler  $t$  ile  $t+\Delta t$  zaman arasında Denklem 1.30 ve Denklem 1.31 ile ifade edilmektedir (Bathe, 1996; Chopra, 2006).

$$\dot{U}_{t+\Delta t} = \dot{U}_t + [(1-\gamma)\ddot{U}_t + \gamma\ddot{U}_{t+\Delta t}] \Delta t \quad (1.30)$$

$$U_{t+\Delta t} = U_t + \dot{U}_t(\Delta t) + [(0.5-\beta)\ddot{U}_t + \beta\ddot{U}_{t+\Delta t}] (\Delta t)^2 \quad (1.31)$$

Burada,  $U_t$ ,  $\dot{U}_t$  ve  $\ddot{U}_t$  sırasıyla  $t=0$  anındaki yer değiştirme, hız ve ivme vektörlerini,  $U_{t+\Delta t}$ ,  $\dot{U}_{t+\Delta t}$  ve  $\ddot{U}_{t+\Delta t}$  ise  $t=t+\Delta t$  anındaki yer değiştirme, hız ve ivme vektörlerini ifade etmektedir. Bu denklemlerdeki  $\beta$  ve  $\gamma$  parametreleri,  $\Delta t$  zaman aralığındaki ivmenin değişimini tanımlamaktadır.  $\gamma=1/2$  ve  $1/6 \leq \beta \leq 1/6$  seçilmesi Newmark yönteminin doğruluğu için yeterli olmakta ve  $\beta=1/4$  seçilmesiyle ortalama ivme metodu,  $\beta=1/6$  seçilmesi ile de lineer ivme metodu uygulanmaktadır (Chopra, 2006).

Denklem 1.29'da verilen hareket denge denklemi,  $t$  ve  $t+\Delta t$  anı için yazıldığında,

$$m\ddot{U}_t + c\dot{U}_t + kU_t = R_t \quad (1.32)$$

$$m\ddot{U}_{t+1} + c\dot{U}_{t+1} + kU_{t+1} = R_{t+1} \quad (1.33)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Denklem 1.33'den Denklem 1.32 çıkartılırsa,

$$m\Delta\ddot{U}_t + c\Delta\dot{U}_t + k\Delta U_t = \Delta R_t \quad (1.34)$$

elde edilmektedir. Burada  $\Delta$  değişim operatörünü ifade etmektedir ve

$$\left. \begin{aligned} \Delta\ddot{U}_t &= \Delta\ddot{U}_{t+1} - \ddot{U}_t \\ \Delta\dot{U}_t &= \Delta\dot{U}_{t+1} - \dot{U}_t \\ \Delta U_t &= \Delta U_{t+1} - U_t \end{aligned} \right\} \quad (1.35)$$

şeklinde gösterilmektedir. Denklem 1.32 ve Denklem 1.33 artımsal olarak ifade edilir ve Denklem 1.37'den  $\Delta\ddot{U}_t$  çekilirse Denklem 1.38 elde edilmektedir.

$$\Delta\dot{U}_t = (\Delta t)\ddot{U}_t + \gamma(\Delta t)\Delta\ddot{U}_t \quad (1.36)$$

$$\Delta U_t = (\Delta t)U_t + \frac{(\Delta t)^2}{2}\ddot{U}_t + \beta(\Delta t)^2\Delta\ddot{U}_t \quad (1.37)$$

$$\Delta\ddot{U}_t = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2}\Delta U_t - \frac{1}{\beta(\Delta t)}\Delta\dot{U}_t - \frac{1}{2\beta}\Delta\ddot{U}_t \quad (1.38)$$

Denklem 1.38, Denklem 1.36'da yerine yazılırsa,

$$\Delta\dot{U}_t = \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)}\Delta U_t - \frac{\gamma}{\beta}\dot{U}_t + \Delta t\left(1 - \frac{\gamma}{2\beta}\right)\ddot{U}_t \quad (1.39)$$

elde edilmektedir. Denklem 1.39 ve Denklem 1.38, artımsal hareket denklemi Denklem 1.34'de yerine yazılır ve düzenlenirse Denklem 1.40 elde edilmektedir. Bu ifade kısaca Denklem 1.41'deki gibi gösterilebilmektedir.

$$\left. \begin{aligned} \left( k + \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} c + \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} m \right) \Delta U_t &= \Delta R_t + \left( \frac{1}{\beta(\Delta t)} m + \frac{\gamma}{\beta} c \right) \dot{U}_t \\ &+ \left[ \frac{1}{2\beta} m + \Delta t \left( \frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) c \right] \ddot{U}_t \end{aligned} \right\} \quad (1.40)$$

$$\hat{k}_t \Delta U_t = \Delta \hat{R}_t \quad (1.41)$$

Burada,

$$\hat{k}_t = k_L + \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} c + \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} m \quad (1.42)$$

$$\Delta \hat{R}_t = \Delta R_t + \left( \frac{1}{\beta(\Delta t)} m + \frac{\gamma}{\beta} c \right) \dot{U}_t + \left[ \frac{1}{2\beta} m + \Delta t \left( \frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) c \right] \ddot{U}_t \quad (1.43)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir.

Dinamik denge denkleminin adım adım çözümünde öncelikle  $\Delta U_t$  (Denklem 1.40) denklemi hesaplanmaktadır. Daha sonra, Denklem 1.39 ve Denklem 1.38 ile  $\Delta \dot{U}_t$  ve  $\Delta \ddot{U}_t$  değerleri elde edilmektedir. Bir sonraki değerler Denklem 1.44 ile hesaplanmakta olup işlemler çözüm aralığı boyunca devam ettirilmektedir.

$$\left. \begin{aligned} U_{t+1} &= U_t + \Delta U_t \\ \dot{U}_{t+1} &= \dot{U}_t + \Delta \dot{U}_t \\ \ddot{U}_{t+1} &= \ddot{U}_t + \Delta \ddot{U}_t \end{aligned} \right\} \quad (1.44)$$

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

### 2.1. Giriş

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar başlıca üç farklı bölümden oluşmaktadır. İlk olarak doğrusal dinamik analizleri yapılacak olan tarihi yığma Çorum Saat Kulesi'ni merkez alan çalışma alanı için sismik tehlike analizi yapılmıştır. Belirlenen çalışma alanı için tarihsel ve aletsel dönemlerde meydana gelen deprem verileri toplanarak deprem kataloğu oluşturulmuştur. Oluşturulan katalogdan, zaman ve uzaklık pencereleri kullanılarak ikincil depremler elenmiştir. Büyüklüklerine göre sınıflandırılmış depremlerin eksiksiz olarak kayda geçtiği zaman dilimleri belirlenerek katalogdaki eksiklikler giderilmiş ve homojen bir deprem kataloğu elde edilmiştir. Çalışma alanını etkileyebilecek aktif sismik kaynaklar ve özellikleri belirlenerek homojen deprem kataloğundaki depremler ile ilişkilendirilmiştir. Sahaya uygun yer hareketi tahmin denklemleri seçilerek EZ-FRISK programı yardımıyla sismik tehlike analizi gerçekleştirilmiş ve sahaya özel deprem spektrumu elde edilmiştir. Elde edilen deprem spektrumları, aynı koşullar için TBDY- 2018 ile elde edilen tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci aşamasında, ilk aşamada oluşturulan homojen deprem kataloğundan seçilen on üç adet deprem kaydına, TBDY-2018'de belirtilen basit ölçeklendirme ve spektral uyuşum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemleri uygulanmıştır. Basit ölçeklendirme yönteminin uygulanmasında MATLAB (2016) programı kullanılmıştır. Her bir deprem kaydına ait ortalama tepki spektrumları, hedef tasarım spektrumuna göre ölçeklenmiş ve ölçekleme katsayıları hesaplanmıştır. Her bir kaydın yatay doğrultudaki bileşenleri ilgili ölçekleme katsayısı ile çarpılarak ölçeklenmiş ivme kayıtları elde edilmiştir. Spektral uyuşum sağlanacak şekilde dönüştürme yönteminin uygulanmasında ise SiesmoMatch (2018) programı kullanılmıştır. Her bir deprem kaydının yatay bileşenlerine ait tepki spektrumları, hedef tasarım spektrumuyla ilişkilendirilerek ölçeklenmiş ivme kayıtları elde edilmiştir. Ölçeklendirme yöntemleri sonucu elde edilen verilerin doğruluğu, TBDY-2018'de verilen ilgili kurallara göre irdelenmiştir.

Tezin son aşamasında, her bir deprem kaydına ait ölçeklenmiş ivme kayıtlarının yatay bileşenleri önce 1. Mod doğrultusunda olacak şekilde yatayda tek doğrultuda, daha sonra yatayda iki doğrultuda uygulanarak Çorum Saat Kulesi'nin doğrusal dinamik

analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen yer değiştirme, asal gerilme ve şekil değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır.

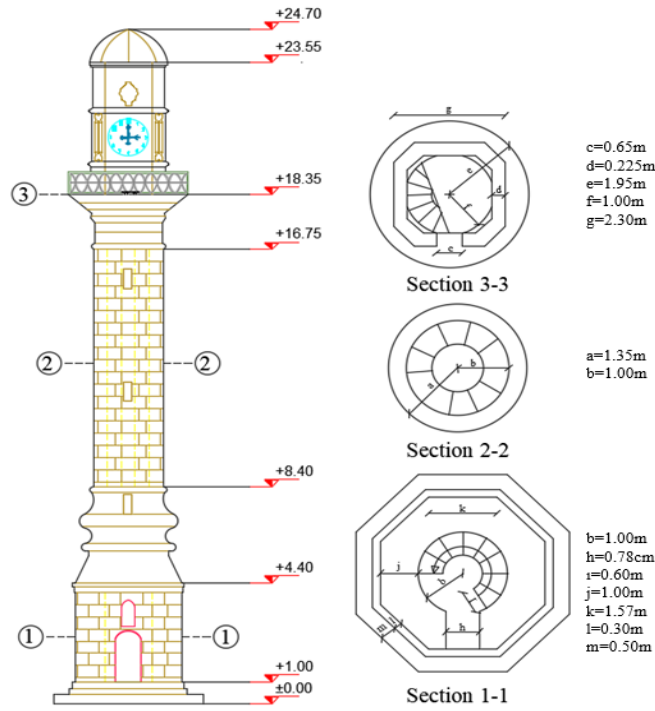
## 2.2. Saat Kulesinin Tanıtımı ve Sayısal Modeli

Bu tez çalışmasında, Çorum ilinde bulunan ve 1894 yılında yaptırılmış tarihi saat kulesi örnek olarak seçilmiştir. Şehrin merkezinde yer alan kule, sarı kumtaşları kullanılarak minare stilinde inşa edilmiştir. Saat kulesinin genel görünüşü Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Saat kulesinin genel görünüşü

Saat kulesi; kaide, silindirik gövde, üst gövde, merdiven, kubbe ve ahşap kat kısımlarından oluşmaktadır. Kulenin toplam yüksekliği 24.70m’dir. Sekizgen geometriye sahip kaidenin yüksekliği 4.40m ve çapı ise 4.10m’dir. Silindirik gövdenin yüksekliği 9.95m olup, çapı 2.70m’dir. Saat kısmının bulunduğu dikdörtgen geometriye sahip üst gövdenin yüksekliği ise 5.20m’dir. Duvar kalınlığı zeminden minber noktasına kadar 1m, minber noktasından silindirik gövdenin en üstüne kadar 0.35m’dir. Binanın iç duvarına desteklenen merdivenlerin basamak yüksekliği 0.22m ve basamak genişliğine 0.15m’dir. Her bir basamak, sırasıyla 0.4m ve 1.0m iç ve dış yarıçapa sahiptir. Saat kulesinin detaylı geometrik özellikleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

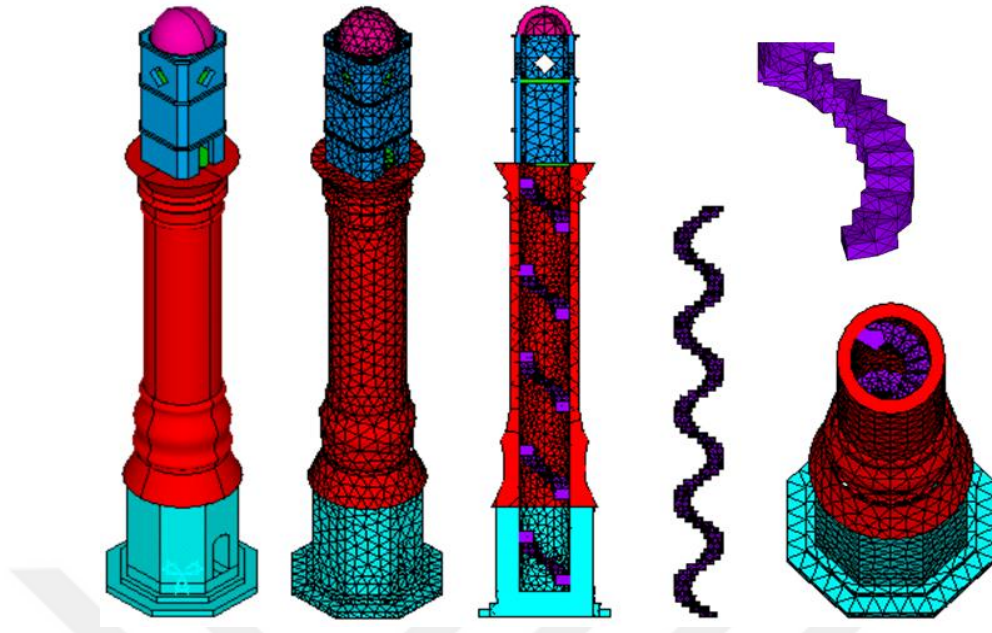


Şekil 2.2. Saat kulesinin geometrik özellikleri

Saat kulesinin sonlu elemanlar modeli, üç boyutlu SOLID186 elemanı kullanılarak ANSYS (2016) yazılımı ile oluşturulmuştur. Makro modelleme tekniği kullanılarak oluşturulan sonlu elemanlar modeli kaide, merdiven, silindirik gövde, üst gövde, kubbe ve ahşap kat olmak üzere altı bölümden oluşmaktadır. Genç vd. (2019), yaptıkları çalışmada hasarsız deneysel ölçümlere dayalı sonlu eleman model iyileştirmesini yaparak bu bölümler için farklı malzeme özellikleri tanımlamışlardır (Tablo 2.1). Alt yüzeyinde ankastre mesnet şartı göz önünde bulundurulmuş saat kulesinin sonlu eleman modeli Şekil 2.3’de verilmiştir.

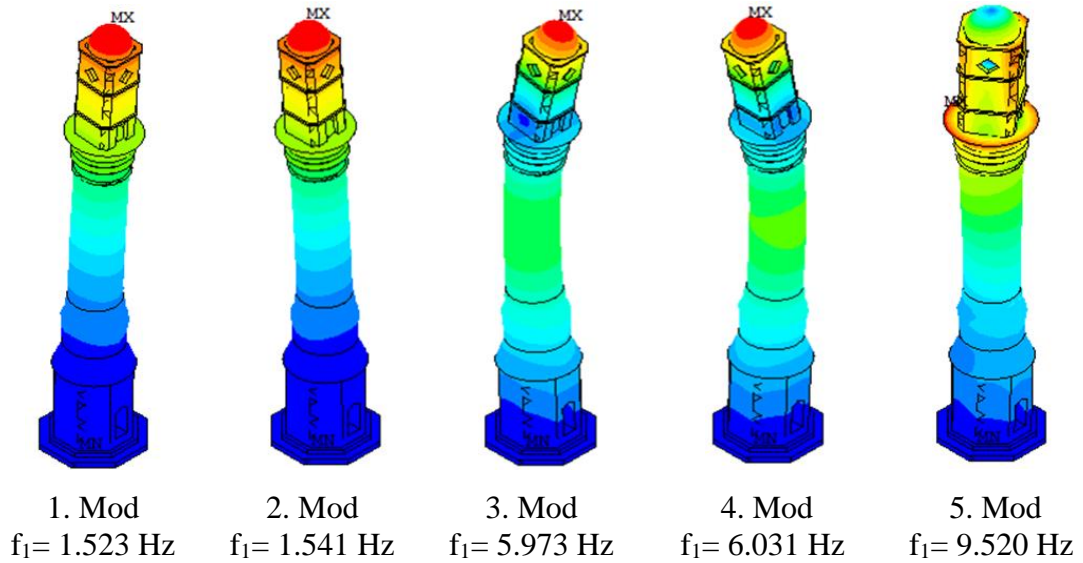
Tablo 2.1. Sonlu eleman modeli malzeme özellikleri (Genç vd., 2019).

Eleman	Elastisite Modülü (N/m <sup>2</sup> )	Poisson Oranı (-)	Malzeme Birim Hacim Ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )
Kaide	3.25E9	0.2	2390
Merdiven	5.00E8	0.2	2390
Silindirik Gövde	3.25E9	0.2	2390
Üst Gövde	1.05E9	0.2	2390
Kubbe	2.50E9	0.2	2550
Ahşap Kat	1.00E10	0.2	600



Şekil 2.3. Saat kulesinin sonlu eleman modeli

Saat kulesinin sonlu eleman modeli 0.30m'lik eleman ağına bölünmüştür. Seçilen eleman ağı boyutu için 14398 adet düğüm noktası ve 58401 adet elaman oluşmuştur. Sayısal dinamik karakteristiklerin elde edebilmesi için modal analiz yapılmıştır. Modal analiz sonucu ilk beş doğal frekans 1.523Hz – 9.520Hz değerleri arasında elde edilmiştir. İlgili mod şekilleri, sırasıyla enine, boyuna ve burulma modları olarak belirlenmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Saat kulesinin ilk beş sayısal mod şekli

## 2.3. Çorum İli İçin Sismik Tehlike Analizi

### 2.3.1. Çorum İlinin Sismisitesi

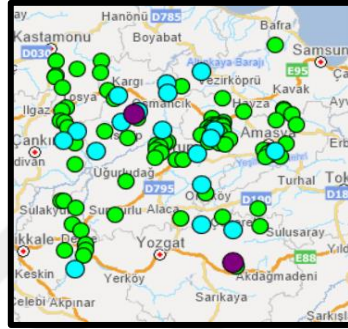
Çorum ili, Karadeniz Bölgesi'nin orta kısmında yer alan ve İç Anadolu'ya açılan kapısıdır. Tarih boyunca farklı medeniyetlere ev sahipliği yapmıştır. Çorum ili sınırları içerisinde yer alan ve Anadolu'nun ilk medeniyetlerinden olan Hititlerin başkenti Hattuşa antik kenti, UNESCO tarafından Dünya Kültür Mirası Listesinde yer alan Türkiye'nin dokuz değerinden biridir.

Güncel Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre, Çorum ili merkez ilçesinin merkezi  $40.549871^\circ$  enlem ve  $34.953735^\circ$  boylamında Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1/  $T=2475$  yıl) ve ZD yerel zemin sınıfı kabulü için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ( $S_{DS}$ ) değeri 1.249, 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı ( $S_{D1}$ ) değeri 0.749 ve en büyük yer ivmesi (PGA) değeri 0.515g olarak elde edilmektedir. Aynı koordinatlar ve zemin sınıfı kabulüne göre Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2 /  $T=475$  yıl) için  $S_{DS}$ ,  $S_{D1}$  ve PGA değerleri sırasıyla 0.830, 0.458 ve 0.275g olarak elde edilmektedir.

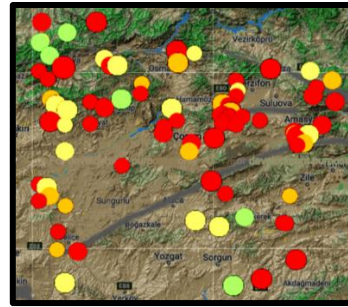
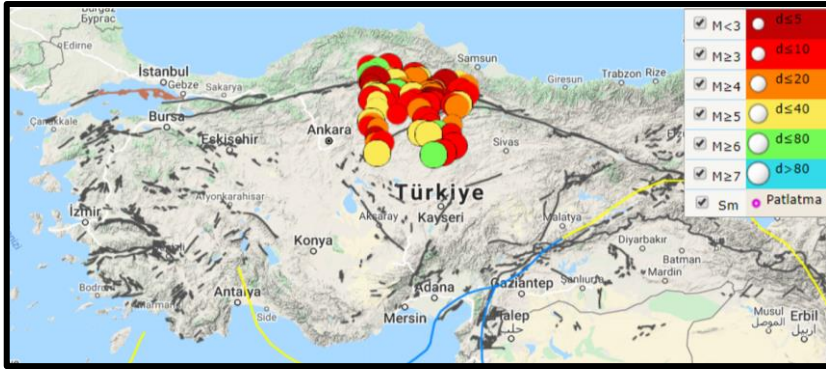
Bölgede bulunan sismik kaynaklar için analitik modellerin oluşturulmasında, bölgenin sismotektonik yapısı ile bölgedeki aletsel ve tarihsel dönemlere ait deprem kataloglarından yararlanılmıştır. Çalışma sahasının yakınlarında 01.01.1900 ile 01.01.2019 tarihleri arasında (son yüz on dokuz yıl)  $33.776^\circ$ -  $36.119^\circ$  doğu boylamları ile  $39.678^\circ$ -  $41.428^\circ$  kuzey enlemleri tarafından sınırlanan dikdörtgen alanda meydana gelmiş ve moment magnitüd değerleri  $M_w \geq 4.0$  olan Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da gösterilen depremler dikkate alınmıştır.

Literatür çalışmaları ve MTA tarafından hazırlanan diri fay haritaları kullanılarak inceleme alanı içerisinde bulunan dört adet aktif diri fay tespit edilmiştir. Bu aktif diri faylar; bölgenin tarihi ve enstrümantal dönemlere ait deprem faaliyeti incelendiğinde orta büyüklükte deprem üretme potansiyeline sahip olduğu anlaşılan Sungurlu, Merzifon ve Salhançayı fayları ile yüksek sismik aktiviteye sahip ve Çorum şehir merkezine uzaklığı yaklaşık 55km olan Kuzey Anadolu Fayı'dır.





Şekil 2.5. Çorum ili ve çevresinde aletsel dönemde kaydedilen depremler (AFAD, 2020).



Şekil 2.6. Çorum ili ve çevresinde aletsel dönemde kaydedilen depremler (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi deprem kataloğu, 2020).

### 2.3.2. Tarihsel Depremler

Aletsel dönemde elde edilen deprem verileri, belirli bir zaman aralığını kapsadığı ve büyük magnitüdümlü depremlerin oluşumları uzun periyotlarla gerçekleştiği için inceleme yapılacak bölgenin sismisitesinin doğru bir şekilde belirlenmesinde yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle sismik tehlike hesaplarında tarihsel deprem verilerinin de incelenmesi önerilmektedir (McGuire, 2004). İnceleme alanında tarihsel deprem kayıtlarına bakıldığında, M.S. 109'da Çorum-Ankara arasında IX şiddetinde, M.S. 528'de ve M.S. 551'de Amasya'da VII şiddetinde, M.S. 968'de Çorum-Kastamonu arasında IX şiddetinde, M.S. 1050'de Amasya ve yöresinde VIII şiddetinde, M.S. 1075'de Çorum ve yöresinde VIII şiddetinde, M.S. 1415'de ve M.S. 1585'de Amasya ve yöresinde VII şiddetinde, M.S. 1509'da Çorum'da VIII şiddetinde, M.S. 1598'de Çorum-Amasya arasında IX şiddetinde, M.S. 1844'de Osmancık-Çorum arasında VIII şiddetinde depremler gerçekleşmiştir. Bu veriler incelendiğinde bölgede şiddetli depremlerin gerçekleşebileceği anlaşılmaktadır.

### 2.3.3. Diri Faylar

Literatür çalışmaları ve MTA haritaları kullanılarak inceleme alanı içerisinde bulunan dört adet aktif diri fay tespit edilmiştir. Bu faylara ait detaylı parametreler Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Sismik kaynaklara ait parametreler

Kaynak	Tip	FU (km)	$\beta$	$\dot{S}$ (mm/yıl)	$V_{Mmin}$	Mmin	Mmax	D (km)	Eğim Açısı
Kuzey Anadolu	DA	205	-	25	-	6.1	7.8	18	73-73
Merzifon	DA	180	-	0.8	-	6.1	7.7	6	20-40
Sungurlu	DA	125	-	20	-	6.1	7.8	15	85-85
Salhançayı	T	13	-	4	-	6.1	6.4	15	88-88
Arkaplan	DA	-	2.884	-	1.84	4.1	6.0	20	-

DA: Doğrultu Atımlı, T: Ters, FU: Fay Uzunluğu, D:Derinlik

### 2.3.4. Deprem Kataloğunun Oluşturulması

Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi (AFAD) deprem kataloğu ve Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne ait deprem kataloğu kullanılarak 111 adet depremden oluşan karma bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanı 01.01.1900 ile 01.01.2019 tarihleri arasında (son yüz on dokuz yıl)  $33.776^{\circ}$ -  $36.119^{\circ}$  doğu boylamları ile  $39.678^{\circ}$ -  $41.428^{\circ}$  kuzey enlemleri tarafından sınırlanan dikdörtgen alanda meydana gelmiş ve moment magnitüd değerleri  $M_w \geq 4.0$  olan depremlerden oluşmaktadır. Katalog oluşturulurken farklı türdeki magnitüd büyüklükleri moment magnitüd ölçeğine çevrilerek tek tip büyüklük türünde katalog elde edilmiştir. Poisson modeline göre depremlerin zaman ve konum olarak birbirinden bağımsız meydana geldiği kabul edilmektedir. Bu modelin sağlanabilmesi için derlenen deprem kataloglarındaki öncü ve artçı depremlerin elenmesi gerekmektedir. Eleme işlemi gerçekleştirilirken zaman ve uzaklık penceresi tablolarından yararlanılmaktadır. Katalogda yer alan her bir deprem kendi magnitüd seviyesi için belirlenen zaman ve uzaklık penceresi içinde kalan depremler ile karşılaştırılmaktadır. Eğer bu pencere içerisine giren kendisinden daha küçük büyüklükte bir depremler var ise karşılaştırılan deprem ana şok kabul edilir ve küçük magnitüdü depremler elenir. Zaman ve uzaklık penceresi içinde daha büyük magnitüdü bir deprem olmasında ise karşılaştırılan deprem öncü deprem olarak kabul edilir ve elenir. Katalogda bulunan büyüklüğü  $M_w \geq 6$  olan depremlerin ise fay üzerinde gerçekleştiği ve ana şok olduğu kabulü yapılmaktadır.

Oluşturulan deprem kataloğundaki verilerin her magnitüd düzeyi için eksiksiz olması gerekmektedir. Yakın zaman içinde küçük ve büyük bütün depremler kaydedilirken zaman içerisinde geriye gidildikçe deprem kataloglarındaki deprem verilerinin gerek doğruluğu gerekse sayısı azalmaktadır. Küçük magnitüdü depremlerin kayıtları, yakın zamanda mevcut durumda iken çok eski kayıtlar büyük magnitüdü depremleri içermektedir. Ayrıca eski zamanlarda kayıt altına alınan bu büyük depremlerin çoğunluğu o dönemki yerleşim bölgelerinde gerçekleşmiş olup, kırsal alanlarda gerçekleşen büyük depremlerin kayda geçmemiş olma ihtimali de bulunmaktadır. Bu nedenle, deprem veri tabanında hem zaman hem de mekân açısından eksiklikler meydana gelmektedir. Böyle bir deprem kataloğundan elde edilen magnitüd-tekerrür ilişkisi uzun süreli oluş sıklıklarını yansıtmakta yetersiz kalmaktadır.

Bu tez kapsamında oluşturulan karma deprem kataloğu Tablo 2.3’de, oluşturulan karma deprem kataloğundan öncü ve artçı depremlerin elenmesi sonucu oluşan yeni katalog ise Tablo 2.4’te verilmektedir.

Tablo 2.3. Karma deprem kataloğu oluşturulurken dikkate alınan deprem kayıtları

No	Boylam	Enlem	Yıl	Ay	Gün	Mw	Derinlik	Saat	Dakika
1	35.1970	40.7225	2018	10	18	4.2	11.15	19	0
2	35.4666	40.6888	2018	5	18	4.3	12.84	4	35
3	34.2982	40.7752	2016	11	2	4.2	6.60	12	2
4	34.2811	40.7508	2016	11	2	4.8	6.42	11	57
5	34.3733	40.9952	2013	7	28	4.6	17.37	18	57
6	34.3810	40.1163	2013	3	13	4.2	19.06	18	28
7	34.1000	39.8472	2012	12	25	4.2	17.12	15	35
8	34.8145	40.5883	2011	2	20	4.5	18.89	14	13
9	35.0245	40.5354	2010	4	2	4.6	19.20	7	37
10	34.7700	40.6100	2008	4	2	4.5	10.00	10	14
11	34.4832	40.3713	2008	4	1	4.4	7.04	0	41
12	34.8041	40.6335	2008	3	29	4.6	4.00	3	12
13	34.7600	40.5500	2008	1	14	4.4	7.00	2	6
14	34.0798	39.8043	2007	2	14	4.7	10.00	11	59
15	34.8520	40.6660	2005	4	29	4.8	6.00	22	28
16	35.8771	40.6036	2003	9	27	4.4	10.60	19	34
17	35.7370	40.1640	2002	2	4	4.4	13.00	13	6
18	35.7560	40.0290	2001	4	7	4.5	6.00	4	9
19	34.8800	40.6700	2000	5	30	4.5	9.00	8	17
20	34.2420	41.1930	2000	5	14	4.1	11.00	11	16
21	33.9740	40.0440	2000	2	29	4.4	22.70	20	43
22	34.0560	39.9960	2000	2	7	4.9	28.80	20	11
23	33.9170	40.9300	1999	12	19	4.3	10.00	23	37
24	33.8750	40.9070	1999	6	16	4.4	6.20	14	50
25	35.2700	40.7400	1999	4	5	4.3	10.00	7	57
26	35.2900	40.7600	1999	3	15	4.3	0.00	7	27
27	35.2596	40.7761	1998	1	12	4.4	4.10	19	46
28	35.4070	40.7530	1997	2	28	5.1	8.90	0	3
29	35.2900	40.7200	1996	12	7	4.3	12.00	23	13
30	35.2929	40.7691	1996	11	22	4.4	9.40	11	59
31	35.4000	40.7900	1996	9	25	4.5	28.00	1	52
32	35.9000	41.4000	1996	9	12	4.2	14.00	16	37
33	35.3400	40.8000	1996	9	11	4.3	10.00	14	33
34	35.3204	40.7624	1996	9	9	4.5	5.00	6	5

Tablo 2.3'ün devamı

35	35.2669	40.6694	1996	8	27	4.1	10.00	17	1
36	35.2844	40.7428	1996	8	25	4.4	5.00	13	58
37	35.4000	41.0000	1996	8	25	4.3	5.00	3	54
38	35.4100	40.8200	1996	8	21	4.4	24.00	2	17
39	35.3400	40.7500	1996	8	20	4.4	5.00	23	52
40	35.3700	40.7400	1996	8	20	4.4	10.00	3	32
41	35.3700	40.6600	1996	8	19	4.3	8.00	4	47
42	35.0100	41.0900	1996	8	14	4.3	21.00	19	47
43	35.3000	40.7000	1996	8	14	4.4	5.00	12	41
44	35.3000	40.8500	1996	8	14	4.6	29.00	12	4
45	35.3000	40.8000	1996	8	14	4.3	10.00	11	24
46	35.4000	40.8000	1996	8	14	4.3	10.00	10	32
47	35.2020	40.3450	1996	8	14	5.5	10.00	3	1
48	35.3280	40.7600	1996	8	14	5.6	16.00	2	59
49	35.3506	40.7912	1996	8	14	4.7	6.00	2	25
50	35.2900	40.6980	1996	8	14	5.8	17.00	1	55
51	35.4240	40.6510	1996	3	17	4.7	7.00	14	12
52	35.2400	40.2800	1993	9	13	4.5	10.00	1	53
53	35.8796	40.5764	1993	6	12	4.9	10.00	8	58
54	35.9797	40.9190	1993	6	3	4.5	10.00	7	46
55	35.9081	40.8341	1992	5	12	4.7	18.10	23	38
56	33.9000	39.8442	1992	2	14	4.4	8.50	3	27
57	35.9490	40.5590	1992	2	12	5.2	10.00	15	59
58	35.8332	40.5855	1992	2	12	4.7	10.00	15	55
59	34.0081	40.1690	1991	1	30	4.1	20.40	6	30
60	33.8000	40.2000	1990	10	18	4.5	10.00	23	29
61	33.8930	40.2220	1990	8	5	5.1	37.20	18	31
62	34.2000	40.6700	1990	2	26	4.6	10.00	16	28
63	34.7712	40.6476	1988	5	31	4.3	10.00	21	6
64	34.5928	40.8490	1985	9	3	4.1	10.00	8	47
65	35.8079	40.5557	1985	6	10	4.6	10.00	12	2
66	35.8630	40.5930	1985	6	10	5.1	11.60	11	41
67	36.0030	40.6569	1981	12	7	4.7	10.00	21	17
68	34.9600	40.5360	1978	12	6	4.9	9.90	13	9
69	33.8000	40.3000	1978	8	14	4.2	10.00	1	37
70	35.0030	40.0880	1975	10	26	4.9	35.90	7	5
71	36.0580	40.8780	1975	7	15	5.0	27.70	21	59
72	33.8604	40.8308	1974	8	30	4.8	10.00	5	43
73	34.5975	40.9061	1973	8	1	4.7	19.00	19	56
74	33.8200	41.1700	1973	7	5	4.5	33.00	3	32

Tablo 2.3'ün devamı

75	33.8660	40.2220	1973	2	19	5.2	32.80	18	10
76	35.7900	40.6100	1970	10	17	4.7	33.00	1	50
77	35.9830	40.9090	1970	7	10	5.1	39.20	13	30
78	34.0000	40.6600	1970	2	11	4.7	33.00	21	7
79	34.2000	40.6000	1969	12	22	5.5	33.00	4	47
80	34.3100	41.0600	1967	8	12	4.9	33.00	16	59
81	33.9000	40.8200	1967	6	22	5.0	17.00	7	25
82	35.4000	40.1000	1966	12	7	5.0	78.00	11	1
83	34.0000	40.5000	1965	1	20	5.1	33.00	7	9
84	36.1000	40.8000	1962	4	1	5.2	10.00	1	39
85	34.0200	40.7500	1957	9	21	5.5	40.00	20	16
86	33.8100	41.1600	1953	12	13	5.2	50.00	19	38
87	34.2500	41.2800	1950	9	4	5.3	10.00	12	17
88	34.8700	41.1100	1944	9	30	5.8	10.00	4	13
89	35.6000	41.0000	1943	12	7	5.8	5.00	1	19
90	33.9300	40.7800	1943	11	27	5.3	40.00	23	29
91	34.8300	40.7600	1942	12	11	6.1	40.00	2	39
92	34.8800	41.0400	1942	12	2	5.7	20.00	19	4
93	34.4400	40.8200	1942	11	21	5.8	80.00	14	2
94	35.5000	40.0000	1941	4	27	6.0	35.00	13	1
95	35.5300	39.7200	1940	7	31	5.3	10.00	10	36
96	35.5000	39.7500	1940	7	30	6.2	35.00	0	12
97	35.2000	40.0400	1940	4	13	5.8	30.00	6	29
98	33.8800	41.0800	1938	5	31	5.2	60.00	19	34
99	34.1000	39.8900	1938	4	27	5.1	10.00	10	40
100	33.8200	41.2800	1936	9	21	5.1	10.00	13	9
101	34.0200	41.2200	1933	7	12	5.1	10.00	12	34
102	34.0000	39.7000	1930	4	9	5.4	10.00	5	7
103	34.2000	40.8000	1928	8	24	4.7	5.00	14	21
104	34.4100	41.0200	1923	8	16	5.5	40.00	3	52
105	33.8900	40.6800	1919	6	9	5.4	10.00	15	47
106	35.1600	40.5800	1918	8	29	5.6	10.00	6	39
107	35.8000	39.8400	1914	5	28	5.7	10.00	11	27
108	34.5000	40.7000	1910	8	5	5.2	10.00	2	30
109	34.5600	40.8800	1910	6	25	6.4	10.00	19	26
110	34.6000	40.9000	1910	5	21	5.5	10.00	7	46
111	35.9000	40.6000	1908	6	21	5.5	10.00	3	55
112	35.6000	40.9000	1903	4	27	4.8	10.00	18	10
113	35.2000	41.2000	1902	6	25	5.4	10.00	1	22

Tablo 2.4. Oluşturulan karma deprem kataloğundan öncü ve artçı depremler elenerek oluşturulan yeni katalog

No	Boylam	Enlem	Yıl	Ay	Gün	Mw	Derinlik	Saat	Dakika
1	35.1970	40.7225	2018	10	18	4.2	11.15	19	0
2	35.4666	40.6888	2018	5	18	4.3	12.84	4	35
3	34.2811	40.7508	2016	11	2	4.8	6.42	11	57
4	34.3733	40.9952	2013	7	28	4.6	17.37	18	57
5	34.3810	40.1163	2013	3	13	4.2	19.06	18	28
6	34.1000	39.8472	2012	12	25	4.2	17.12	15	35
7	34.8145	40.5883	2011	2	20	4.5	18.89	14	13
8	35.0245	40.5354	2010	4	2	4.6	19.20	7	37
9	34.8041	40.6335	2008	3	29	4.6	4.00	3	12
10	34.0798	39.8043	2007	2	14	4.7	10.00	11	59
11	34.8520	40.6660	2005	4	29	4.8	6.00	22	28
12	35.8771	40.6036	2003	9	27	4.4	10.60	19	34
13	35.7370	40.1640	2002	2	4	4.4	13.00	13	6
14	35.7560	40.0290	2001	4	7	4.5	6.00	4	9
15	34.8800	40.6700	2000	5	30	4.5	9.00	8	17
16	34.2420	41.1930	2000	5	14	4.1	11.00	11	16
17	34.0560	39.9960	2000	2	7	4.9	28.80	20	11
18	33.9170	40.9300	1999	12	19	4.3	10.00	23	37
19	33.8750	40.9070	1999	6	16	4.4	6.20	14	50
20	35.2700	40.7400	1999	4	5	4.3	10.00	7	57
21	35.2596	40.7761	1998	1	12	4.4	4.10	19	46
22	35.9000	41.4000	1996	9	12	4.2	14.00	16	37
23	35.2900	40.6980	1996	8	14	5.8	17.00	1	55
24	35.2400	40.2800	1993	9	13	4.5	10.00	1	53
25	35.8796	40.5764	1993	6	12	4.9	10.00	8	58
26	33.9000	39.8442	1992	2	14	4.4	8.50	3	27
27	35.9490	40.5590	1992	2	12	5.2	10.00	15	59
28	33.8930	40.2220	1990	8	5	5.1	37.20	18	31
29	34.2000	40.6700	1990	2	26	4.6	10.00	16	28
30	34.7712	40.6476	1988	5	31	4.3	10.00	21	6
31	34.5928	40.8490	1985	9	3	4.1	10.00	8	47
32	35.8630	40.5930	1985	6	10	5.1	11.60	11	41
33	36.0030	40.6569	1981	12	7	4.7	10.00	21	17
34	34.9600	40.5360	1978	12	6	4.9	9.90	13	9
35	33.8000	40.3000	1978	8	14	4.2	10.00	1	37
36	35.0030	40.0880	1975	10	26	4.9	35.90	7	5
37	36.0580	40.8780	1975	7	15	5.0	27.70	21	59
38	33.8604	40.8308	1974	8	30	4.8	10.00	5	43
39	34.5975	40.9061	1973	8	1	4.7	19.00	19	56

Tablo 2.4'ün devamı

40	33.8200	41.1700	1973	7	5	4.5	33.00	3	32
41	33.8660	40.2220	1973	2	19	5.2	32.80	18	10
42	35.9830	40.9090	1970	7	10	5.1	39.20	13	30
43	34.2000	40.6000	1969	12	22	5.5	33.00	4	47
44	33.9000	40.8200	1967	6	22	5.0	17.00	7	25
45	35.4000	40.1000	1966	12	7	5.0	78.00	11	1
46	34.0000	40.5000	1965	1	20	5.1	33.00	7	9
47	36.1000	40.8000	1962	4	1	5.2	10.00	1	39
48	34.0200	40.7500	1957	9	21	5.5	40.00	20	16
49	33.8100	41.1600	1953	12	13	5.2	50.00	19	38
50	34.2500	41.2800	1950	9	4	5.3	10.00	12	17
51	33.9300	40.7800	1943	11	27	5.3	40.00	23	29
52	34.8300	40.7600	1942	12	11	6.1	40.00	2	39
53	35.5000	39.7500	1940	7	30	6.2	35.00	0	12
54	33.8800	41.0800	1938	5	31	5.2	60.00	19	34
55	34.1000	39.8900	1938	4	27	5.1	10.00	10	40
56	33.8200	41.2800	1936	9	21	5.1	10.00	13	9
57	34.0200	41.2200	1933	7	12	5.1	10.00	12	34
58	34.0000	39.7000	1930	4	9	5.4	10.00	5	7
59	34.2000	40.8000	1928	8	24	4.7	5.00	14	21
60	34.4100	41.0200	1923	8	16	5.5	40.00	3	52
61	33.8900	40.6800	1919	6	9	5.4	10.00	15	47
62	35.1600	40.5800	1918	8	29	5.6	10.00	6	39
63	35.8000	39.8400	1914	5	28	5.7	10.00	11	27
64	34.5600	40.8800	1910	6	25	6.4	10.00	19	26
65	35.9000	40.6000	1908	6	21	5.5	10.00	3	55
66	35.6000	40.9000	1903	4	27	4.8	10.00	18	10
67	35.2000	41.2000	1902	6	25	5.4	10.00	1	22

### 2.3.5. Deprem Kaynak Modelleri

Olasılıksal sismik tehlike analizinde, Tablo 2.2'de verilen sismik parametreler ve Şekil 2.7'de gösterilen dört çizgisel (diri fay) ve bir alan (arkaplan) deprem kaynağı modeli dikkate alınmıştır. Magnitüd değeri 6.0'dan büyük olan depremlerin çizgisel kaynaklar üzerinde gerçekleştiği, küçük olanların ise arkaplan deprem kaynağı üzerinde olduğu kabulü yapılmıştır.





Şekil 2.7. Sismik tehlike hesabında kullanılan fay ve arkaplan deprem kaynakları

Depremlerin tekerrür ilişkisi için, McGuire (2004) tarafından önerilen  $M_{max}$  ve kesik üstel dağılım fonksiyon kullanılmıştır (Denklem 2.1).

$$n(M) = v_{M_{min}} \left[ \frac{\exp(\beta M_{min} - \beta M) - \exp(\beta M_{max} - \beta M_{min})}{1 - \exp(\beta M_{max} - \beta M_{min})} \right] \quad M_{min} \leq M \leq M_{max} \quad (2.1)$$

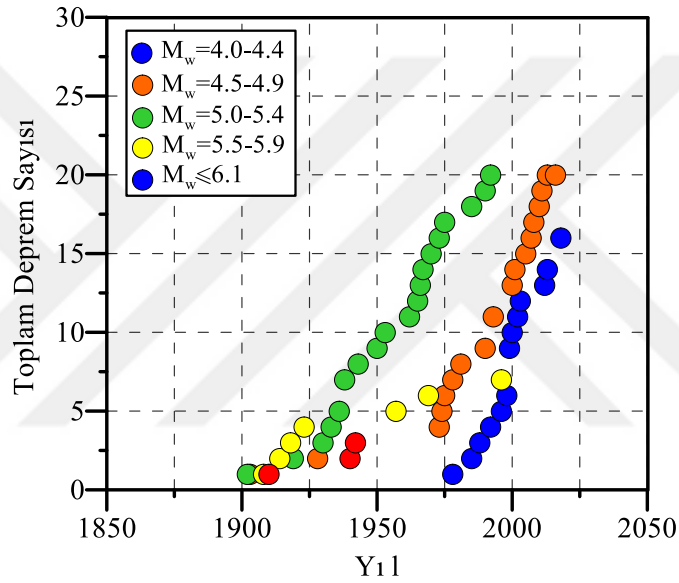
Burada,  $v_{M_{min}}$  magnitüdü  $M_{min}$ 'den büyük olan depremlerin toplam sayısını,  $\beta$  büyük magnitüdü depremlerin küçük magnitüdü depremlere oranını ifade etmektedir. Deprem kataloglarındaki verilerin dağılımı, zamana bağlı olarak eksiklik gösterdiği için Weichert (1980) tarafından geliştirilen yaklaşıma dayanan Denklem 2.2 ve Denklem 2.3 ile  $v_{M_{min}}$  ve  $\beta$  arasındaki ilişki ifade edilebilmektedir (Yılmaz ve Akkar, 2013).

$$v_{M_{min}} = z \frac{\sum_i \exp(-\beta M_i)}{\sum_i t_i \exp(-\beta M_i)} \quad (2.2)$$

$$\frac{\sum_i t_i M_i \exp(-\beta M_i)}{\sum_i t_i \exp(-\beta M_i)} = \frac{\sum_i M_i z_i}{\sum_i z_i} \quad (2.3)$$

Burada,  $t_i$  her bir  $M_i$  magnitüd dilimi için kataloğun tam olduğu süreyi,  $z_i$  bu süre için  $M_i$  dilimine düşen deprem sayısını belirtmektedir.

Arkaplan deprem kaynağındaki belirli magnitüd aralığındaki deprem sayılarının artışı Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Denklem 2.2, Denklem 2.3 ile Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da verilen depremler kullanılarak arkaplan kaynağı için  $V_{Mmin}$  ve  $\beta$  değerleri hesaplanmış ve magnitüd tekerrür modeli parametreleri Tablo 2.2’de verilmiştir. Oluşturulan bu model Denklem 2.1 kullanılarak ikincil depremlerden arındırılmış deprem kataloğu ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.8. Arkaplan kaynağındaki belirli magnitüd aralığındaki deprem sayılarının yıllara göre artışı

Schwartz ve Coppersmith (1984), tarafından geliştirilen karakteristik deprem modeli çizgisel sismik kaynaklar için kullanılmıştır. Bu model,  $M_{min}$  ve  $M_{max}$  aralığındaki depremlerin çizgisel kaynaklar üzerinde oluştuğu gözlemine dayanmaktadır (Denklem 2.4). Çizgisel kaynaklar üzerinde oluşabilecek  $M_{min}$  ve  $M_{max}$  hesabında çalışma alanı için oluşturulan homojen deprem kataloğu verileri ve fay uzunlukları dikkate alınmıştır. Minimum magnitüd değeri  $M_{min}=6.1$  olarak kabul edilmiş, maksimum magnitüd değeri  $M_{max}$  ise Wells ve Coppersmith (1994) tarafından önerilen fay uzunlukları ve fay kırıklarının genişliğine dayanan ampirik formüller ile literatür araştırmasından elde edilen veriler dikkate alınarak belirlenmiştir.

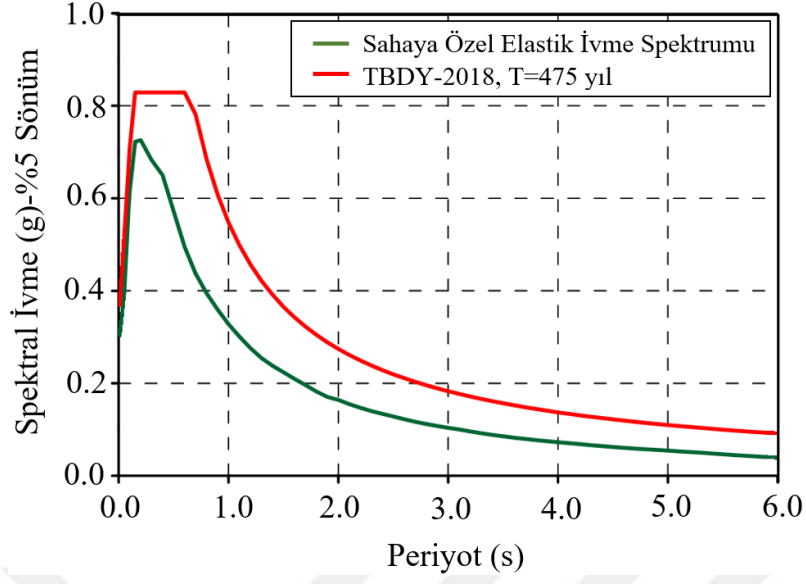
$$v_{M_{\min}} = \dot{s} \mu a_T \frac{\lambda(1-\beta\lambda)}{k\beta \exp[\beta(M_{\min} + d/c)]} (M_{0,\max}^{1-\beta/\gamma} - M_{0,\min}^{1-\beta/\gamma})^{-1} \quad M_{\min} \leq M \leq M_{\max} \quad (2.4)$$

Burada,  $a_T$  fay alanını,  $s$  fay üzerindeki ortalama atım hızını,  $M_{0,\min}$  ve  $M_{0,\max}$  değerleri  $M_{\min}$  ve  $M_{\max}$ 'a karşılık gelen sismik momentleri,  $\mu$  fayın rijitlik modülünü,  $c$  ve  $d$  sismik moment ve  $M$  arasındaki ilişkiyi veren katsayıları,  $\gamma$  ise  $c \cdot \ln 10$  değerini ifade etmektedir.

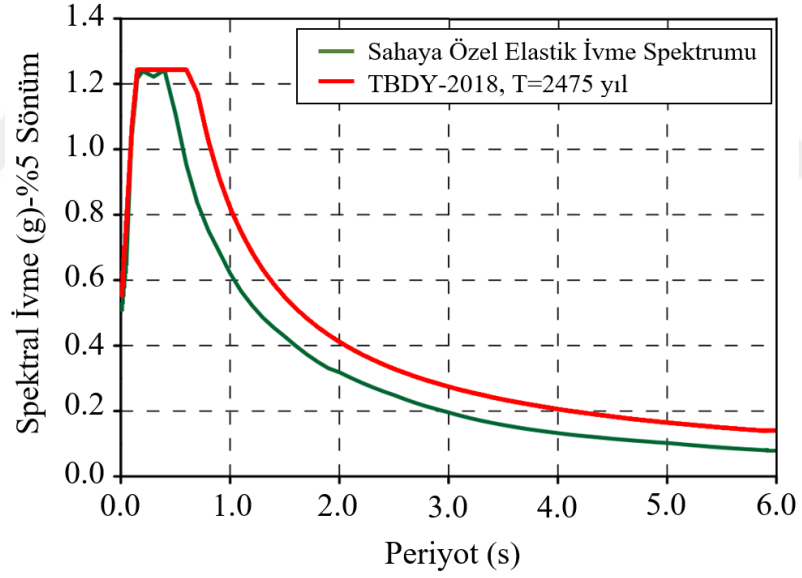
### 2.3.6. Sismik Tehlike Hesap Sonuçları

Sismik tehlike analizinin gerçekleştirilmesi ve sahaya özel ivme spektrumlarının elde edilebilmesi için ileride oluşabilecek depremlerin neden olacağı yer hareketi parametrelerindeki değişkenliği ifade eden azalım ilişkileri (yer hareketi denklemleri), çalışma sahasının ve bölgenin tektonik özelliklerine bağlı olarak seçilmelidir. Chiou ve Youngs (2008) ile Abrahamson ve Silva (2008) gerçekleştirdikleri çalışmalarda NGA-West1 (Power vd. 2008) projesi kapsamında küresel sığ aktif deprem veri tabanlarını kullanarak yer hareketi denklemlerini belirlemişlerdir. Stafford vd. (2008), bu yer hareketi denklemlerinin Avrupa ve Ortadoğu'da sismik tehlike hesaplarında uygulanabileceklerini belirtmişlerdir. Bu tez çalışması kapsamında kullanılan yer hareketi tahmin denklemlerine ait özellikler Tablo 2.5'de verilmiştir.

Yer hareketi tahmin denklemlerine, mantık ağacı yöntemi ile eşit ağırlıklar uygulanmış ve tekerrür periyotları  $T=475$  yıl ve  $T=2475$  yılı temsil eden %5 sönüm oranına sahip elastik ivme spektrumları elde edilmiştir. Çalışma sahasının merkezinde yer alan Çorum Saat Kulesi'ne çok yakın bir konumda bulunan tarihi Veli Paşa Hanı'nın restorasyonu için gerçekleştirilen zemin etüd çalışmaları sonucu yerel zemin koşullarının  $V_{S30}=249.53\text{m/s}$  ile temsil edilebileceği ifade edilmektedir. Bu nedenle, olasılıksal sismik tehlike analizinde, mantık ağacı uygulaması  $V_{S30}=249.53\text{m/s}$  için gerçekleştirilmiştir. Tekerrür periyotları  $T=2475$  yıl ve  $T=475$  yıl için elde edilen sahaya özel deprem spektrumları Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da TBDY-2018'e göre belirlenen elastik ivme spektrumları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda, elde edilen sahaya özel elastik ivme spektrumlarının, yönetmelik ivme spektrumlarına göre daha düşük spektral ivme değerleri verdiği ve yönetmelik şartının sağlanmadığı görülmektedir.



Şekil 2.19.  $V_{S30}=249.53\text{m/s}$  kabulü için yönetmelik spektrumu ve sahaya özel spektrumun (T=475 yıl) karşılaştırması



Şekil 2.10.  $V_{S30}=249.53\text{m/s}$  kabulü için yönetmelik spektrumu ve sahaya özel spektrumun (T=2475 yıl) karşılaştırması

Tablo 2.5. Olasılıksal deprem tehlikesi hesaplamalarında kullanılan yer hareketi tahmin denklemleri

Tahmin Denklemi	Denklemin Kısaltması	Ana Bölgeler	Kayıt ve Deprem Sayısı	Katsayısı	Mw Aralığı	R <sub>max</sub> (km)	Bileşenler	Faylanma Şekli	Zemin Etkisi
Chiou and Youngs (2008)	CY08	Batı Amerika ve Tayvan	1950, 125	12	4.0-8.5	R <sub>RUP</sub> , 200	PGA, PGV, PSA	DA, N, T	V <sub>S30</sub>
Abrahamson and Silva (2008)	AS08	Doğu Amerika ve Tayvan	2754, 135	13	5.0-8.5	R <sub>RUP</sub> , 200	PGA, PGV, PSA	DA, N, T	V <sub>S30</sub>
Zhao vd. (2006)	ZH06	Japonya, İran ve Amerika	4726, 269	12	5.0-8.3	R <sub>RUP</sub> , 300	PGA, PGV, PSA	DA, N, T	V <sub>S30</sub>

## 2.4. Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi

Bu tez çalışmasında, yapılan sismik tehlike analizi sonucu elde edilen sahaya özel spektrumlar,  $T=475$  ve  $T=2475$  için ve  $V_{S30}= 249.53\text{m/s}$  değerine uygun olan ZD zemin sınıfı seçilerek TBDY-2018 için elde edilen yönetmelik tasarım spektrumu ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucu sahaya özel elastik ivme spektrumlarının,  $T=475$  yıl ve  $T=2475$  yıl için yönetmelik spektrumlarına göre her periyot için daha düşük spektral ivme değeri verdiği gözlemlenmiştir. TBDY-2018’de yer alan sahaya özel deprem yer hareketi spektrumlarının ordinatları, hiçbir zaman yönetmelikte tanımlanan tasarım spektrumu ordinatlarının %90’ından daha küçük olamaz şartının sağlanmadığı açıkça görülmektedir. Bu nedenle kullanılacak olan yer hareketi kayıtlarının ölçeklendirilmesinde hedef spektrum olarak ZD zemin sınıfı için tekerrür süresi  $T=475$  yıla tekabül eden  $S_{DS}=0.830$ ,  $S_{D1}=0.458$ ,  $T_A=0.11$  ve  $T_B=0.55$  değerlerini sağlayan yönetmelik tasarım spektrumu dikkate alınacaktır.

### 2.4.1. Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesinde, yer hareketine ait ivme tepki spektrumları, hedef spektrum ile eşleştirilmeye çalışılmaktadır. Bu nedenle yapının bulunduğu bölgenin yer hareketi düzeyi, deprem büyüklüğü, yerel zemin koşulları gibi özellikler dikkate alınarak hedef tasarım spektrumu ile uygun olacak yer hareketi kayıtları seçilmelidir. Bu kurallara uygun olarak, bölgede daha önce meydana gelmiş olan ve sismik tehlike analizinde kullanılan on üç adet yer hareketi seçilmiş ve bu depremlere ait özellikler Tablo 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.6. Ölçeklendirme işleminde kullanılmak üzere seçilen yer hareketi kayıtları

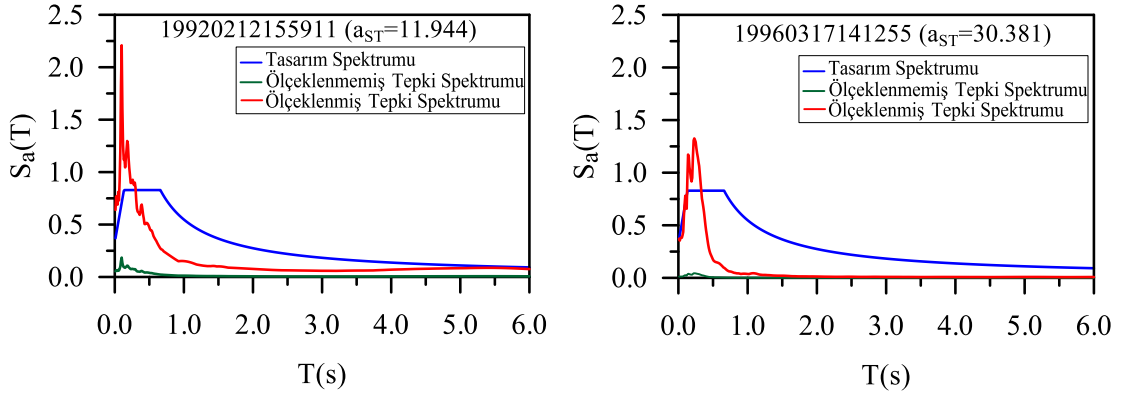
Kayıt No	Tarih	Derinlik (km)	İstasyon No
19920212155911	12.02.1992	10.0	0503
19960317141255	17.03.1996	7.0	0502
19960814015503	14.08.1996	17.0	0502
19960814025941	14.08.1996	16.0	0504
19960814030104	14.08.1996	10.0	0502
19960814120409	14.08.1996	29.0	0502

Tablo 2.6'nın devamı

19960819044713	19.08.1996	8.0	0502
19990616145000	16.06.1999	6.2	3701
20030927193425	27.09.2003	10.6	0502
20050429222820	29.04.2005	6.0	3701
20100402073716	02.04.2010	19.2	1904
20110220141356	20.02.2011	18.9	1904
20161102115742	02.11.2016	6.42	3701

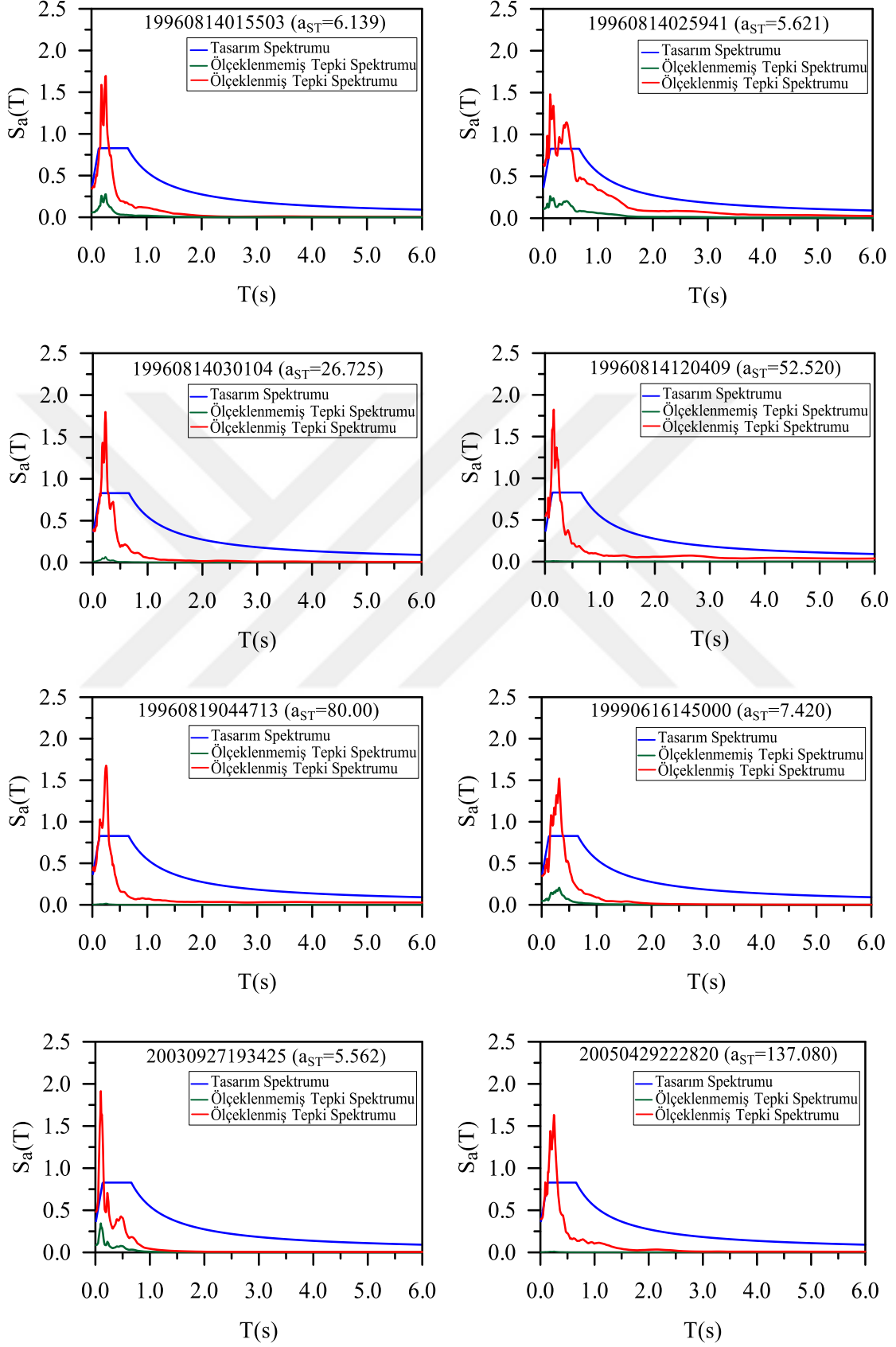
#### 2.4.2. Gerçek Deprem Kayıtlarının Basit Ölçeklendirme Yöntemi ile Ölçeklendirilmesi

Seçilen yer hareketi kayıtlarının basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesinde MATLAB programı kullanılmıştır. Öncelikle, üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kaydına ait iki yatay bileşenin tepki spektrumlarının kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay tepki spektrumları elde edilmiştir. Elde edilen bileşke yatay tepki spektrumları, ZD zemin sınıfı için 475 yıl tekerrür süreli yönetmelik tasarım spektrumu ile eşleştirilmiş ve ölçekleme katsayıları elde edilmiştir (Şekil 2.11).



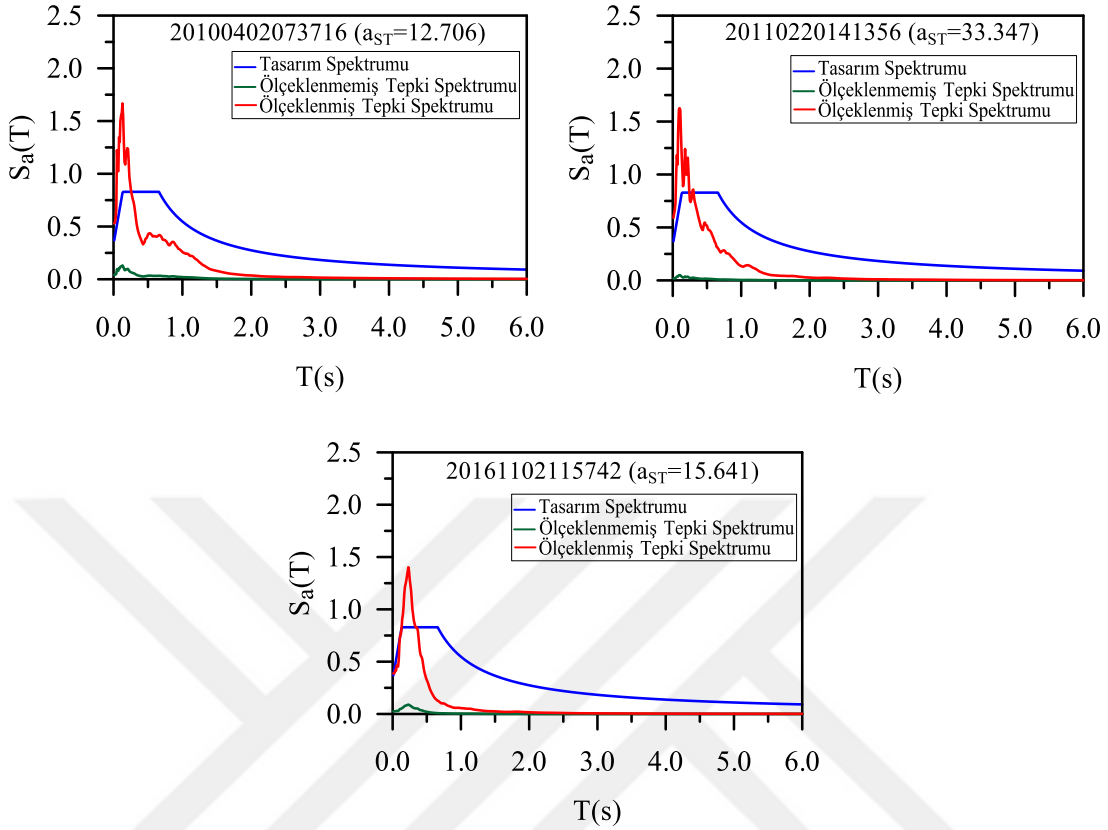
Şekil 2.11. Bileşke tepki spektrumların basit ölçeklendirme yöntemi kullanılarak tasarım spektrumuna göre ölçeklenmesi

Şekil 2.11'in devamı

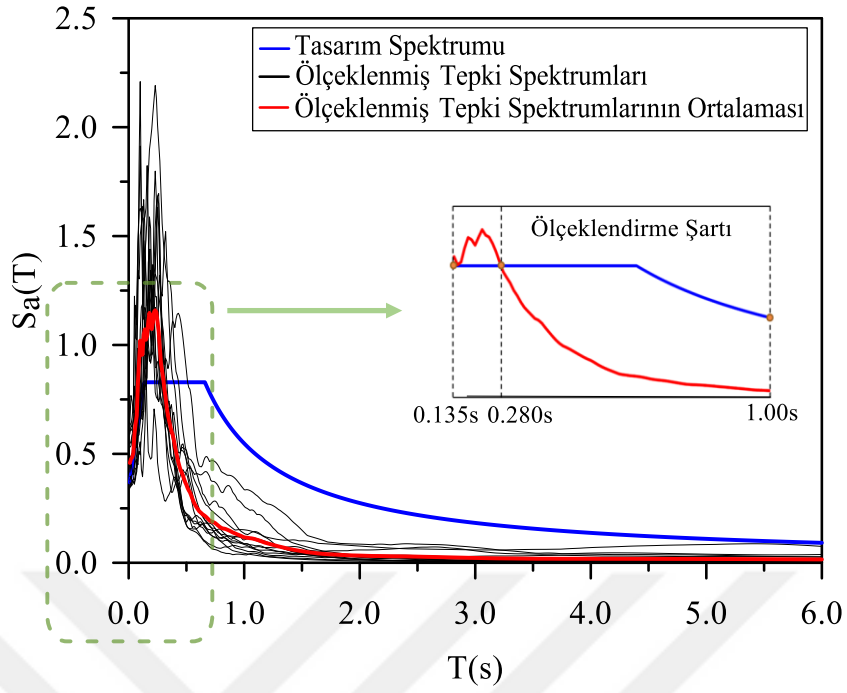




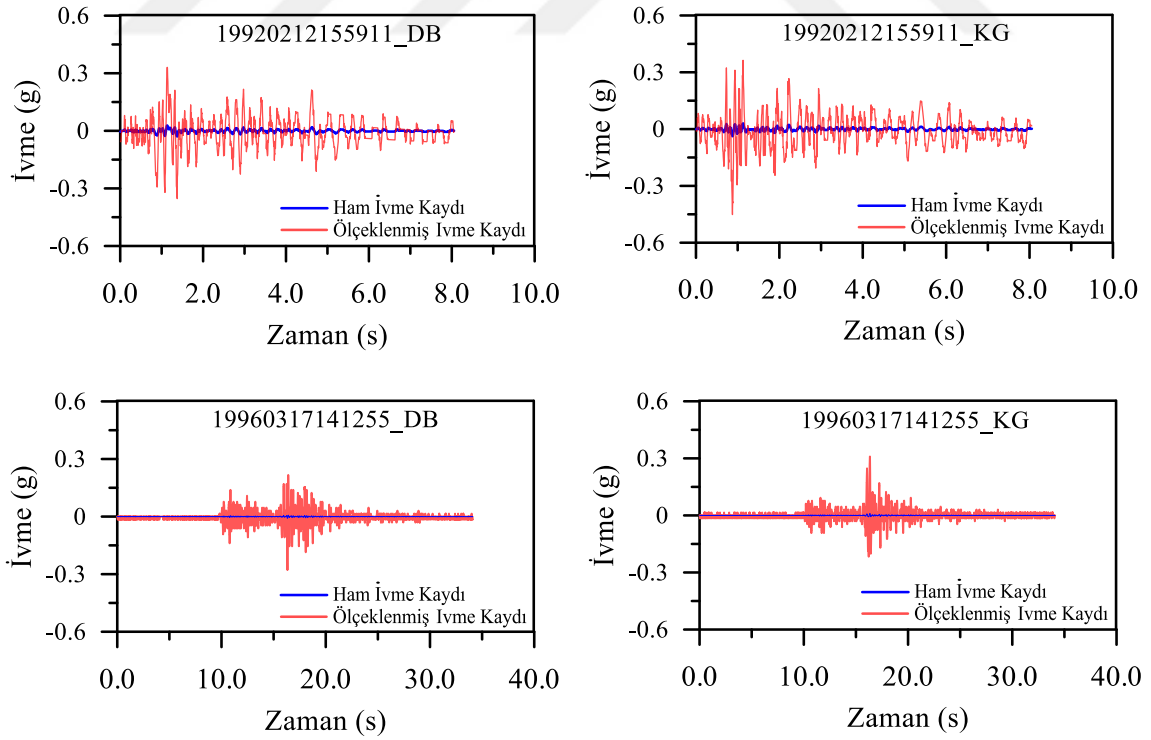
Şekil 2.11'in devamı



TBDY-2018'e göre tüm kayıtlara ait bileşke tepki spektrumlarının ortalamasının  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin, hedef tasarım spektrumundaki aynı periyot aralığındaki genliklere oranının 1.3'den küçük olmaması gerekmektedir. Bu kuralın 0.135s ve 0.280s arasında sağlandığı, 0.280s ve 1.00s aralında sağlanmadığı gözlenmiştir ve bu durumun kabul edilebilir düzeyde olduğu düşünülerek doğrusal dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Ölçeklenmiş bileşke spektrumların ortalaması ve hedef tasarım spektrumu ile olan ilişkisi Şekil 2.12'de verilmiştir. Basit ölçeklendirme yöntemi uygulanmış deprem yatay doğrultudaki her iki bileşenine ait ham ivme kayıtları, kendi bileşke spektrumları ile hesaplanan ölçeklendirme katsayısı ile çarpılarak ölçeklenmiş ivme kayıtları elde edilmiştir. Bu ham ivme kayıtlarının ölçeklenmiş ivme kayıtları ile karşılaştırılması Şekil 2.13'de verilmiştir.

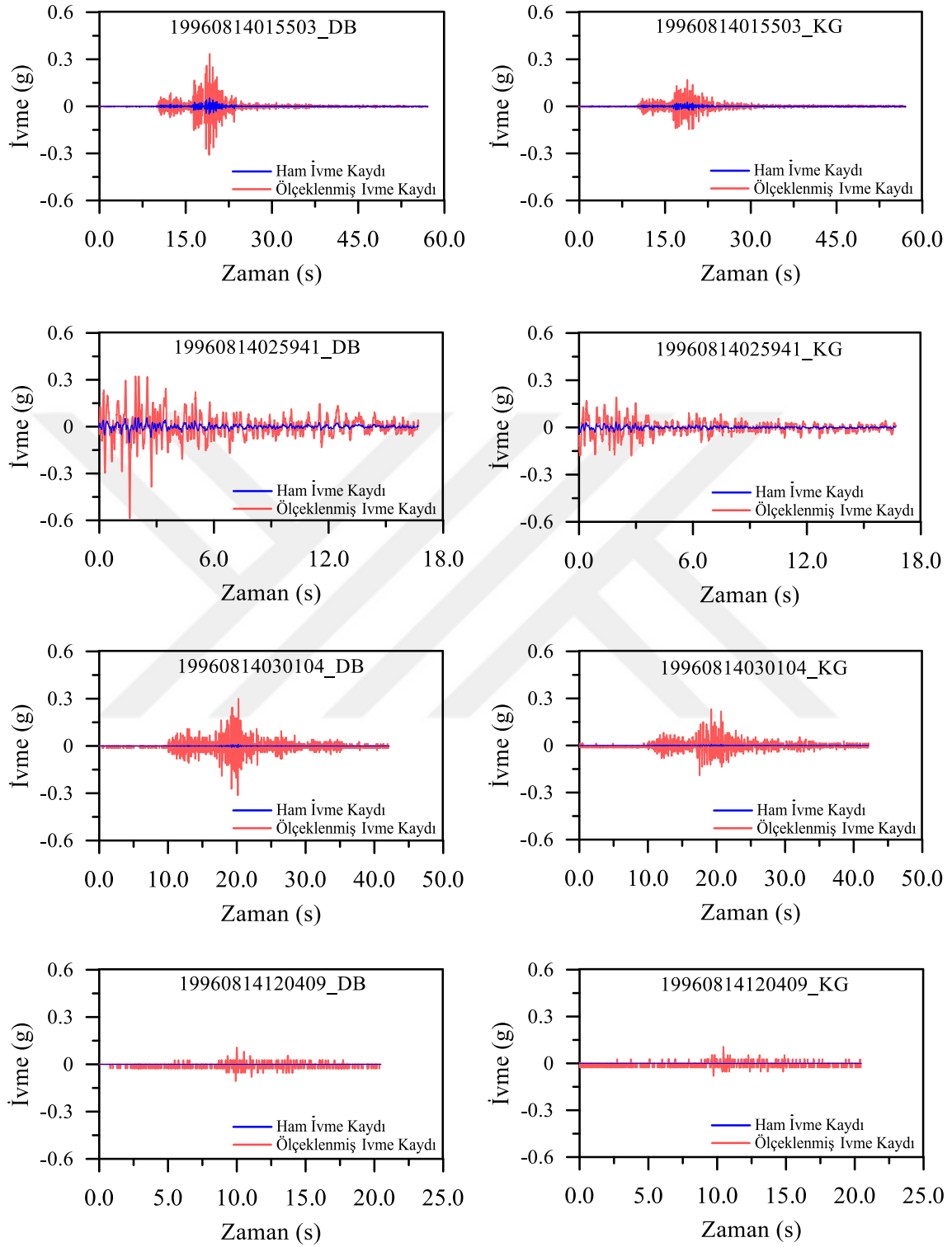


Şekil 2.12. Basit ölçeklendirme yöntemine göre ölçeklenmiş bileşke tepki spektrumların ortalamasının hedef tasarım spektrumu ile karşılaştırılması

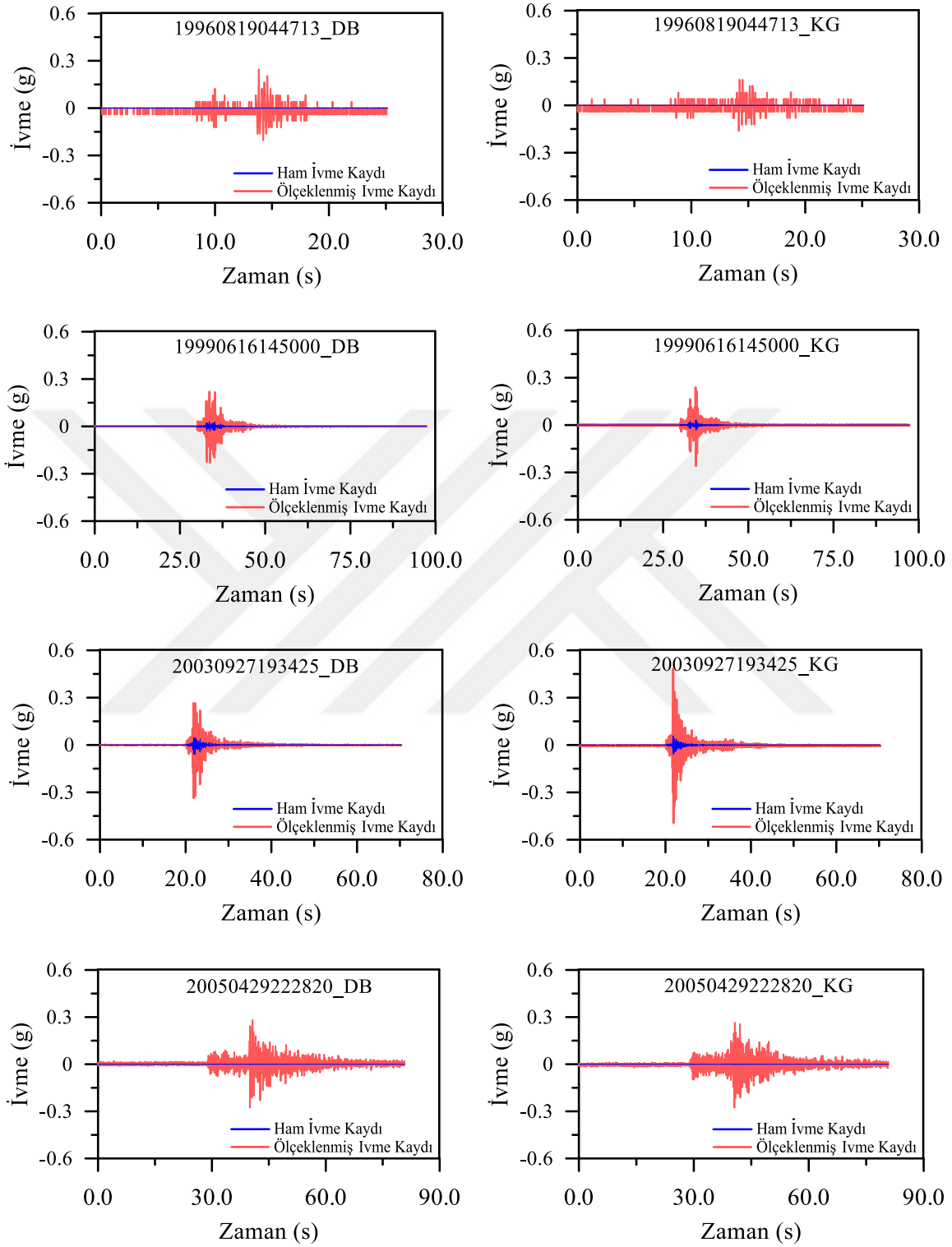


Şekil 2.13. Seçilen ham ivme kayıtları ile basit ölçeklendirme yöntemine göre ölçeklenmiş ivme kayıtlarının karşılaştırılması

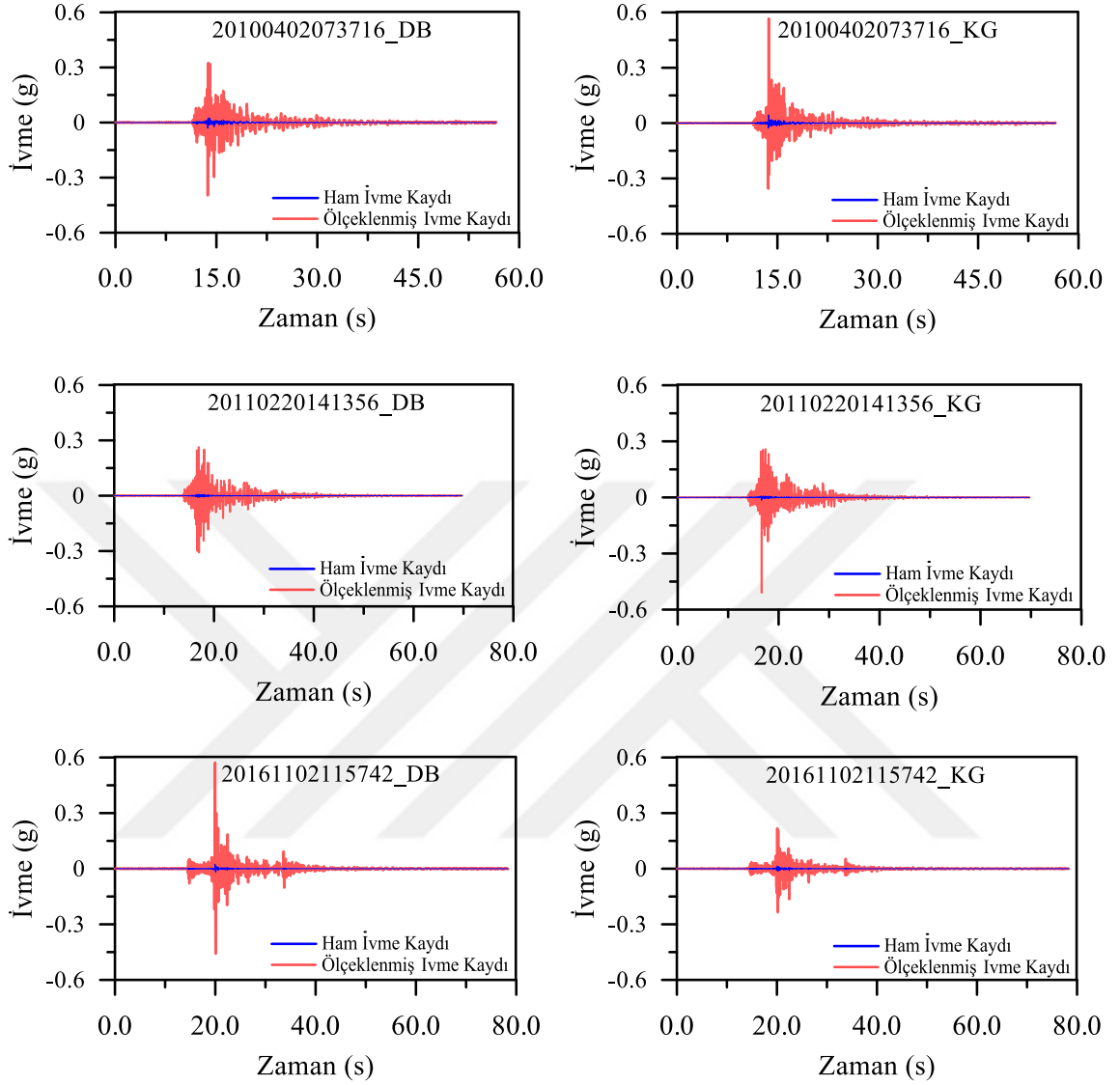
Şekil 2.13'ün devamı



Şekil 2.13'ün devamı

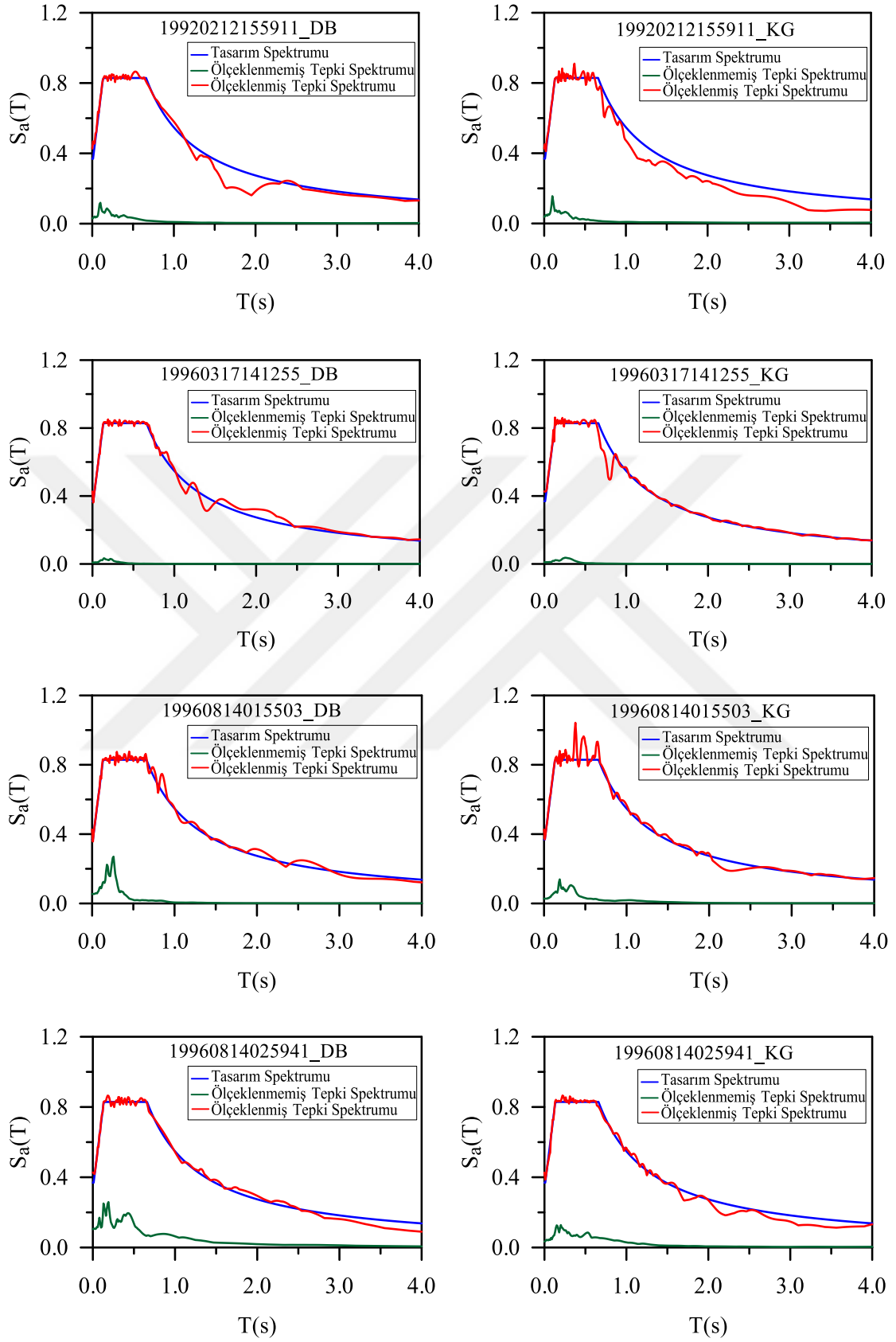


Şekil 2.13'ün devamı



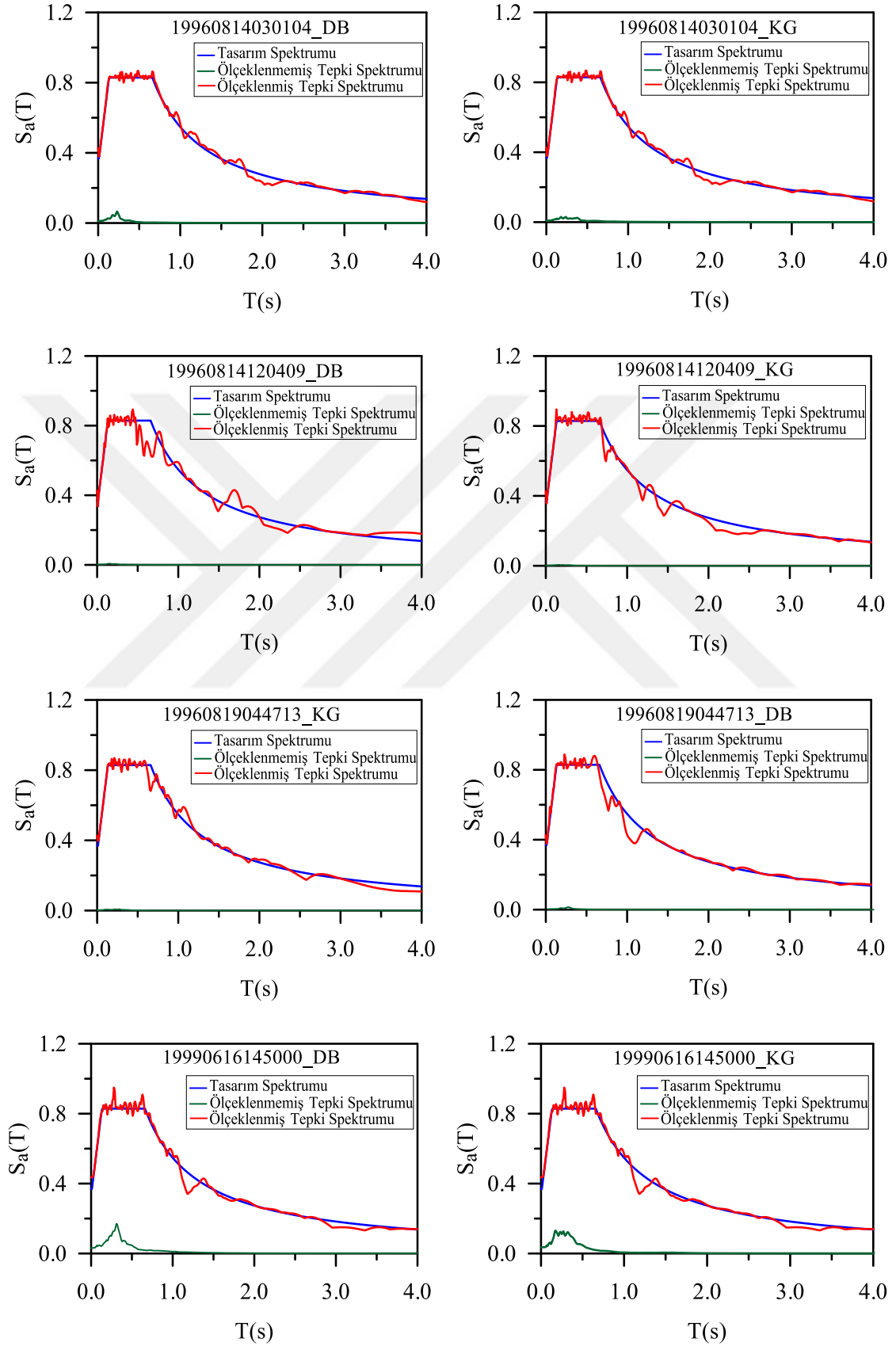
#### 2.4.3. Gerçek Deprem Kayıtlarının Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürülmesi

Ölçeklendirilecek gerçek deprem kaydının hedef tasarım spektrumu ile aynı sönüm oranına sahip davranış spektrumunun, hedef tasarım spektrumu ile oranının frekans ortamında filtrelenmesi esasına dayanan bu yöntemin uygulanmasında SeismoMatch programı kullanılmıştır. Her bir deprem kaydı takımına ait iki yatay bileşen için kendi ivme tepki spektrumları elde edilerek ölçeklendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yer hareketi kayıtlarının yatay bileşenlerine ait ham tepki spektrumu, ölçeklenmiş tepki spektrumu ve hedef tasarım spektrumu ile arasındaki ilişki Şekil 2.14'de verilmiştir.

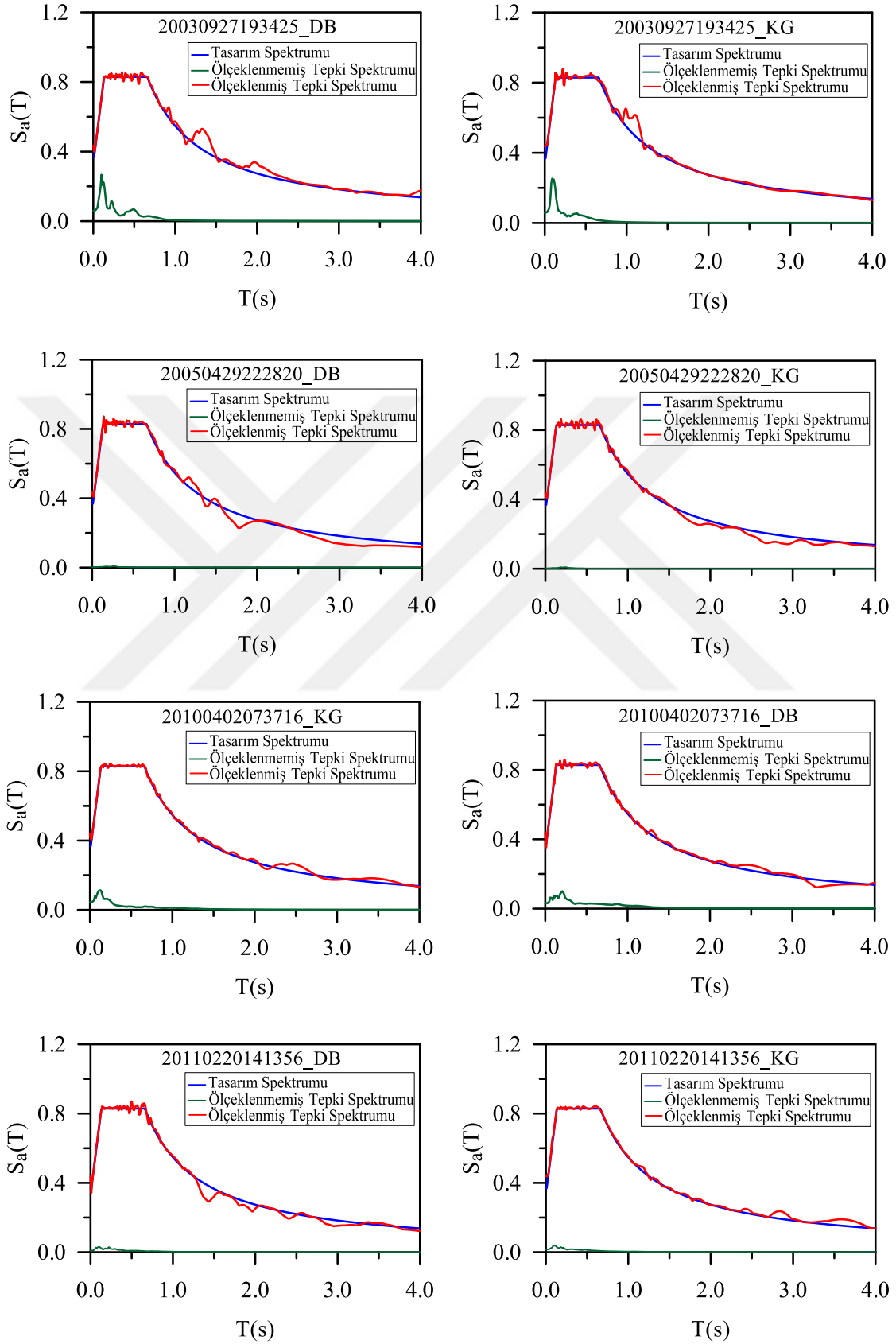


Şekil 2.14. İvme kayıtlarına ait ham ve spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklenmiş tepki spektrumlarının hedef tasarım spektrumu ile karşılaştırılması

Şekil 2.14'ün devamı

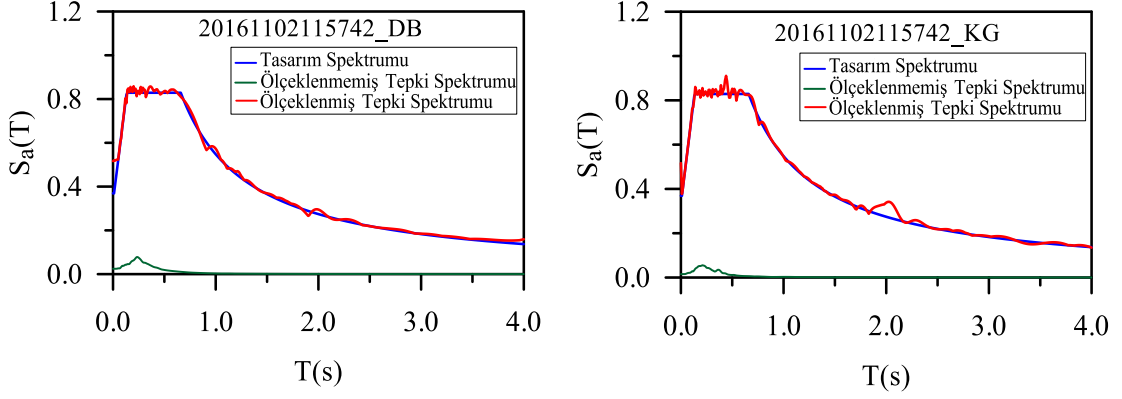


Şekil 2.14'ün devamı

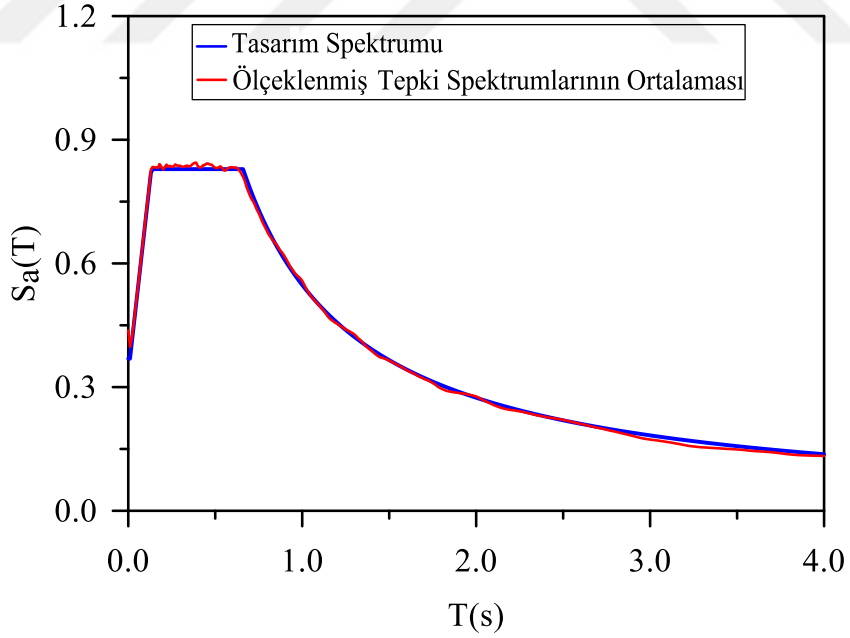




Şekil 2.14'ün devamı

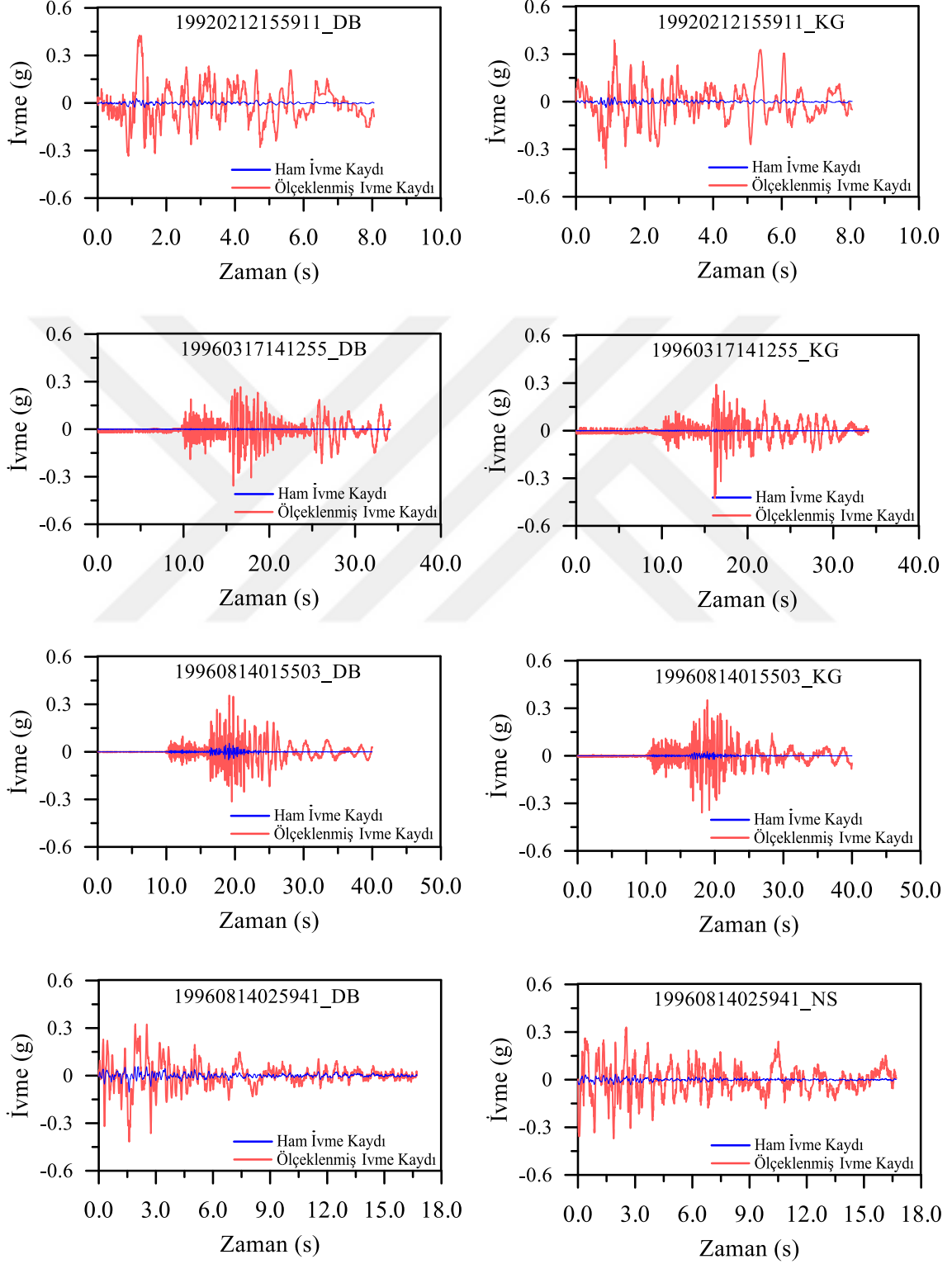


TBDY-2018'e göre spektral uyumu sağlamak için ölçeklendirilen tüm kayıtlara ait tepki spektrumlarının ortalamasının ordinat değerleri, tüm periyotlar için hedef tasarım spektrumunun ordinat değerlerinden küçük olmamalıdır. Tüm kayıtların ölçeklendirilmiş tepki spektrumlarının ortalaması ile hedef tasarım spektrumunun karşılaştırılması Şekil 2.15'de verilmiştir.



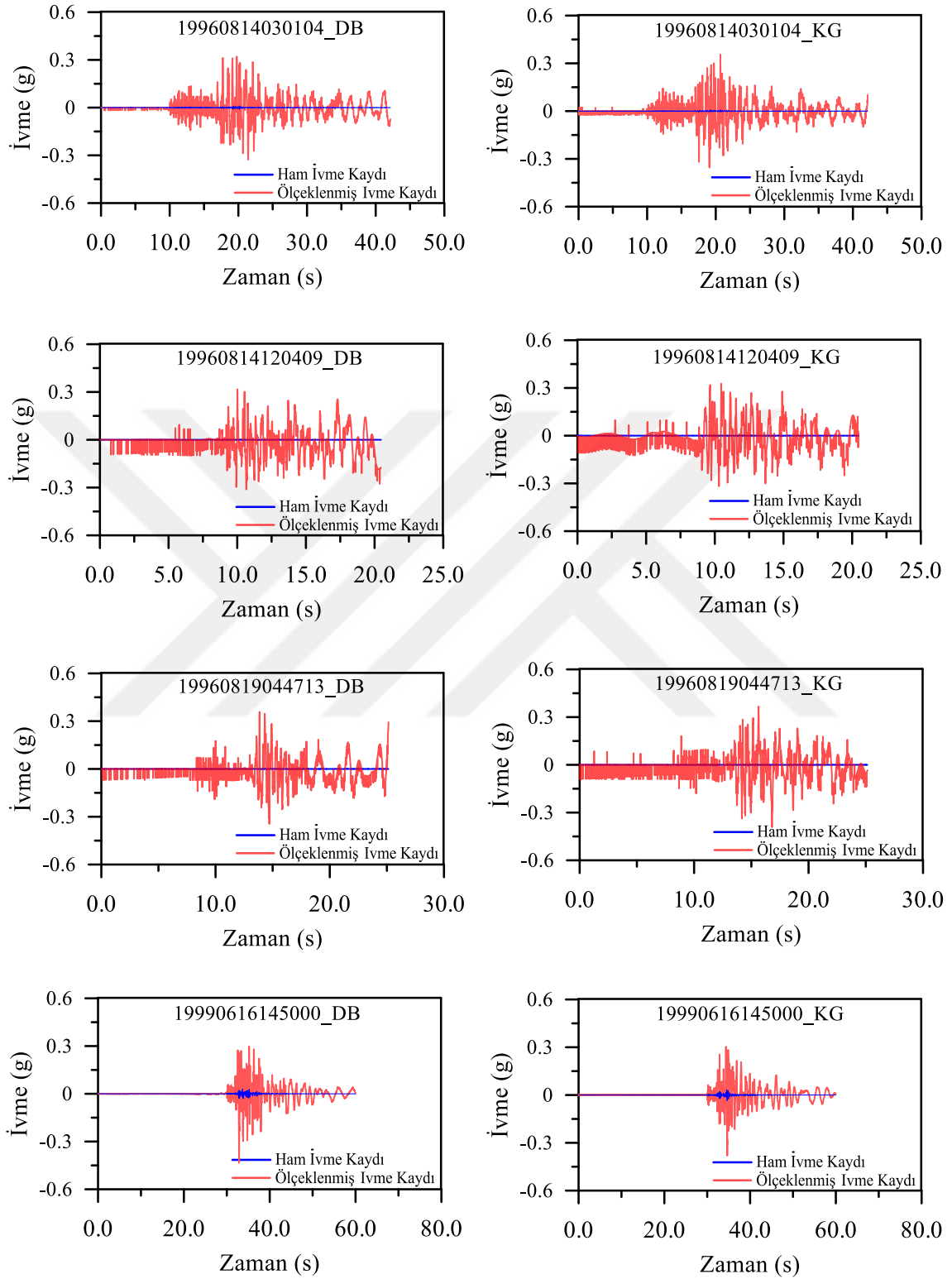
Şekil 2.15. Spektral uyumu sağlamak için ölçeklendirilmiş tepki spektrumlarının ortalamasının, hedef tasarım spektrumu ile karşılaştırılması

Her bir deprem kaydının yatay bileşenlerine ait ham ve spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirilmiş halinin karşılaştırılması Şekil 2.16'da verilmiştir.

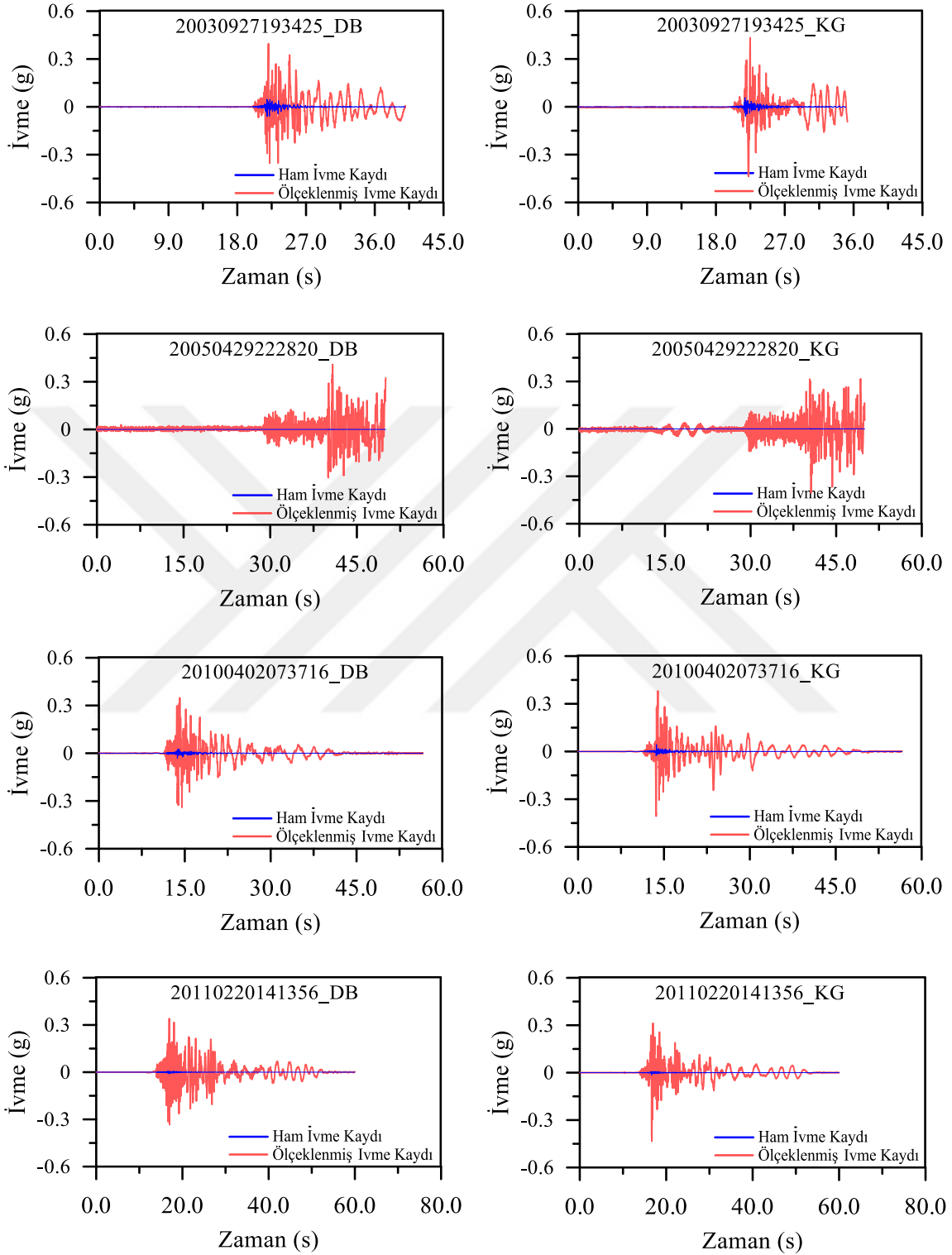


Şekil 2.16. Seçilen ham ivme kayıtları ile spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklenmiş ivme kayıtlarının karşılaştırılması

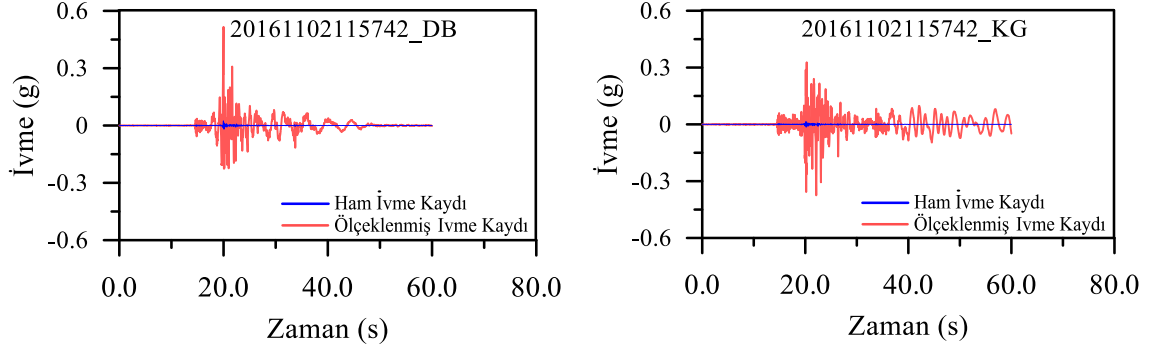
Şekil 2.16'nın devamı



Şekil 2.16'nın devamı



Şekil 2.16'nın devamı



## 2.5. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Dinamik Analizlerin Gerçekleştirilmesi

Bu bölümde, TBDY-2018'de belirtilen ölçeklendirme yöntemlerine göre ölçeklendirilmiş farklı yer hareketi kayıtlarının yatay doğrultuda tek ve çift yönde uygulanması durumları dikkate alınarak saat kulesinin doğrusal dinamik davranışı irdelenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal dinamik analizlerde ANSYS programı kullanılmış ve ölçeklendirilmiş kayıtlar arasından seçilen yedi farklı kayıt takımının yatay bileşenleri tek ve çift doğrultuda yapıya uygulanmıştır. Farklı yöntemlerle elde edilen ve uygulanan kayıtlar altında yapının yer değiştirme, asal gerilme, asal şekil değiştirme değerleri ve kontur diyagramları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmış ve uygulanan yöntemlerin yapının dinamik davranışı üzerindeki etkileri yorumlanmıştır.

### 2.5.1. Basit Ölçeklendirme Yöntemi ile Elde Edilen Yer Hareketi Kayıtlarının Yatayda Tek Doğrultuda Uygulanması

Saat kulesinin doğrusal dinamik analizlerinde kullanılmak üzere basit ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen yer hareketi kayıtlarından ölçeklendirme katsayısı yirmiden küçük olan yedi yer hareketi takımı seçilmiştir. Bu takımların doğrusal dinamik analizlerde tek doğrultuda kullanılacak yatay bileşenleri Tablo 2.7'de verilmiştir. İvme kayıtları, yapıya modal analizler sonucunda elde edilen hakim titreşim doğrultusunda uygulanacaktır.

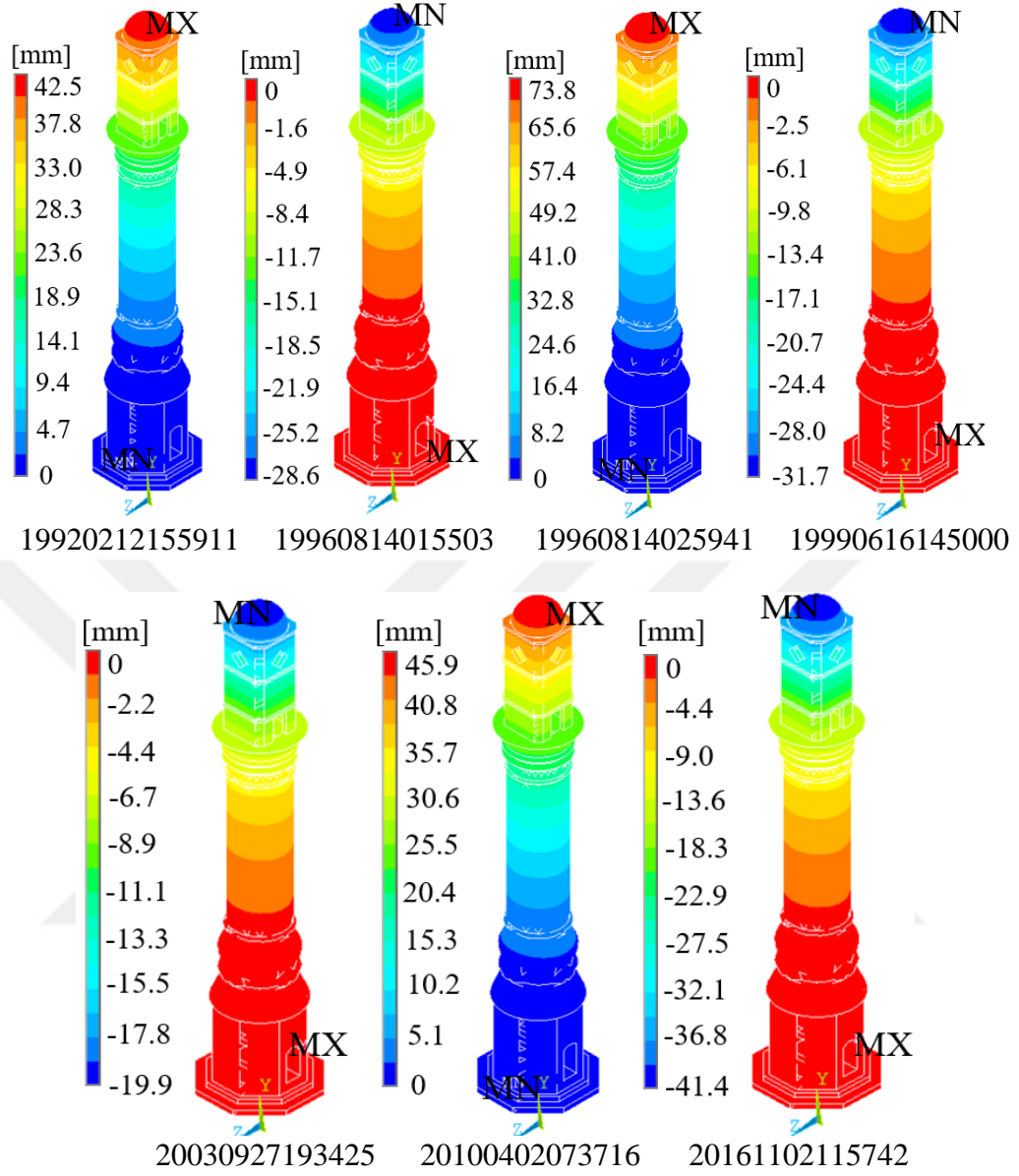
Tablo 2.7. Basit ölçeklendirme yöntemi sonucu doğrusal dinamik analizler için tek doğrultuda seçilen yatay bileşenler

Analiz Numarası	Kayıt No	1.Mod Yönünde Yatay Bileşen (X yönü)	Ölçeklendirme Katsayısı (a <sub>ST</sub> )
1	DK1-19920212155911	K-G	11.944
2	DK2-19960814015503	D-B	6.139
3	DK3-19960814025941	D-B	5.621
4	DK4-19990616145000	K-G	7.402
5	DK5-20030927193425	K-G	5.562
6	DK6-20100402073716	K-G	12.706
7	DK7-20161102115742	D-B	15.641

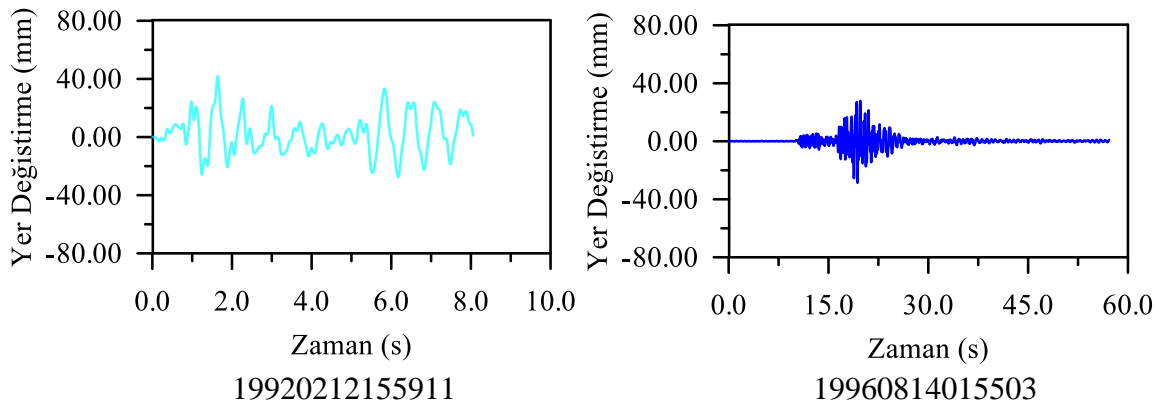
DK: Deprem Kaydı

### 2.5.1.1. Yer Değiştirmeler

Tablo 2.7’de verilen yer hareketi kayıtları ile gerçekleştirilen zaman tanım alanında analizler sonucunda her bir kayıt için elde edilen maksimum yer değiştirme kontur diyagramları Şekil 2.17’de verilmiştir. Maksimum yer değiştirme tüm kayıtlar için saat kulesinin tepe noktasında meydana gelmiştir. En büyük yer değiştirme değeri DK1’in K-G bileşeninin hakim titreşim doğrultusunda uygulanması sonucu 73.8mm olarak elde edilmiştir. Analizlerde kullanılan diğer kayıtlar için maksimum yer değiştirme değerlerinin 19.9mm ile 45.9mm arasında değiştiği ve yükseklik boyunca arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen maksimum yer değiştirme-zaman grafikleri her bir ivme kaydı için Şekil 2.18’de verilmiştir.

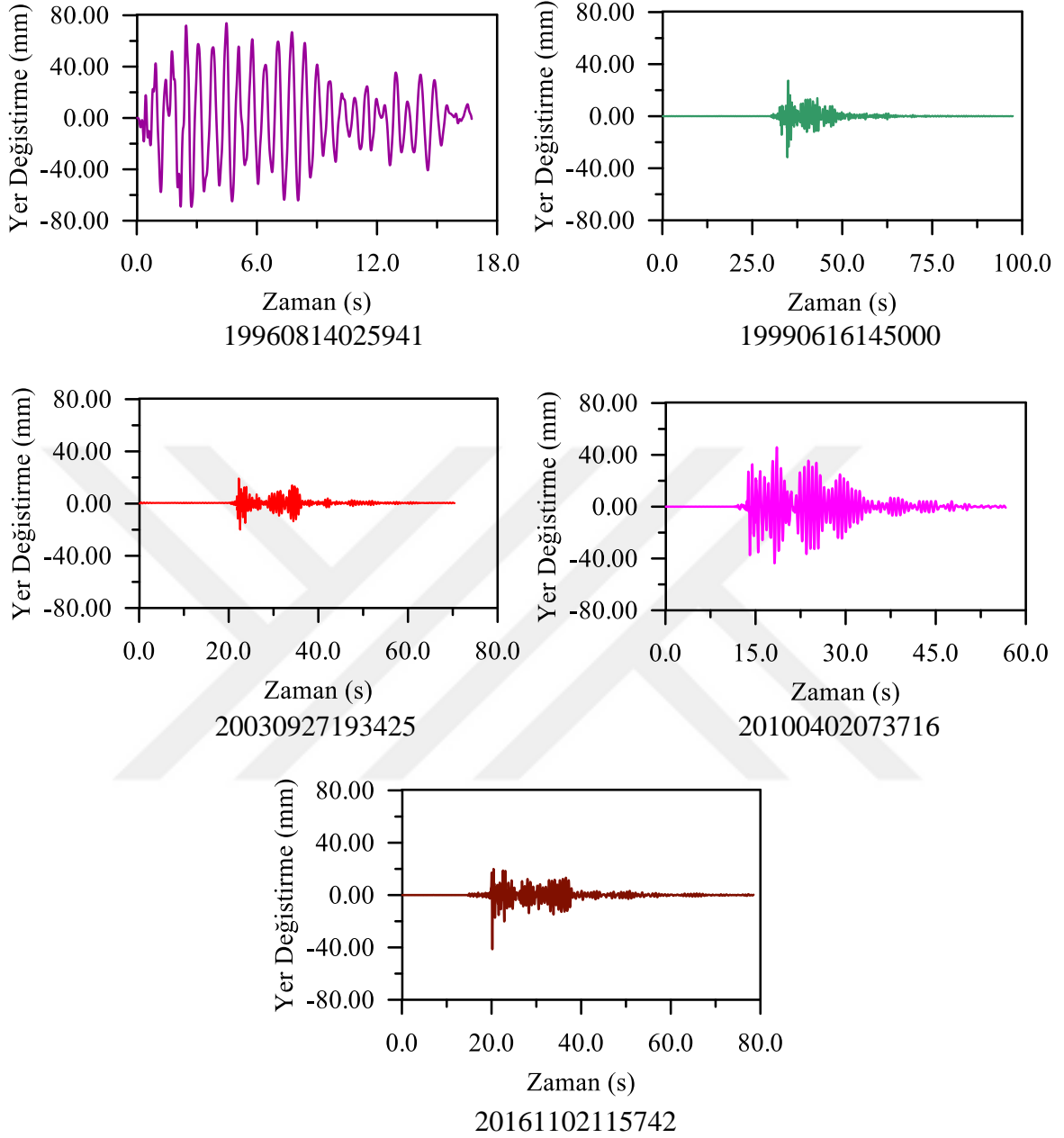


Şekil 2.17. Maksimum yer değiştirme kontur diyagramları



Şekil 2.18. Maksimum yer değiştirmelerin zamanla değişimi

Şekil 2.18'in devamı

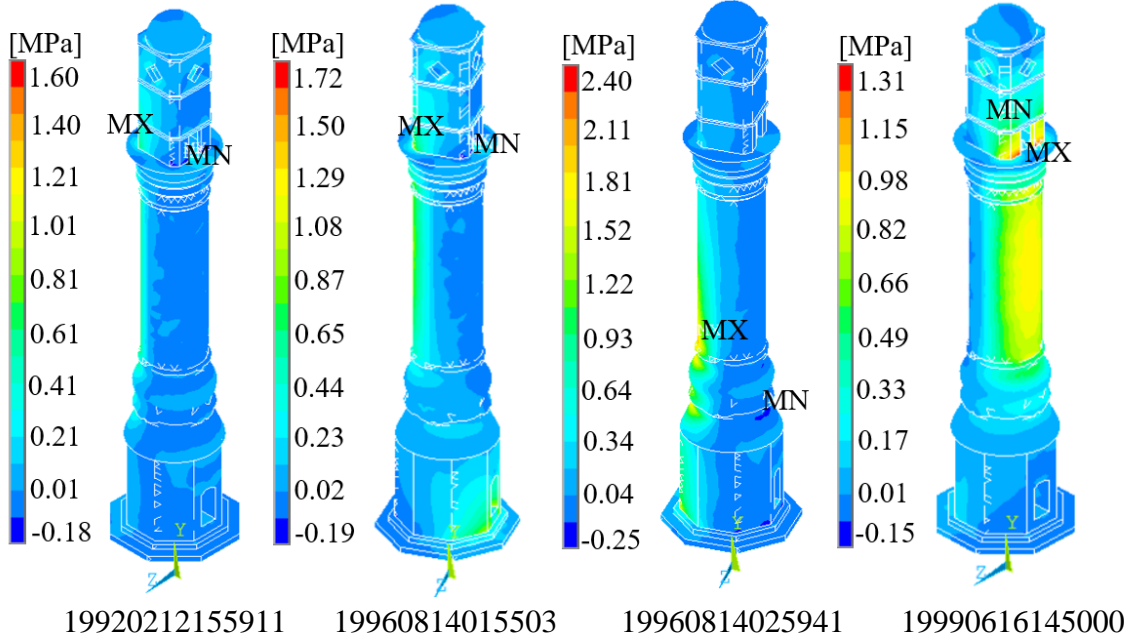


### 2.5.1.2. Asal Gerilmeler

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen maksimum asal gerilme (çekme gerilmesi) kontur diyagramları Şekil 2.19'da verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, maksimum asal gerilmeler uygulanan yer hareketi kaydına göre değişiklik göstermekte olup yapı üst gövdesinde ve kaide ile silindirik gövde arasındaki geçiş bölgesinde oluşmaktadır. Gerçekleştirilen dinamik

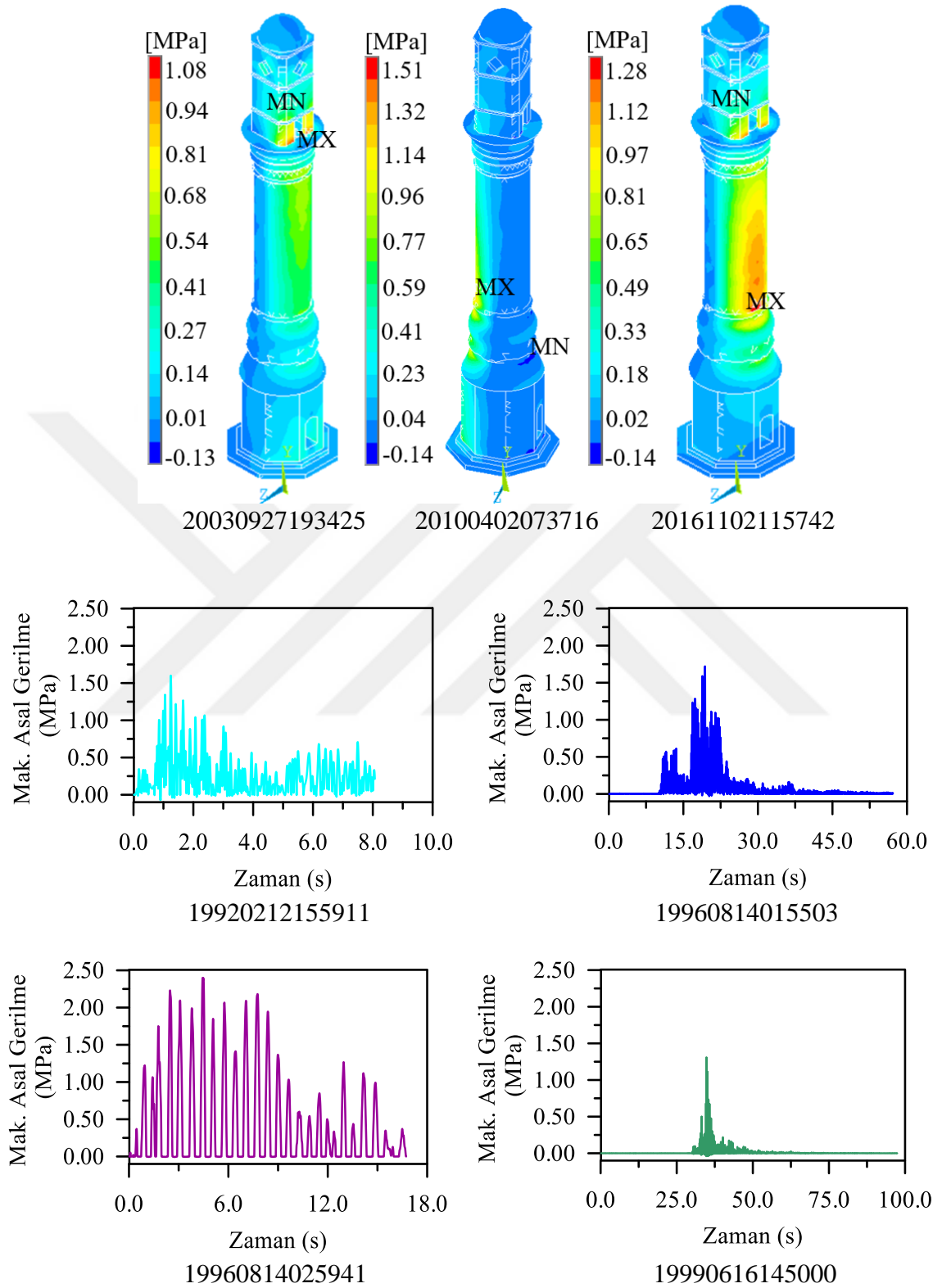


analizlerde en büyük çekme gerilmesi değeri, DK3'ün uygulanması sonucu yapı geçiş bölgesinde 2.40MPa olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler, yapı silindirik gövdesinde yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca azalış göstermektedir. DK4 ve DK5'in uygulanması sonucu maksimum asal gerilme değerleri sırasıyla 1.31MPa ve 1.08MPa olup yapı üst gövdesindeki kapı kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler, kapının bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve yükseklik boyunca azalmaktadır. DK1 ve DK3'ün uygulanması sonucu maksimum asal gerilme değerleri sırasıyla 1.60MPa ve 1.72MPa olup yapı üst gövdesinde meydana gelmiştir ve gerilme dağılımları silindirik gövde boyunca azalış göstermektedir. DK6 ve DK7'nin uygulanması sonucunda ise 1.51MPa ve 1.28MPa olarak elde edilen maksimum asal gerilmeler, yapı geçiş bölgesinde meydana gelmiştir ve gerilme dağılımları silindirik gövde boyunca azalış göstermektedir. Maksimum asal gerilmeler için tüm analizlerden elde edilen zaman geçmişi grafikleri Şekil 2.20'de verilmiştir.



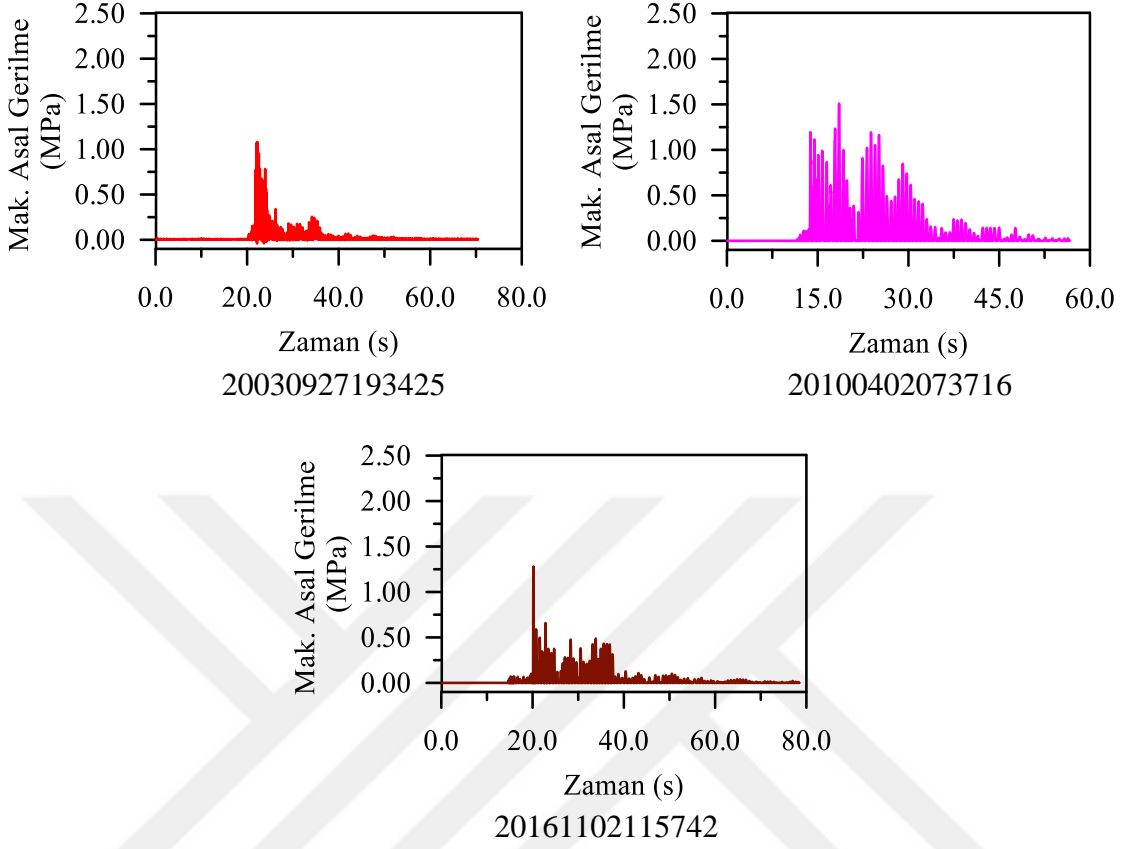
Şekil 2.19. Maksimum asal gerilme kontur diyagramları

Şekil 2.19'un devamı



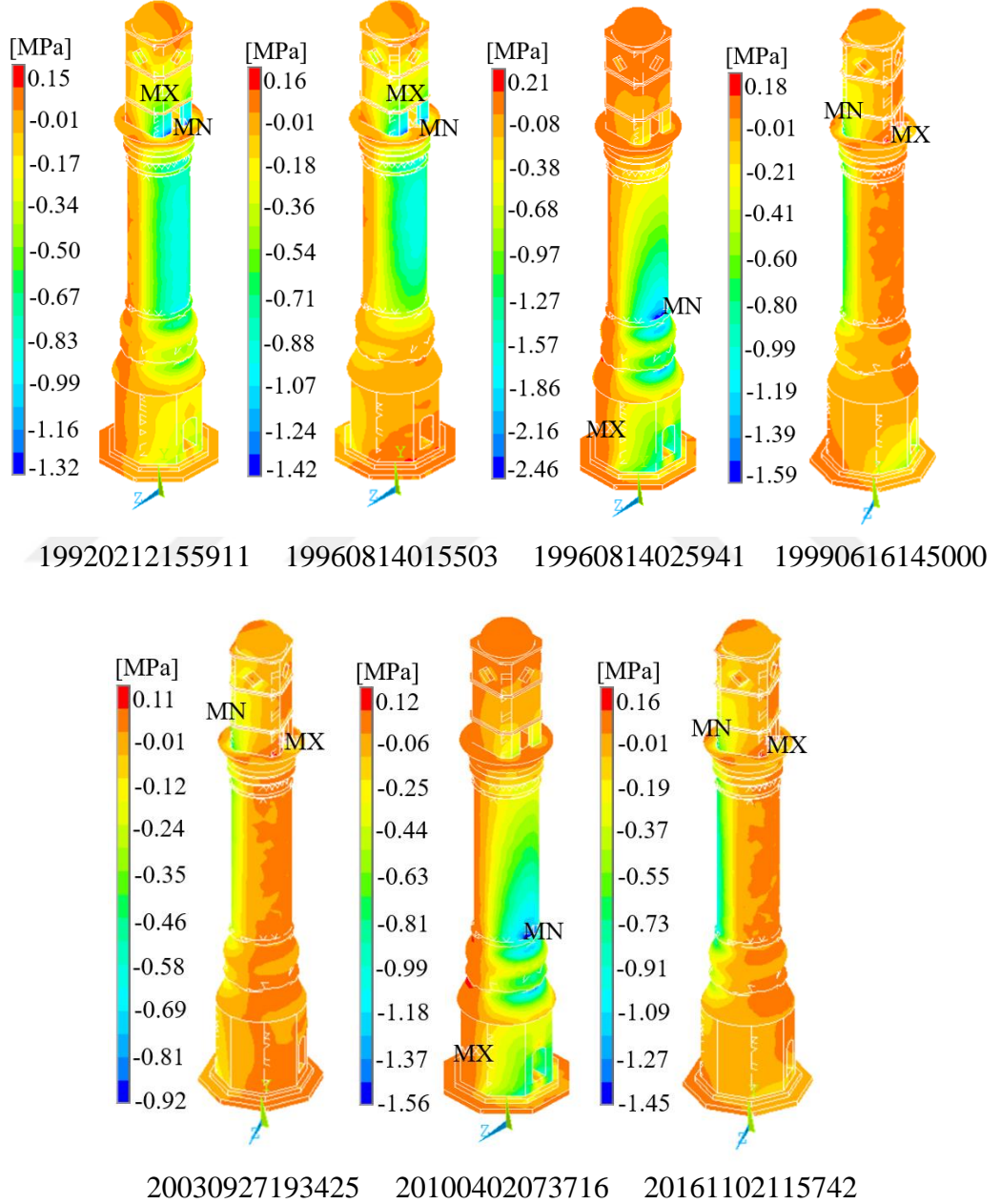
Şekil 2.20. Maksimum asal gerilmelerin zamanla değişimi

Şekil 2.20'nin devamı

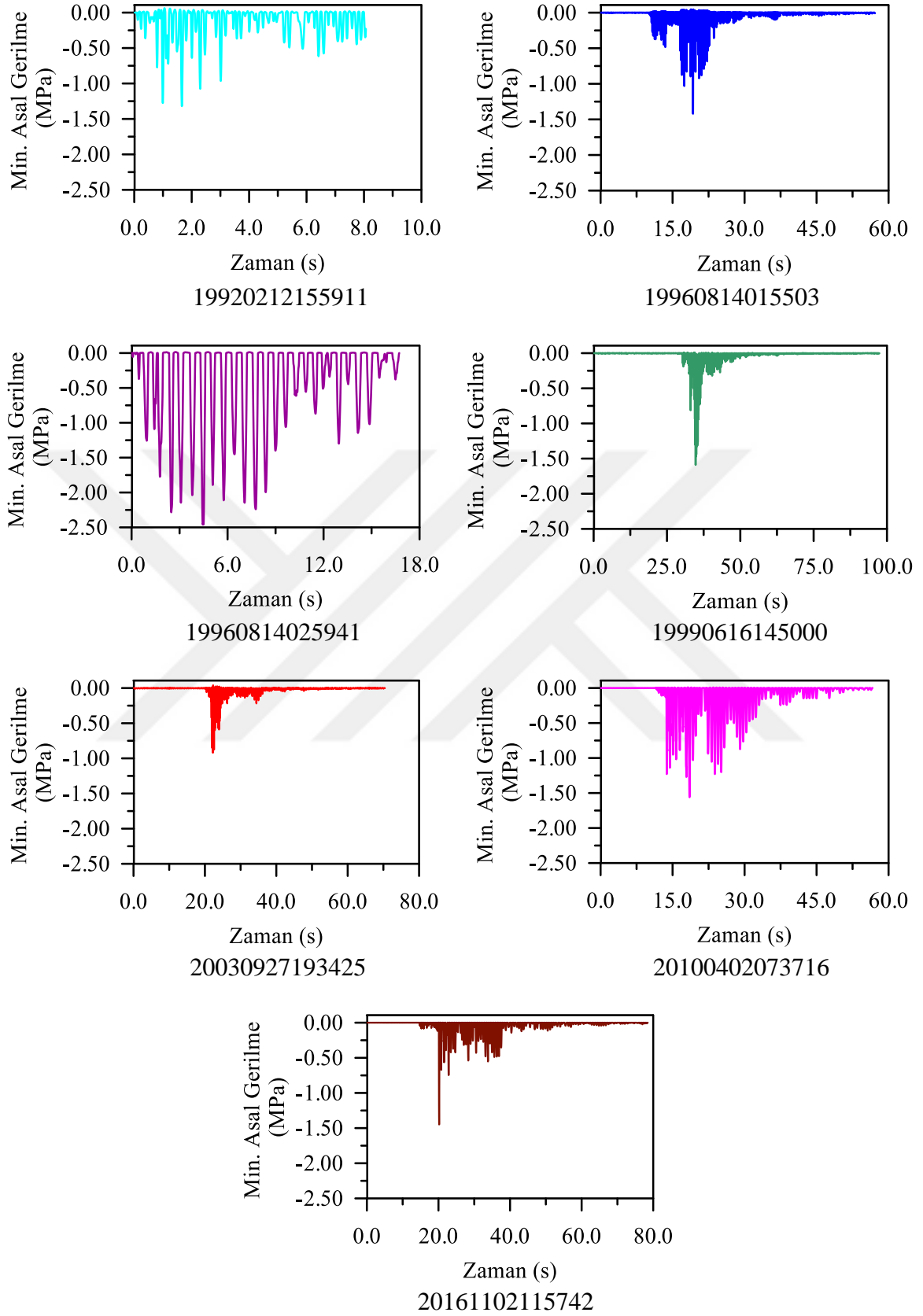


Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen minimum asal gerilme (basınç gerilmesi) kontur diyagramları Şekil 2.21'de verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, minimum asal gerilmeler uygulanan yer hareketi kaydına göre değişiklik göstermekte olup yapı üst gövdesinde ve kaide ile silindirik gövde arasındaki geçiş bölgesinde oluşmaktadır. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde minimum basınç gerilmesi değeri, DK3'ün uygulanması sonucu yapı geçiş bölgesinde 2.46MPa olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler, yapı silindirik gövdesinde ve kaide bölgesindeki giriş kapısı kenarlarında yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca artış göstermektedir. DK1 ve DK2'nin uygulanması sonucu minimum asal gerilme değerleri sırasıyla 1.32MPa ve 1.42MPa olup yapı üst gövdesindeki kapı kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler, kapının bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve yükseklik boyunca artmaktadır. DK5'in uygulanması sonucu minimum asal gerilme değeri, yapı geçiş bölgesinde 1.56MPa olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler, yapı silindirik gövdesinde ve kaide bölgesindeki giriş kapısı kenarlarında yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca artış göstermektedir. DK4,

DK5 ve DK7'nin uygulanması sonucu ise minimum asal gerilme değerleri sırasıyla 1.59MPa, 0.92MPa ve 1.45MPa olup yapı üst gövdesinde meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler, yapı silindirik gövdesinde yoğunlaşmakta ve yükseklik boyunca artmaktadır. Minimum asal gerilmeler için tüm analizlerden elde edilen zaman geçişi grafikleri Şekil 2.22'de verilmiştir.



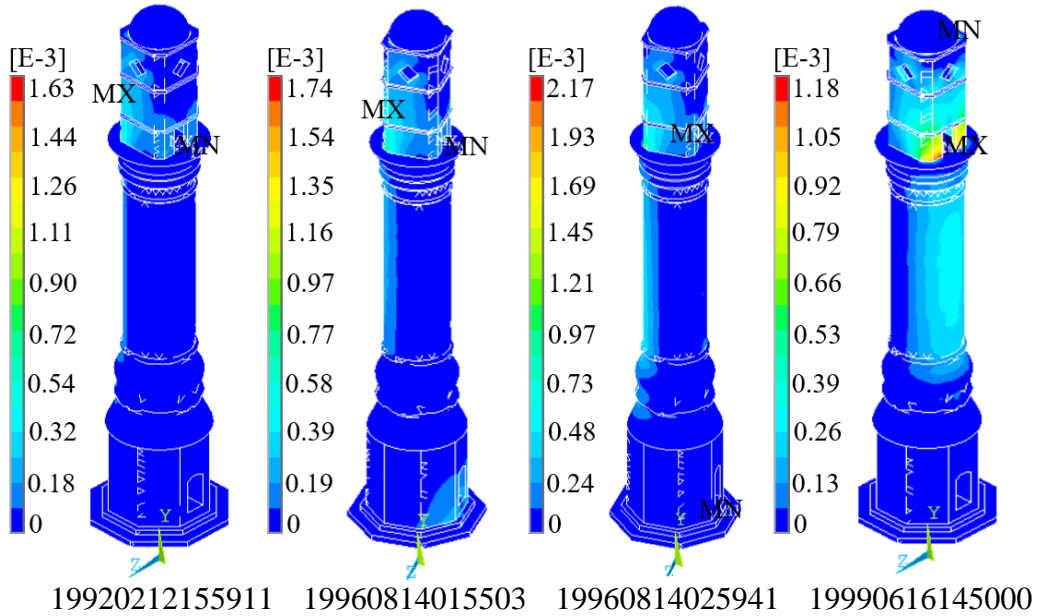
Şekil 2.21. Minimum asal gerilme kontur diyagramları



Şekil 2.22. Minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi

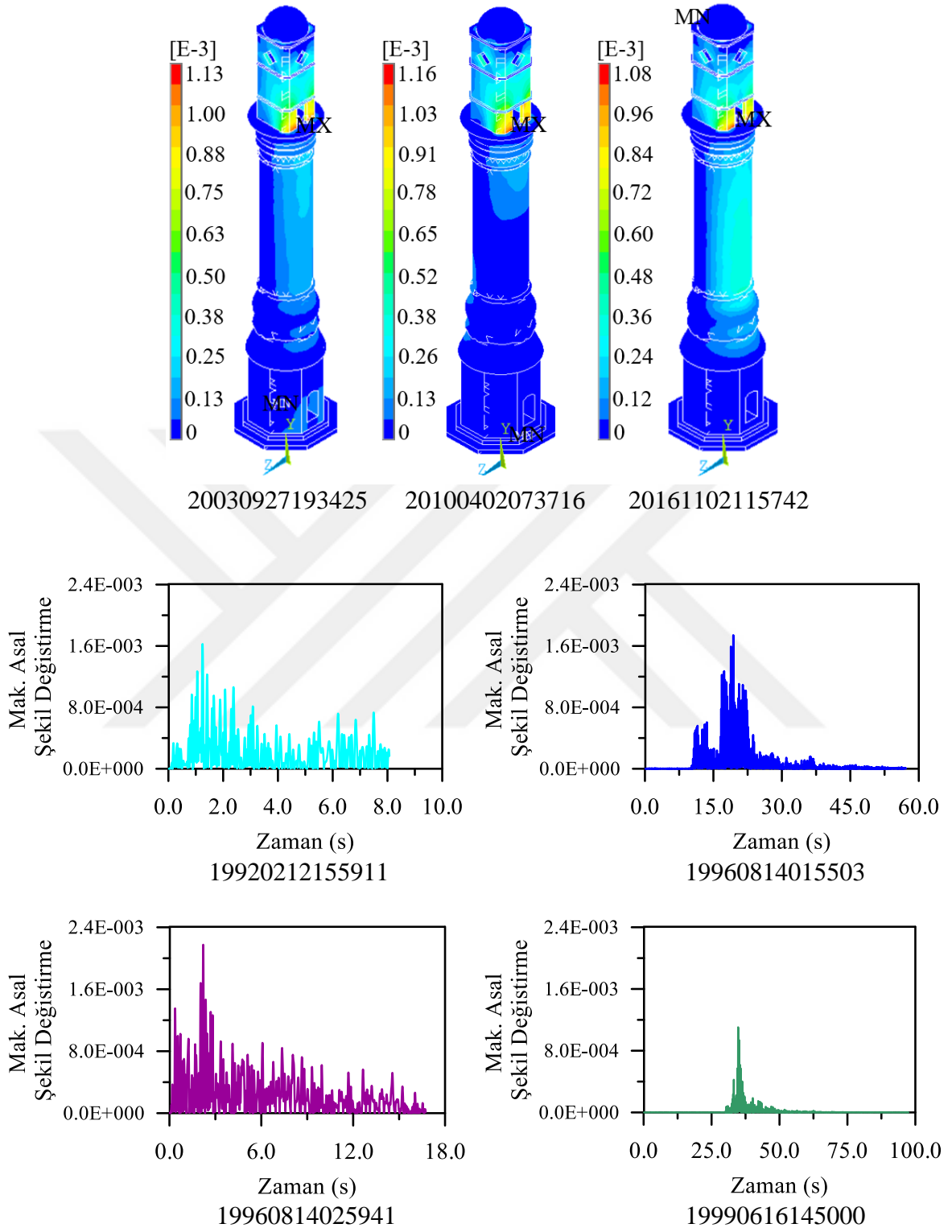
### 2.5.1.3. Asal Şekil Değişiklikleri

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları Şekil 2.23’de verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, maksimum asal şekil değişiklikleri uygulanan tüm yer hareketi kayıtlarında yapı üst gövdesinde oluşmaktadır. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde en büyük asal şekil değiştirme değeri, DK3’ün uygulanması sonucu yapı üst gövdesinde  $2.17E-3$  olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki şekil değişiklikleri, yapı silindirik gövdesinde yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca azalış göstermektedir. DK4, DK5, DK6 ve DK7’nin uygulanması sonucu maksimum asal şekil değiştirme değerleri sırasıyla  $1.18E-3$ ,  $1.13E-3$ ,  $1.16E-3$  ve  $1.08E-3$  olup yapı üst gövdesindeki kapı kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricindeki şekil değişiklikleri, kapının bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve yükseklik boyunca azalmaktadır. DK1 ve DK2’nin uygulanması sonucu ise maksimum asal şekil değiştirme değerleri  $1.63E-3$  ve  $1.74E-3$  olup yapı üst gövdesinde meydana gelmiştir. Maksimum asal şekil değişiklikleri için tüm analizlerden elde edilen zaman geçmişi grafikleri Şekil 2.24’de verilmiştir.



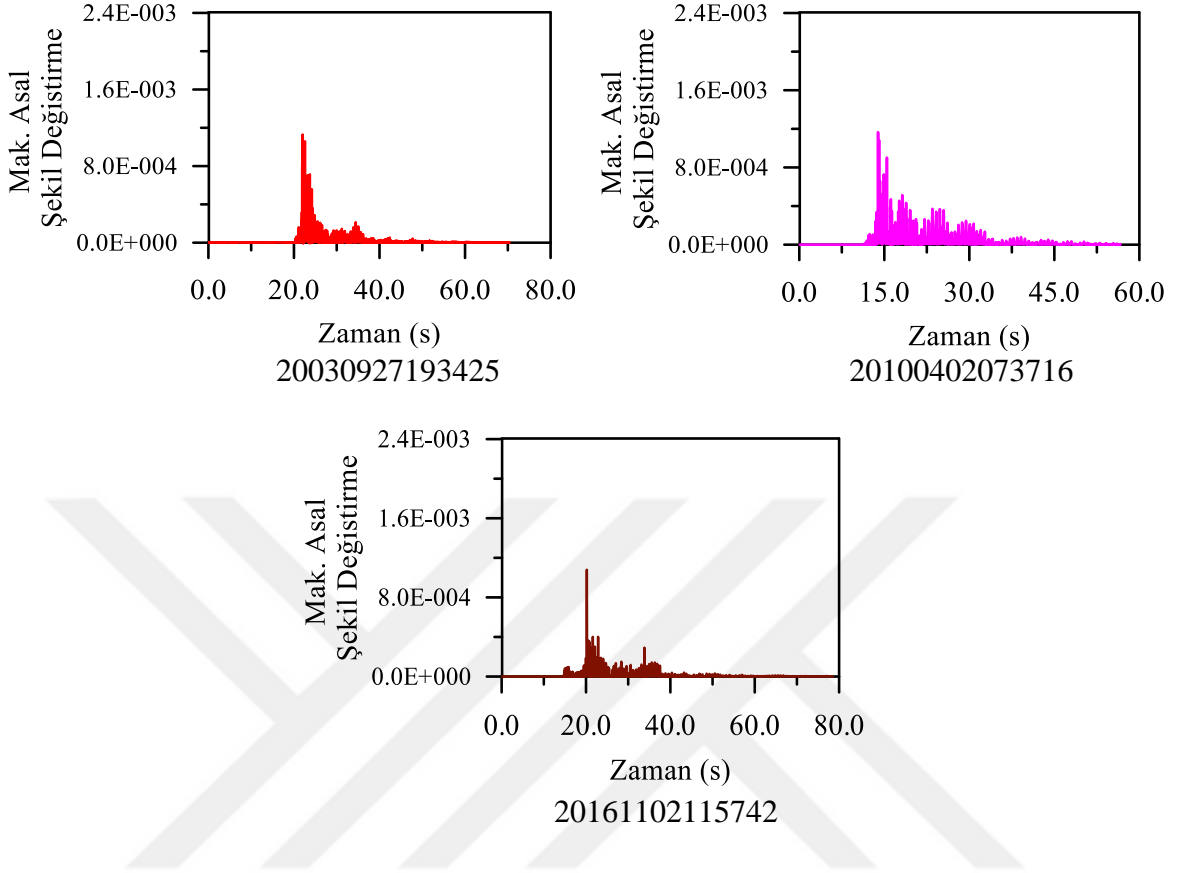
Şekil 2.23. Maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları

Şekil 2.23'ün devamı



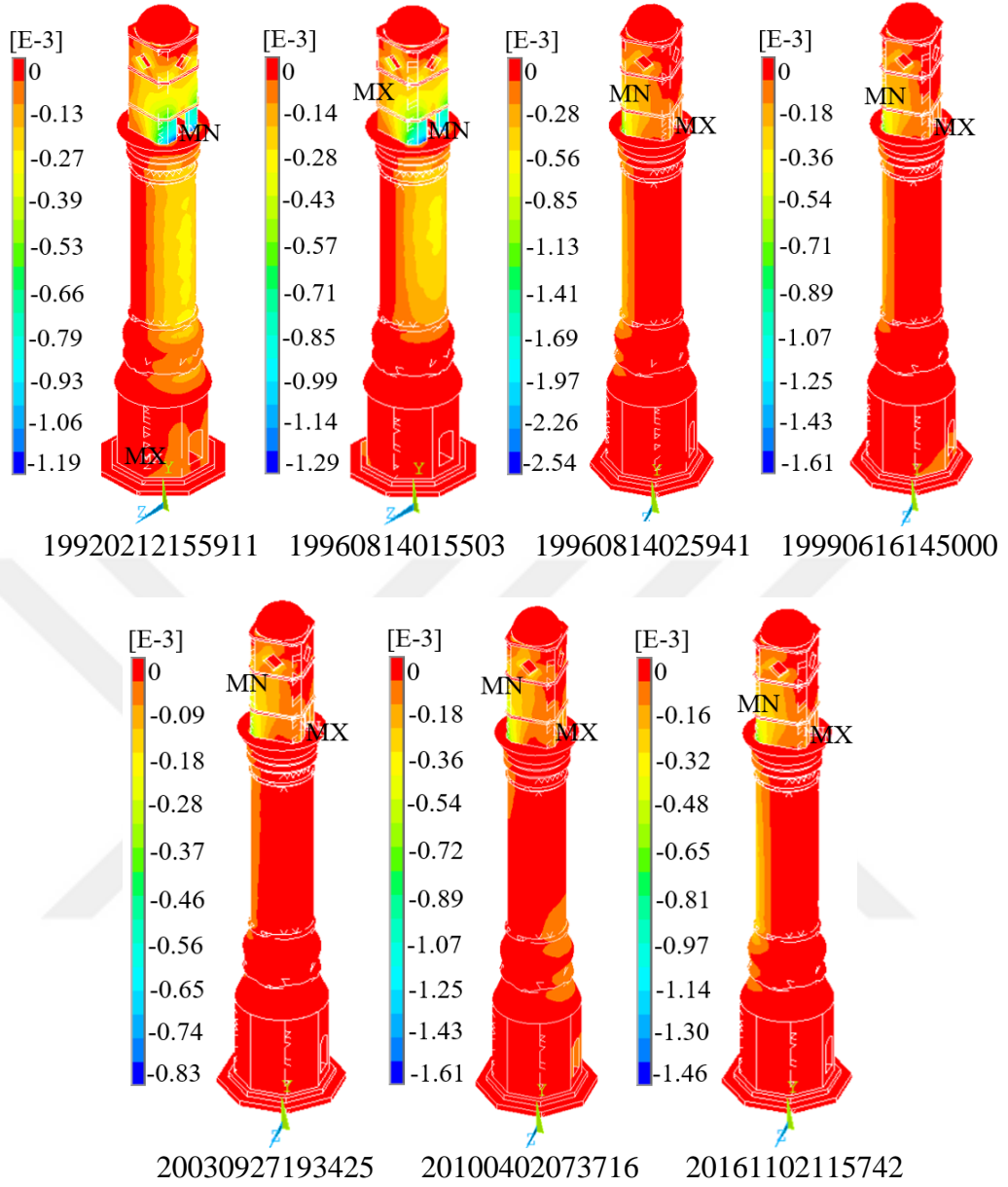
Şekil 2.24. Maksimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi

Şekil 2.24'ün devamı

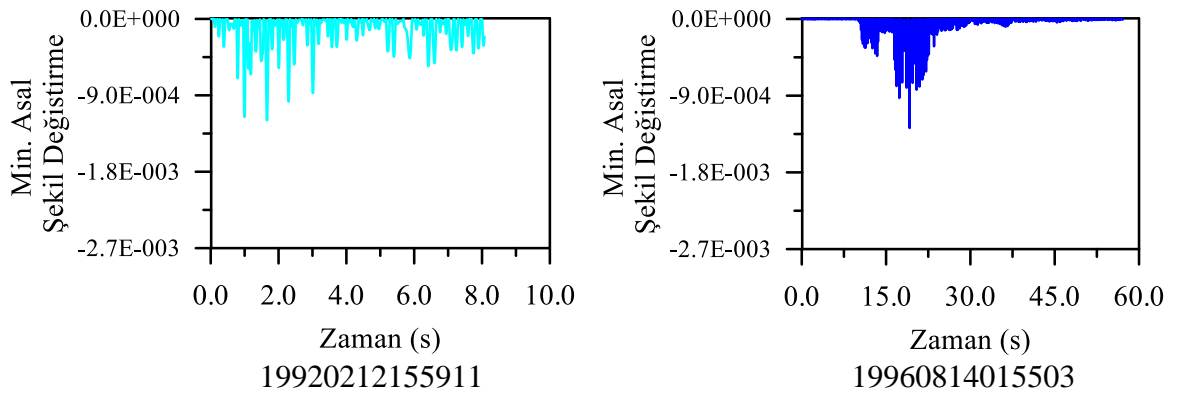


Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları Şekil 2.25'de verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, minimum asal şekil değiştirmeler uygulanan tüm yer hareketi kayıtlarında yapı üst gövdesinde oluşmaktadır. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde en küçük asal şekil değiştirme değeri, DK3'ün uygulanması sonucu yapı üst gövdesinde  $2.54E-3$  olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki şekil değiştirmeler, yapı silindirik gövdesinde yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca artış göstermektedir. DK1 ve DK2'nin uygulanması sonucu minimum asal şekil değiştirme değerleri sırasıyla  $1.19E-3$  ve  $1.28E-3$  olup yapı üst gövdesindeki kapı kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricindeki şekil değiştirmeler, kapının bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve yükseklik boyunca artmaktadır. DK4, DK5, DK6 ve DK7'nin uygulanması sonucu ise minimum asal şekil değiştirme değerleri  $1.61E-3$ ,  $0.83E-3$ ,  $1.61E-3$  ve  $1.46E-3$  olup yapı üst gövdesinde meydana gelmiştir. Minimum asal şekil değiştirmeler için tüm analizlerden elde edilen zaman geçmişi grafikleri Şekil 2.26'da verilmiştir.



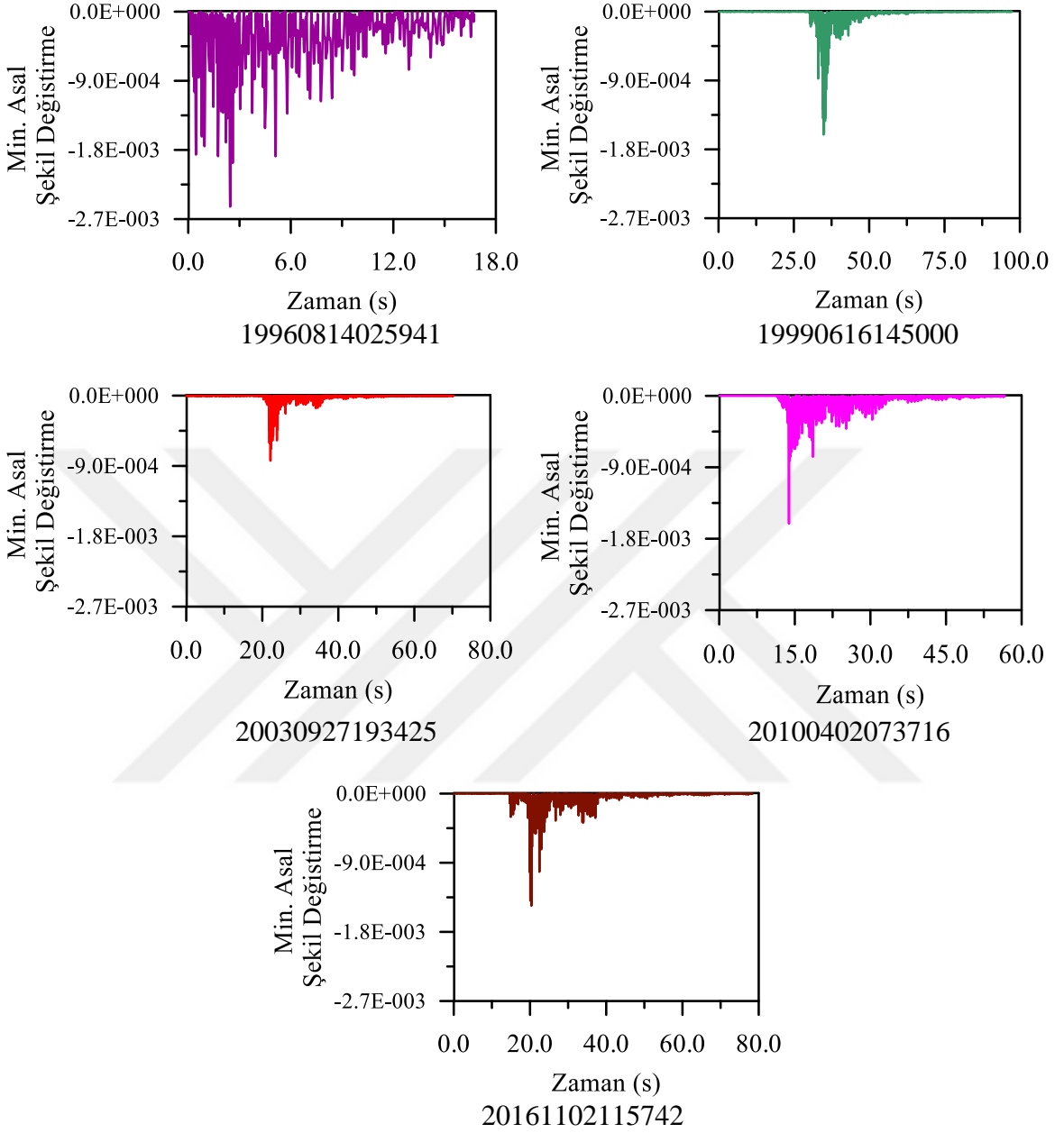


Şekil 2.25. Minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları



Şekil 2.26. Minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi

Şekil 2.26'nın devamı



### 2.5.2. Basit Ölçeklendirme Yöntemi ile Elde Edilen Yer Hareketi Kayıtlarının Yatayda Çift Doğrultuda Uygulanması

Saat kulesinin doğrusal dinamik analizlerinde kullanılmak üzere basit ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen yer hareketi kayıtlarından seçilen yedi kayıt takımına ait yatay bileşenlerin, analizlerde uygulanma yönleri Tablo 2.8'de verilmiştir.

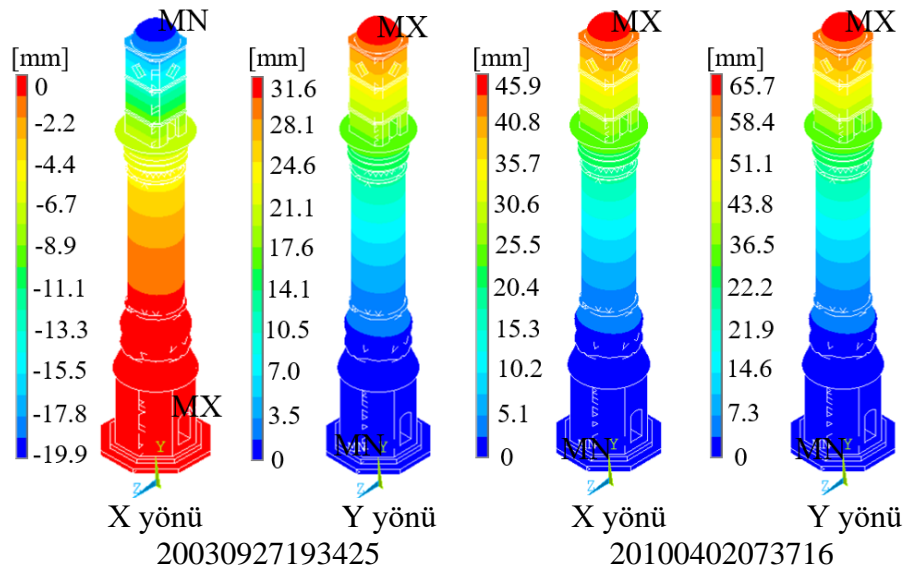
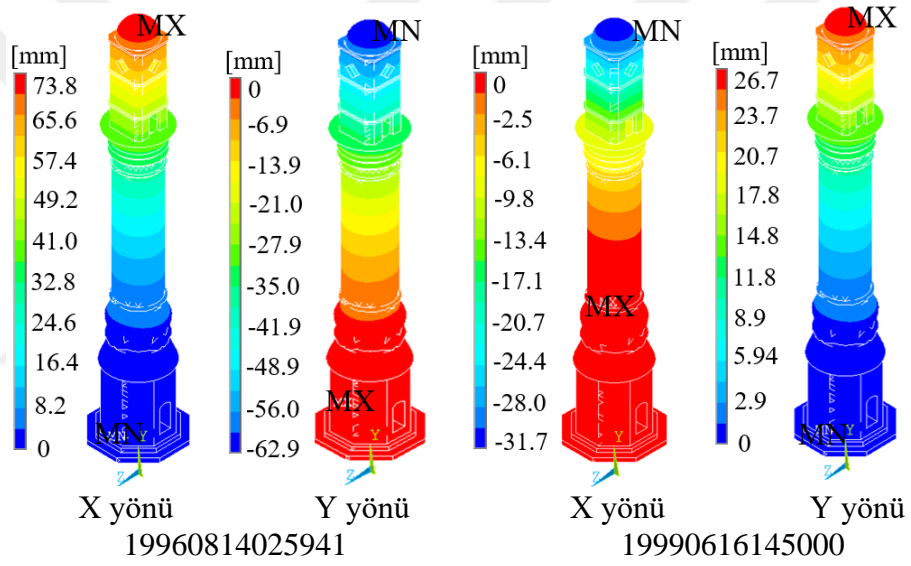
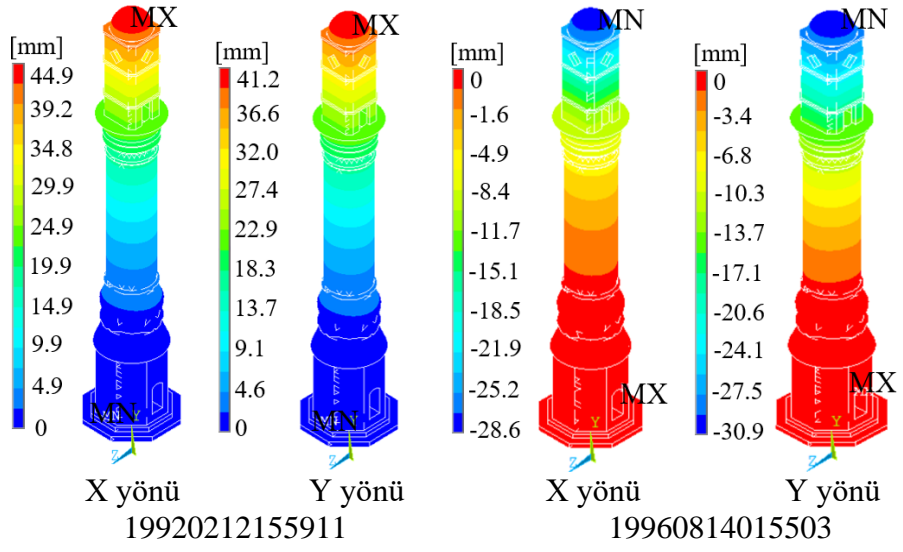
Tablo 2.8. Basit ölçeklendirme yöntemi sonucu doğrusal dinamik analizler için çift doğrultuda seçilen yatay bileşenler

Analiz Numarası	Kayıt No	1.Mod Yönünde Yatay Bileşen (X yönü)	1.Mod Yönüne Dik Yatay Bileşen (Y yönü)	Ölçeklendirme Katsayısı ( $\alpha_T$ )
1	DK1-19920212155911	K-G	D-B	11.944
2	DK2-19960814015503	D-B	K-G	6.139
3	DK3-19960814025941	D-B	K-G	5.621
4	DK4-19990616145000	K-G	D-B	7.402
5	DK5-20030927193425	K-G	D-B	5.562
6	DK6-20100402073716	K-G	D-B	12.706
7	DK7-20161102115742	D-B	K-G	15.641

DK: Deprem Kaydı

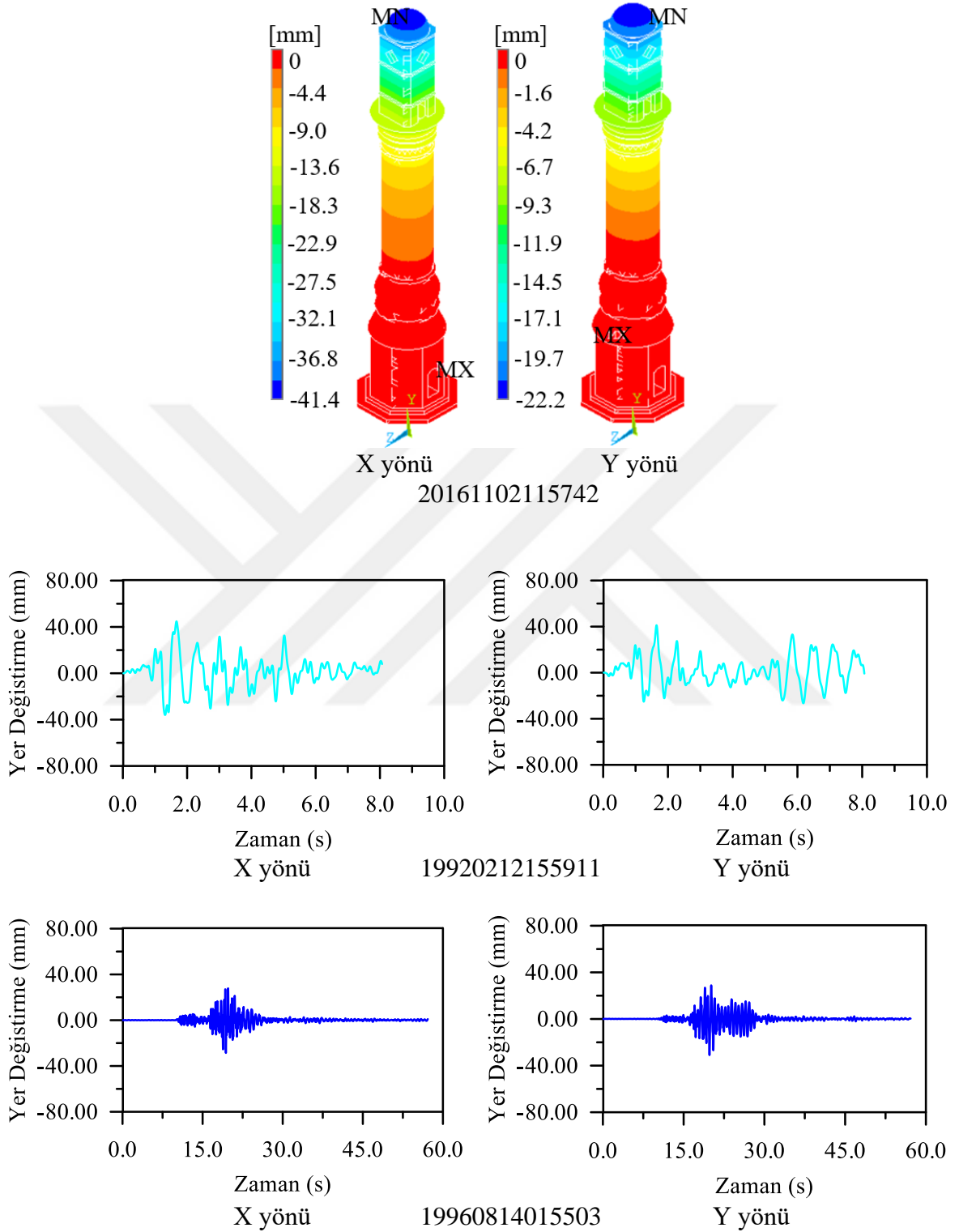
### 2.5.2.1. Yer Değiştirmeler

Tablo 2.8’de verilen yer hareketi kayıtları ile gerçekleştirilen zaman tanım alanında analizler sonucunda her bir kayıt için elde edilen maksimum yer değiştirme kontur diyagramları Şekil 2.27’de verilmiştir. Maksimum yer değiştirme tüm kayıtlar için her iki yönde de saat kulesinin tepe noktasında meydana gelmiştir. En büyük yer değiştirme değeri DK3’ün X yönünde 73.8mm ve Y yönünde 62.9mm olarak elde edilmiştir. Analizlerde kullanılan diğer kayıtlar için maksimum yer değiştirme değerleri X yönünde 19.9mm ile 45.9mm ve Y yönünde 22.2mm ile 65.7mm değerleri arasında değişmektedir. Tüm kayıtlar için yer değiştirme değerlerinin her iki yönde de yükseklik boyunca arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen maksimum yer değiştirme-zaman grafikleri her bir ivme kaydı için Şekil 2.28’de verilmiştir.



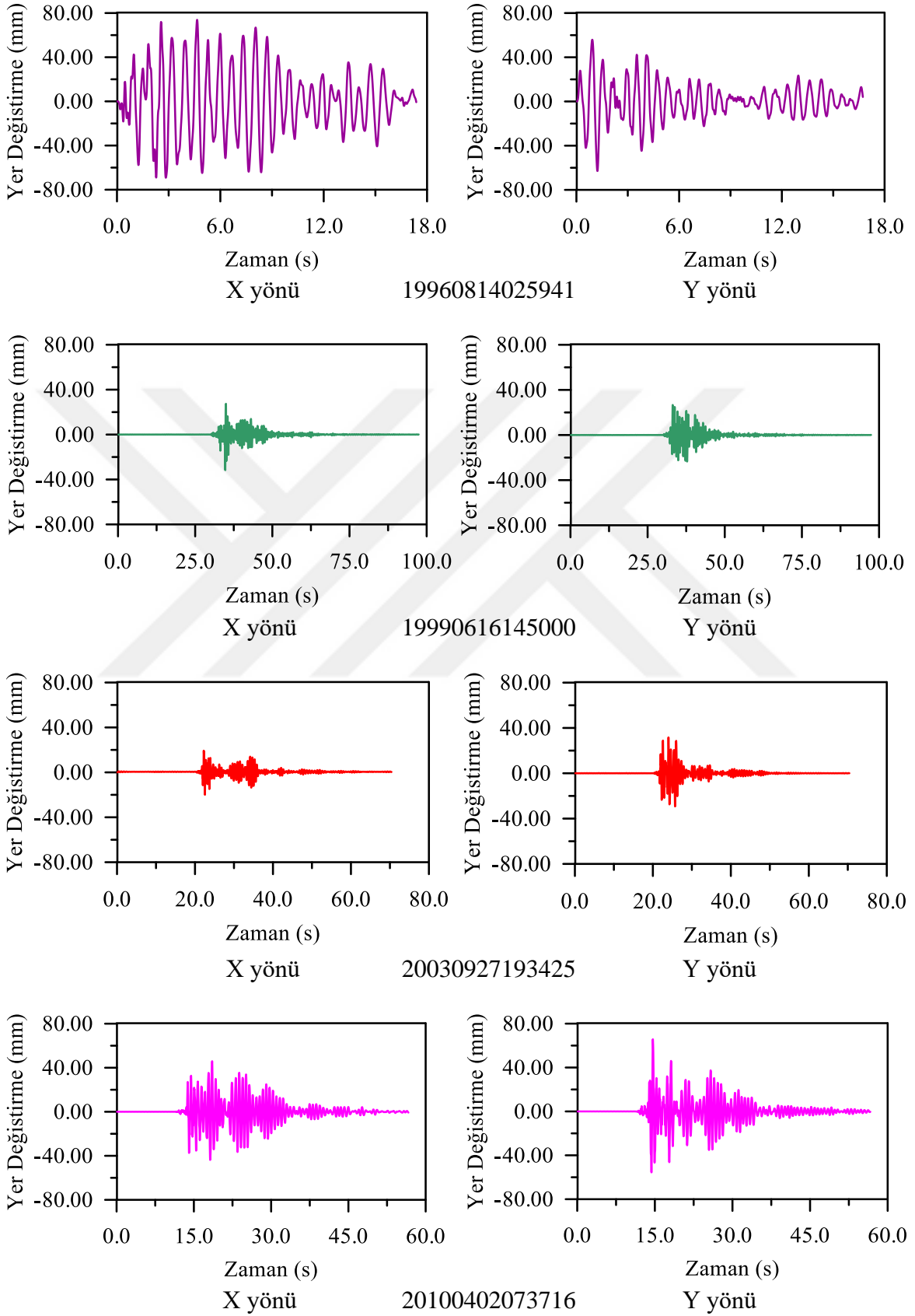
Şekil 2.27. Maksimum yer değiştirme kontur diyagramları

Şekil 2.27'in devamı

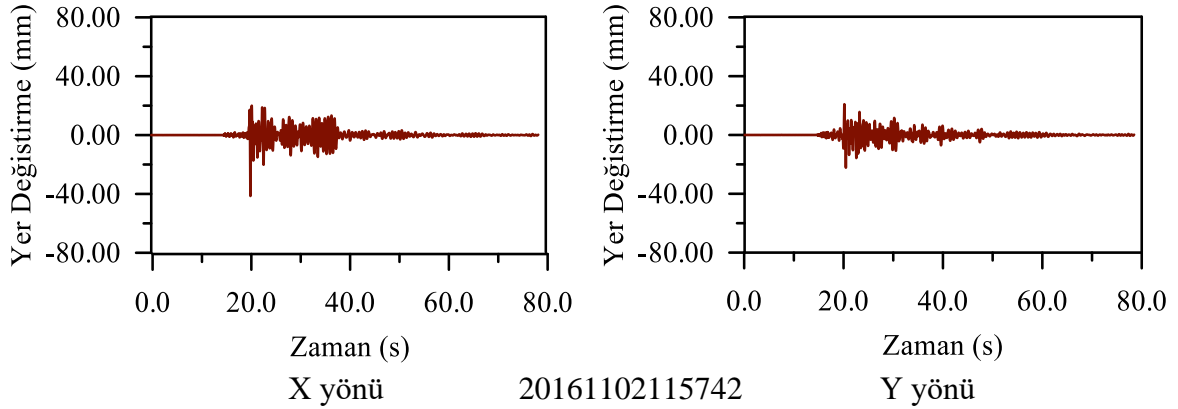


Şekil 2.28. Maksimum yer değiştirmelerin zamanla değişimi

Şekil 2.28'in devamı

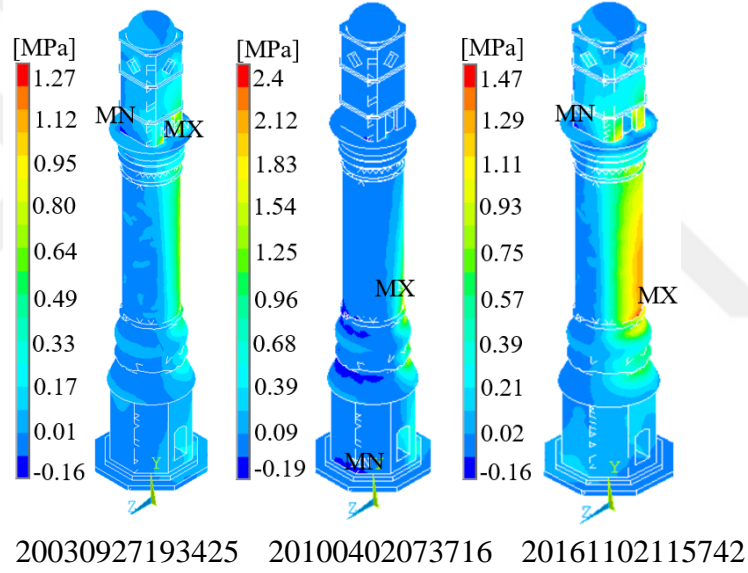
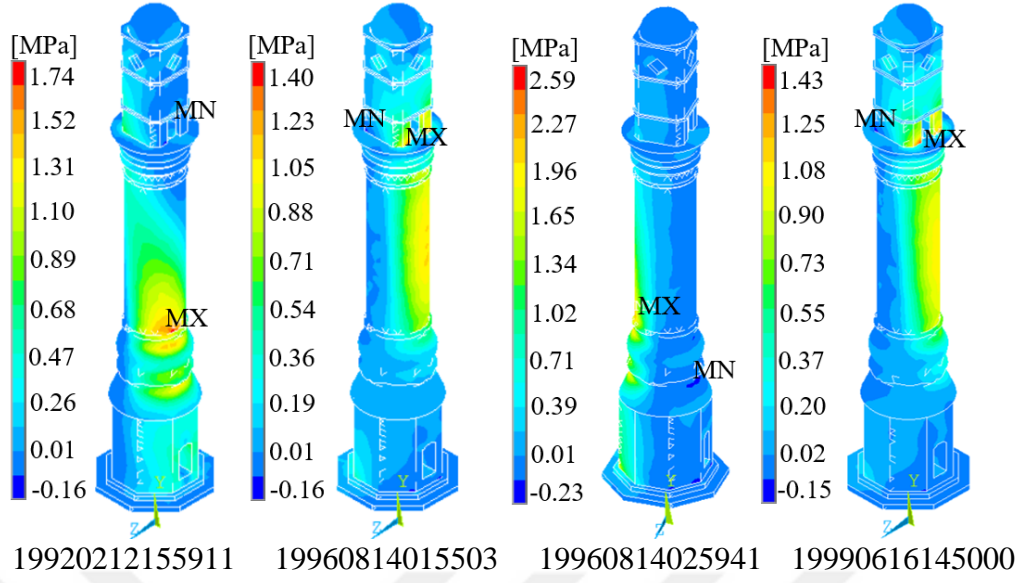


Şekil 2.28'in devamı

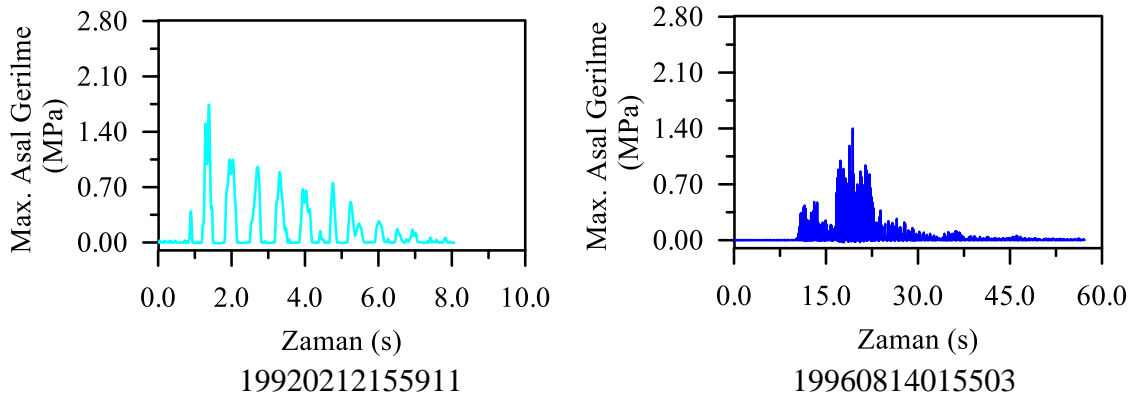


### 2.5.2.2. Asal Gerilmeler

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen maksimum asal gerilme (çekme gerilmesi) kontur diyagramları Şekil 2.29'da verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, maksimum gerilmeler uygulanan yer hareketi kaydına göre değişiklik göstermekte olup yapı üst gövdesinde ve kaide ile silindirik gövde arasındaki geçiş bölgesinde oluşmaktadır. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde en büyük çekme gerilmesi değeri, DK3'ün uygulanması sonucu yapı geçiş bölgesinde 2.59MPa olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler, yapı silindirik gövdesinde yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca azalış göstermektedir. DK2, DK4 ve DK5'in uygulanması sonucu maksimum asal gerilme değerleri sırasıyla 1.40MPa, 1.43MPa ve 1.27MPa olup yapı üst gövdesindeki kapı kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler, kapının bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve yükseklik boyunca azalmaktadır. DK1, DK5 ve DK7 numaralı kayıtların uygulanması sonucu ise maksimum asal gerilme değerleri sırasıyla 1.74MPa 2.4MPa ve 1.47MPa olup yapı geçiş bölgesinde meydana gelmiştir ve gerilme dağılımları silindirik gövde boyunca azalış göstermektedir. Maksimum asal gerilmeler için tüm analizlerden elde edilen zaman geçmişi grafikleri Şekil 2.30'da verilmiştir.



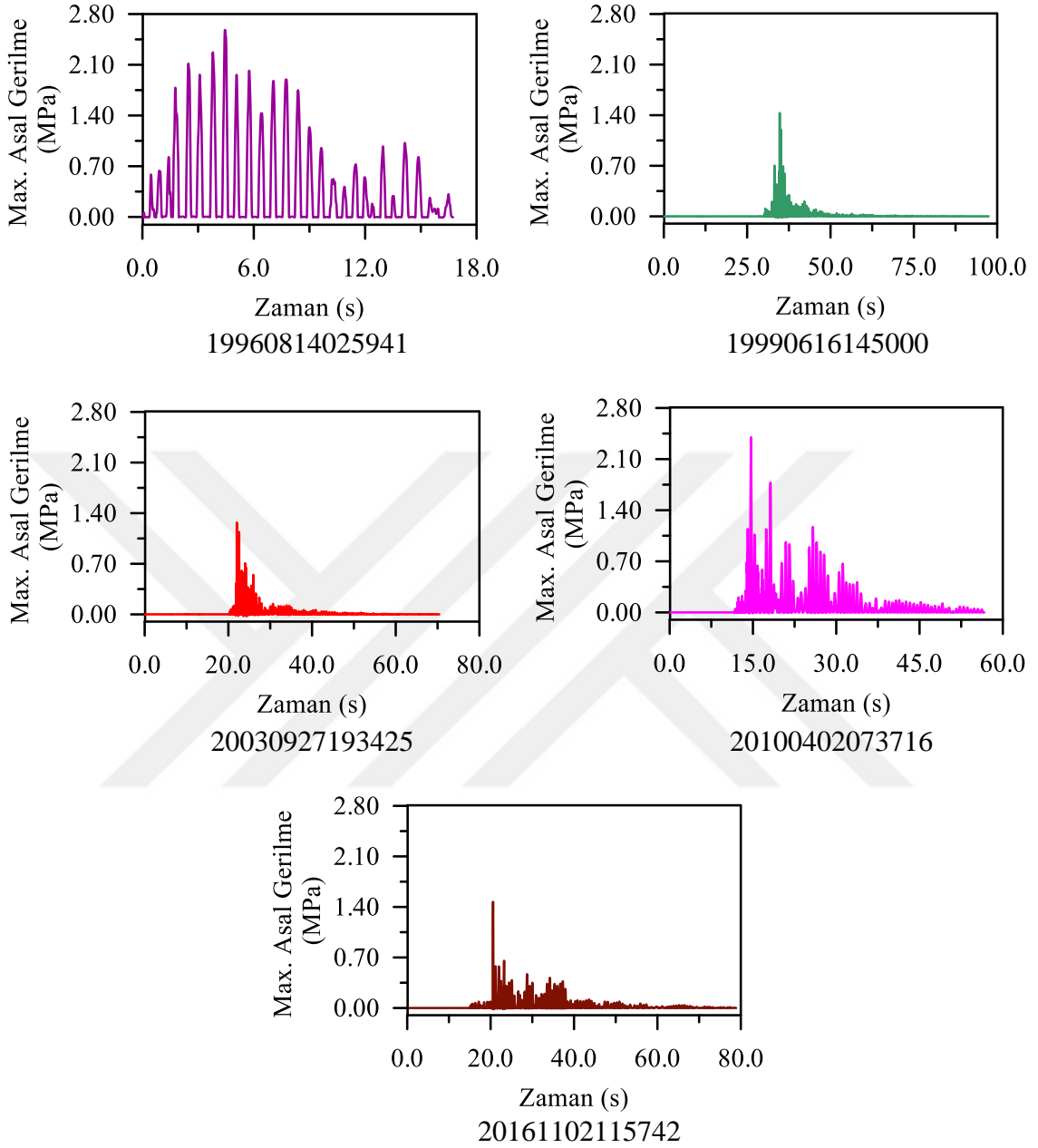
Şekil 2.29. Maksimum asal gerilmeler



Şekil 2.230. Maksimum asal gerilmelerin zamanla değişimi

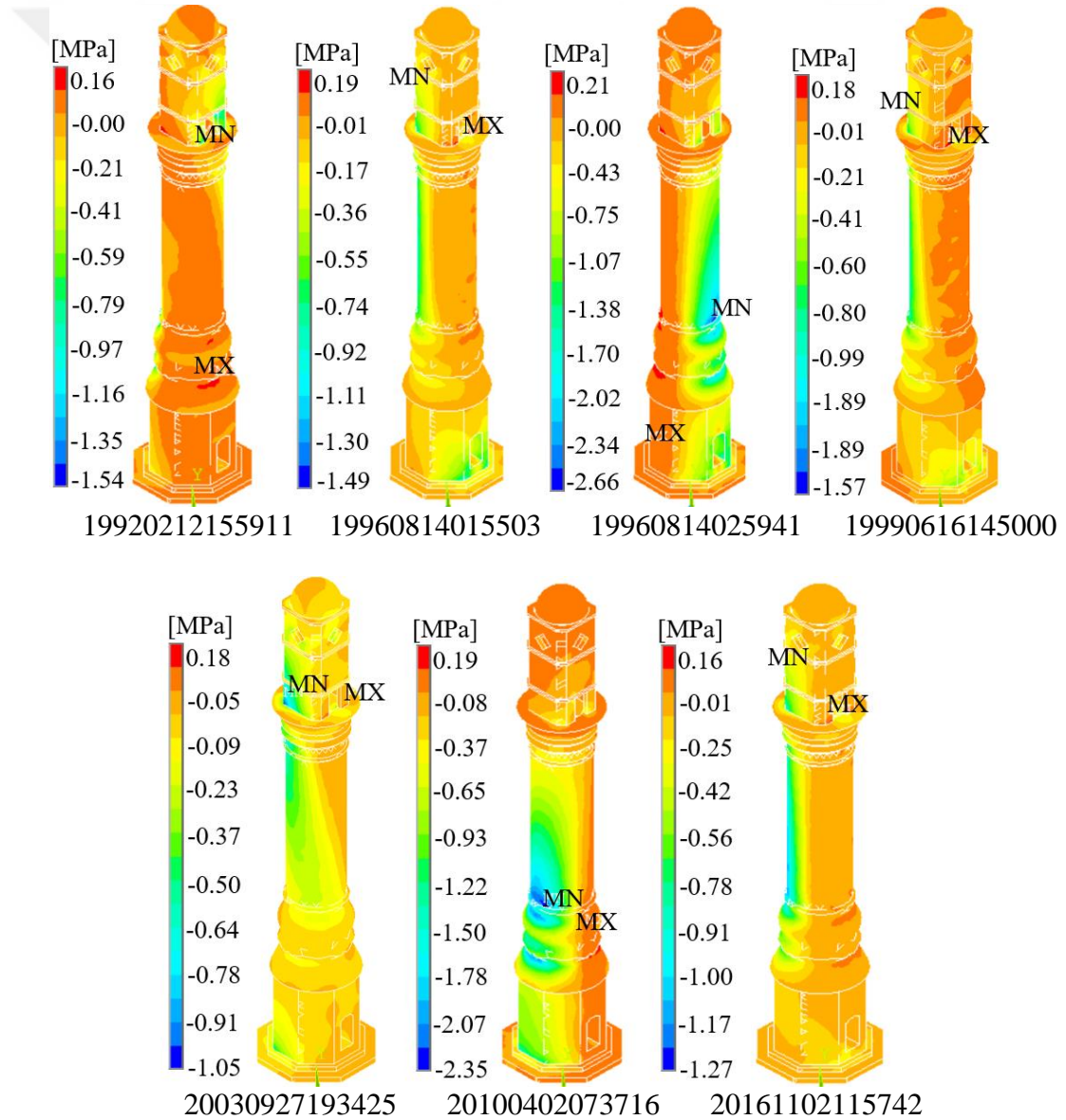


Şekil 2.30'un devamı

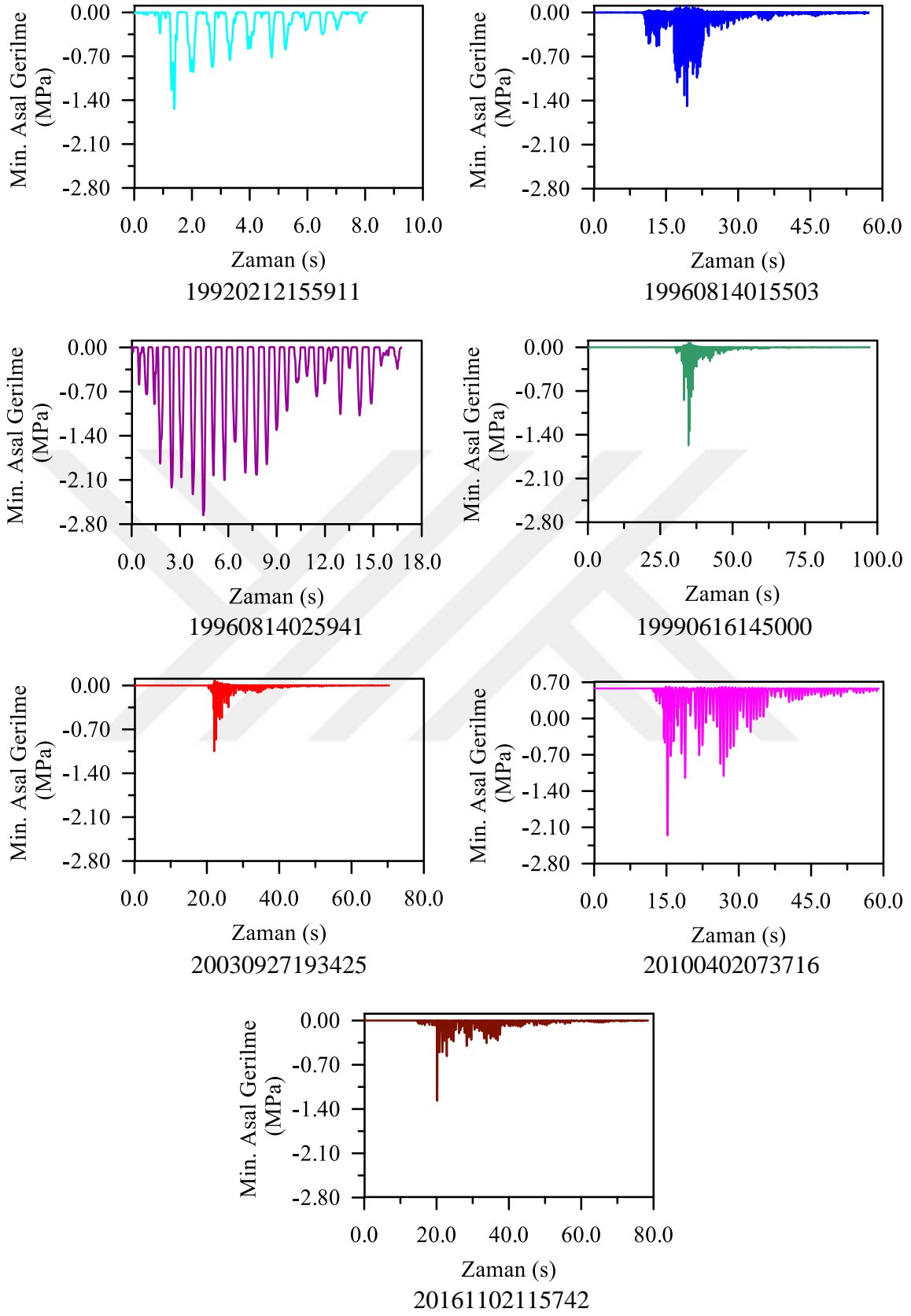


Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen minimum asal gerilme (basınç gerilmesi) kontur diyagramları Şekil 2.31'de verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, minimum asal gerilmeler uygulanan yer hareketi kaydına göre değişiklik göstermekte olup yapı üst gövdesinde ve kaide ile silindirik gövde arasındaki geçiş bölgesinde oluşmaktadır. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde minimum basınç gerilmesi değeri, DK3'ün uygulanması sonucu yapı geçiş bölgesinde 2.66MPa olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler, yapı

silindirik gövdesinde ve kaide bölgesindeki giriş kapısı kenarlarında yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca artış göstermektedir. DK1, DK2, DK4, DK5 ve DK7'nin uygulanması sonucu minimum asal gerilme değerleri sırasıyla 1.54MPa, 1.49MPa, 1.57MPa, 1.05MPa ve 1.27MPa olup yapı üst gövdesinde meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler, yapı silindirik gövdesinde yoğunlaşmakta ve yükseklik boyunca artmaktadır. DK6'nın uygulanması sonucu ise minimum asal gerilme değeri yapı geçiş bölgesinde 2.35MPa olarak elde edilmiş ve gerilmeler silindirik gövdede yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca artış göstermektedir. Minimum asal gerilmeler için tüm analizlerden elde edilen zaman geçişi grafikleri Şekil 2.32'de verilmiştir.



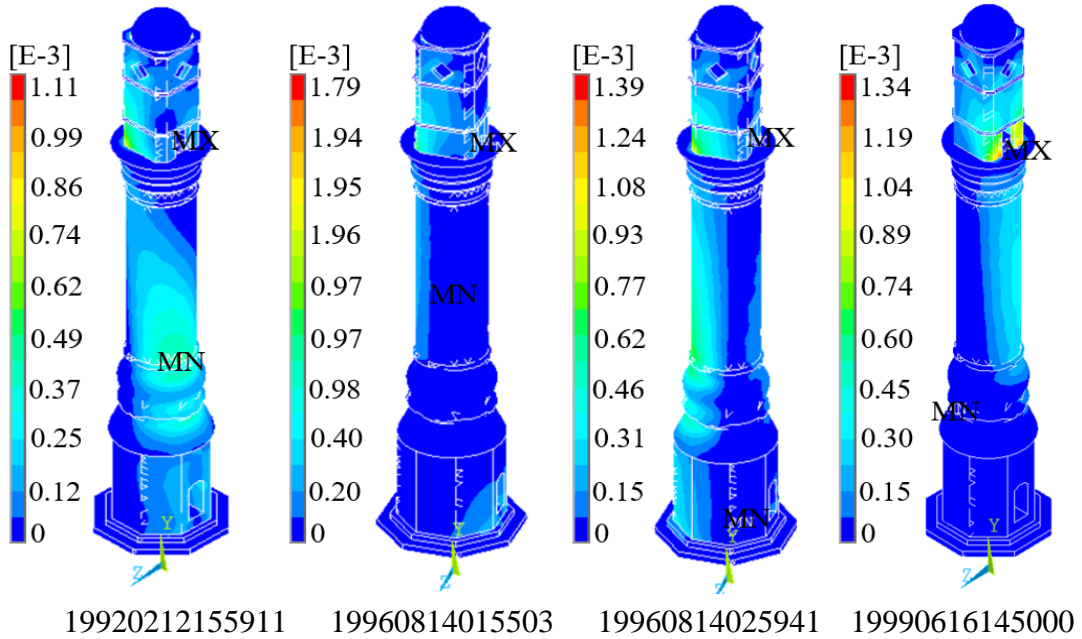
Şekil 2.31. Minimum asal gerilme kontur diyagramları



Şekil 2.32. Minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi

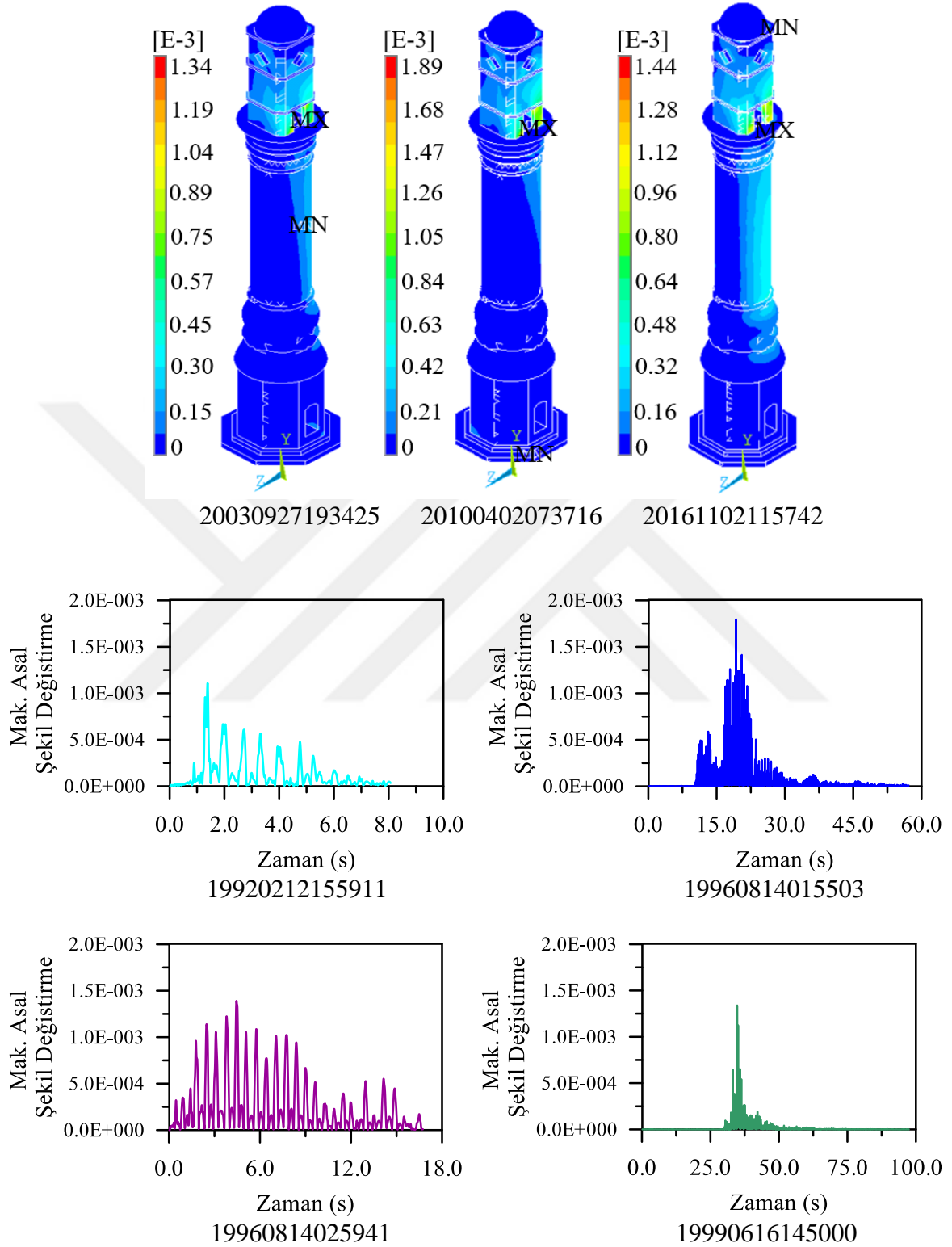
### 2.5.2.3. Asal Şekil Değişiklikleri

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları Şekil 2.33’de verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, maksimum asal şekil değişiklikleri uygulanan tüm yer hareketi kayıtlarında yapı üst gövdesinde oluşmaktadır. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde en büyük asal şekil değiştirme değeri, DK6’nın uygulanması sonucu yapı üst gövdesindeki kapı kenarında  $1.89E-3$  olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki şekil değişiklikleri, yapı üst gövdesinde yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca azalış göstermektedir. Benzer şekil değiştirme dağılımları DK4, DK5 ve DK7’nin uygulanması ile de elde edilmiş olup maksimum asal şekil değiştirme değerleri sırasıyla  $1.34E-3$  ve  $1.44E-3$ ’dir. DK1, DK2 ve DK3’ün uygulanması sonucu ise maksimum asal şekil değiştirme değerleri  $1.11E-3$ ,  $1.79E-3$  ve  $1.39E-3$  olup yapı üst gövdesinde meydana gelmiştir. Maksimum asal şekil değişiklikleri için tüm analizlerden elde edilen zaman geçmişi grafikleri Şekil 2.34’de verilmiştir.



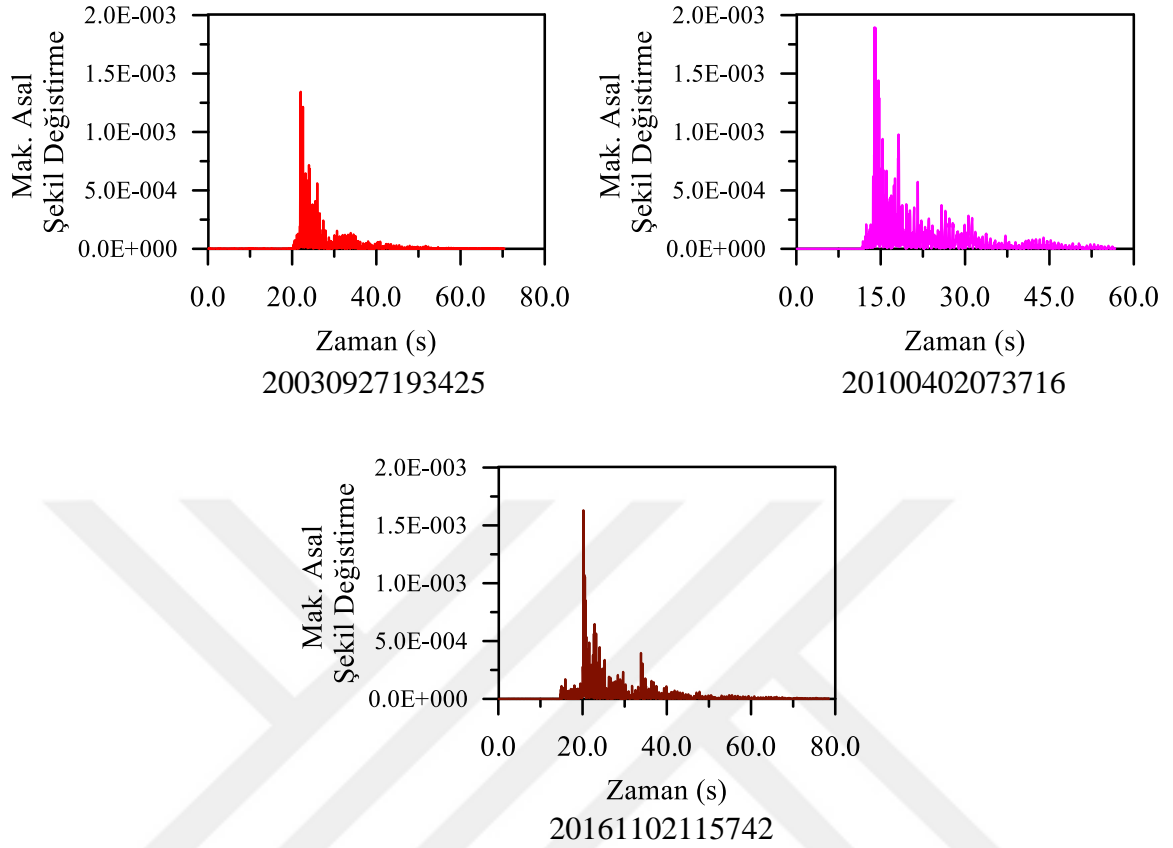
Şekil 2.33. Maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları

Şekil 2.33'ün devamı

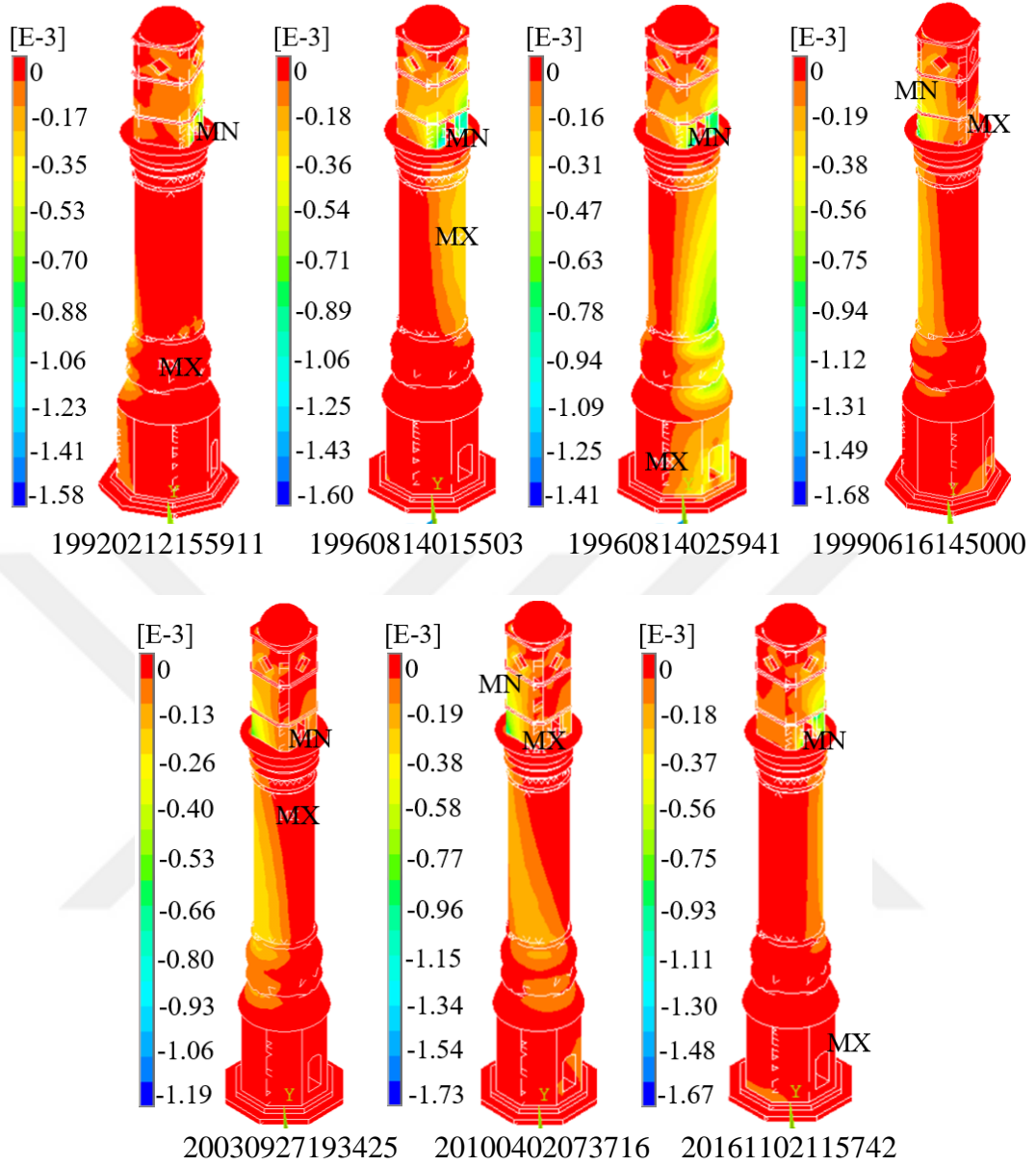


Şekil 2.34. Maksimum asal şekil değişimlerin zamanla değişimi

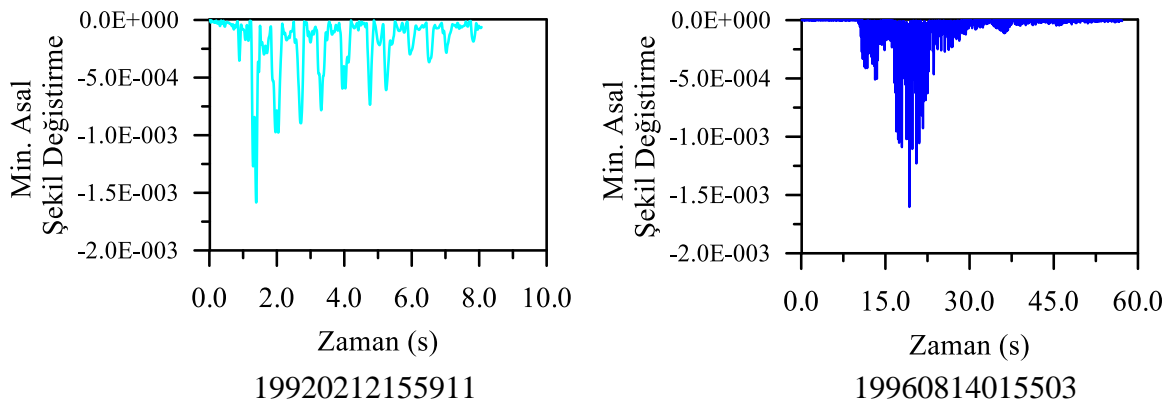
Şekil 2.34'ün devamı



Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları Şekil 2.35'de verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, minimum asal şekil değiştirmeler uygulanan tüm yer hareketi kayıtlarında yapı üst gövdesinde oluşmaktadır. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde en küçük asal şekil değiştirme değeri, DK6'in uygulanması sonucu yapı üst gövdesinde  $1.73E-3$  olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki şekil değiştirmeler, yapı silindirik gövdesinde yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca artış göstermektedir. DK1, DK2, DK2 ve DK7'nin uygulanması sonucu minimum asal şekil değiştirme değerleri sırasıyla  $1.58E-3$ ,  $1.60E-3$ ,  $1.41E-3$  ve  $1.67E-3$  olup yapı üst gövdesindeki kapı kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricindeki şekil değiştirmeler, kapının bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve yükseklik boyunca artış göstermektedir. DK4 ve DK5'in uygulanması sonucu ise minimum asal şekil değiştirme değerleri  $1.68E-3$  ve  $1.19E-3$  olup yapı üst gövdesinde meydana gelmiştir. Minimum asal şekil değiştirmeler için tüm analizlerden elde edilen zaman geçmişi grafikleri Şekil 2.36'da verilmiştir.

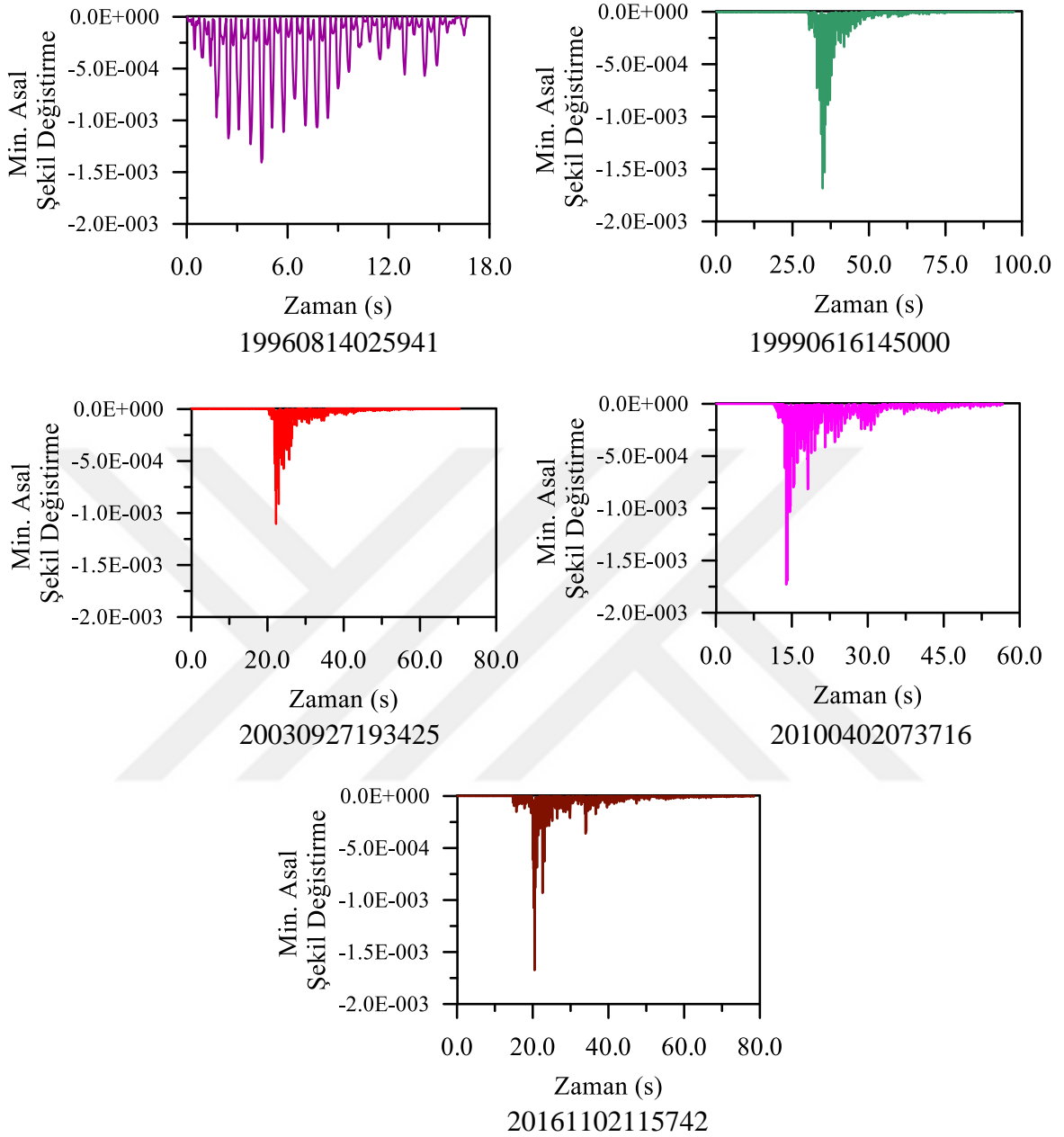


Şekil 2.35. Minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları



Şekil 2.36. Minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi

Şekil 2.36'nın devamı



### 2.5.3. Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürme Yöntemi ile Elde Edilen Yer Hareketi Kayıtlarının Yatayda Tek Doğrultuda Uygulanması

Spektral uyuşum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemi ile elde edilen ölçekli ivme kayıtlarından doğrusal dinamik analizlerde kullanılacak ve tek doğrultuda (1. Mod yönünde) uygulanacak kayıtlara ait yatay bileşenler Tablo 2.9'da verilmiştir.



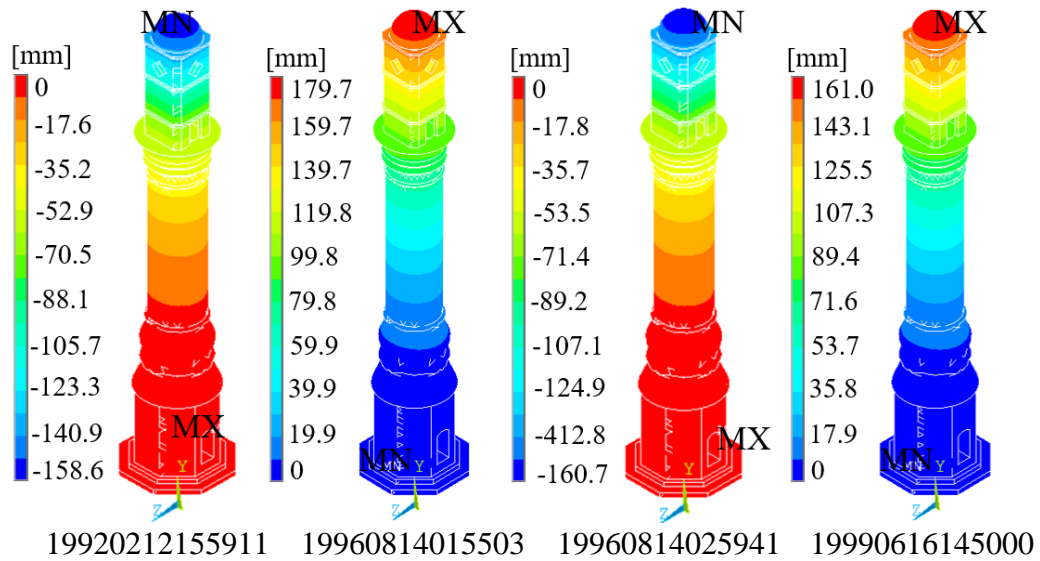
Tablo 2.9. Spektral uyumu sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemi sonucu doğrusal dinamik analizler için tek doğrultuda seçilen yatay bileşenler

Analiz Numarası	Kayıt No	1.Mod Yönünde Yatay Bileşen (X Yönü)
1	DK1-19920212155911	D-B
2	DK2-19960814015503	K-G
3	DK3-19960814025941	D-B
4	DK4-19990616145000	D-B
5	DK5-20030927193425	K-G
6	DK6-20100402073716	K-G
7	DK7-20161102115742	D-B

DK: Deprem Kaydı

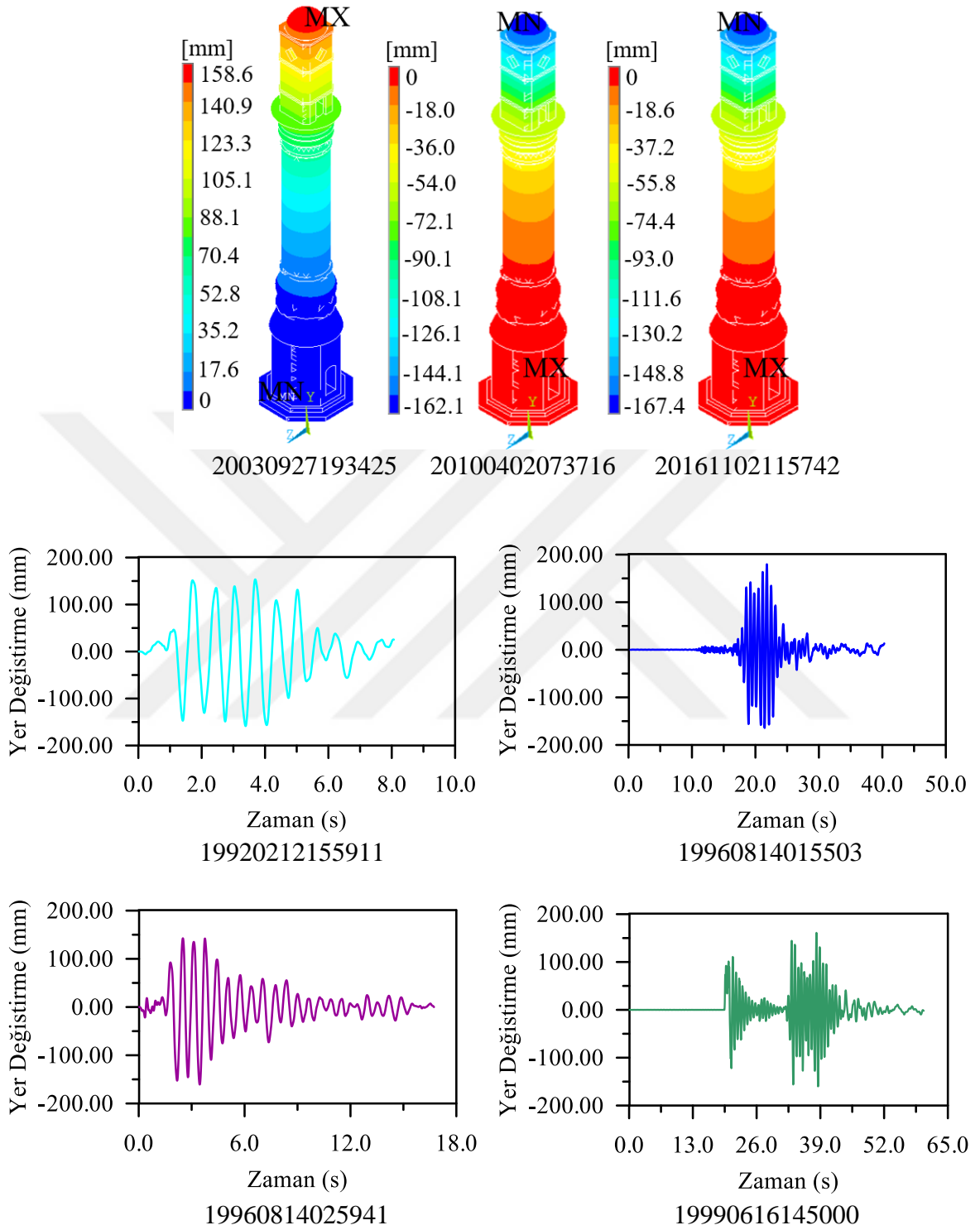
### 2.5.3.1. Yer Değişirmeler

Zaman tanım alanında analizler sonucunda elde edilen maksimum yer değiştirme kontur diyagramları Şekil 2.37’de verilmiştir. Maksimum yer değiştirme tüm kayıtlar için saat kulesinin tepe noktasında meydana gelmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri DK2’nin uygulanması sonucu 179.7mm olarak elde edilmiştir. Kullanılan diğer kayıtlar için maksimum yer değiştirme değerleri 158.6mm ile 167.4mm arasında değişmekte ve yükseklik boyunca artmaktadır. Elde edilen maksimum yer değiştirme-zaman grafikleri her bir ivme kaydı için Şekil 2.38’de verilmiştir.



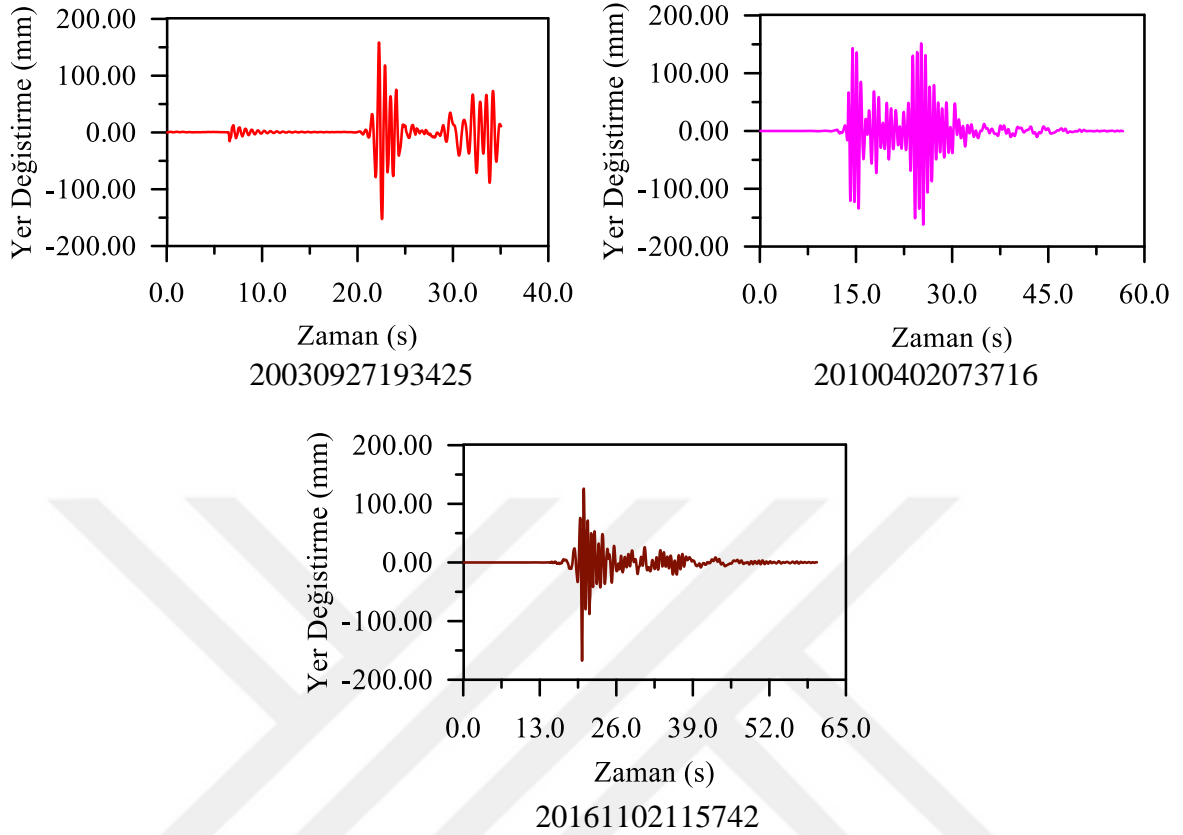
Şekil 2.37. Maksimum yer değiştirme kontur diyagramları

Şekil 2.37'nin devamı



Şekil 2.38. Maksimum yer değiştirmelerin zamanla değişimi

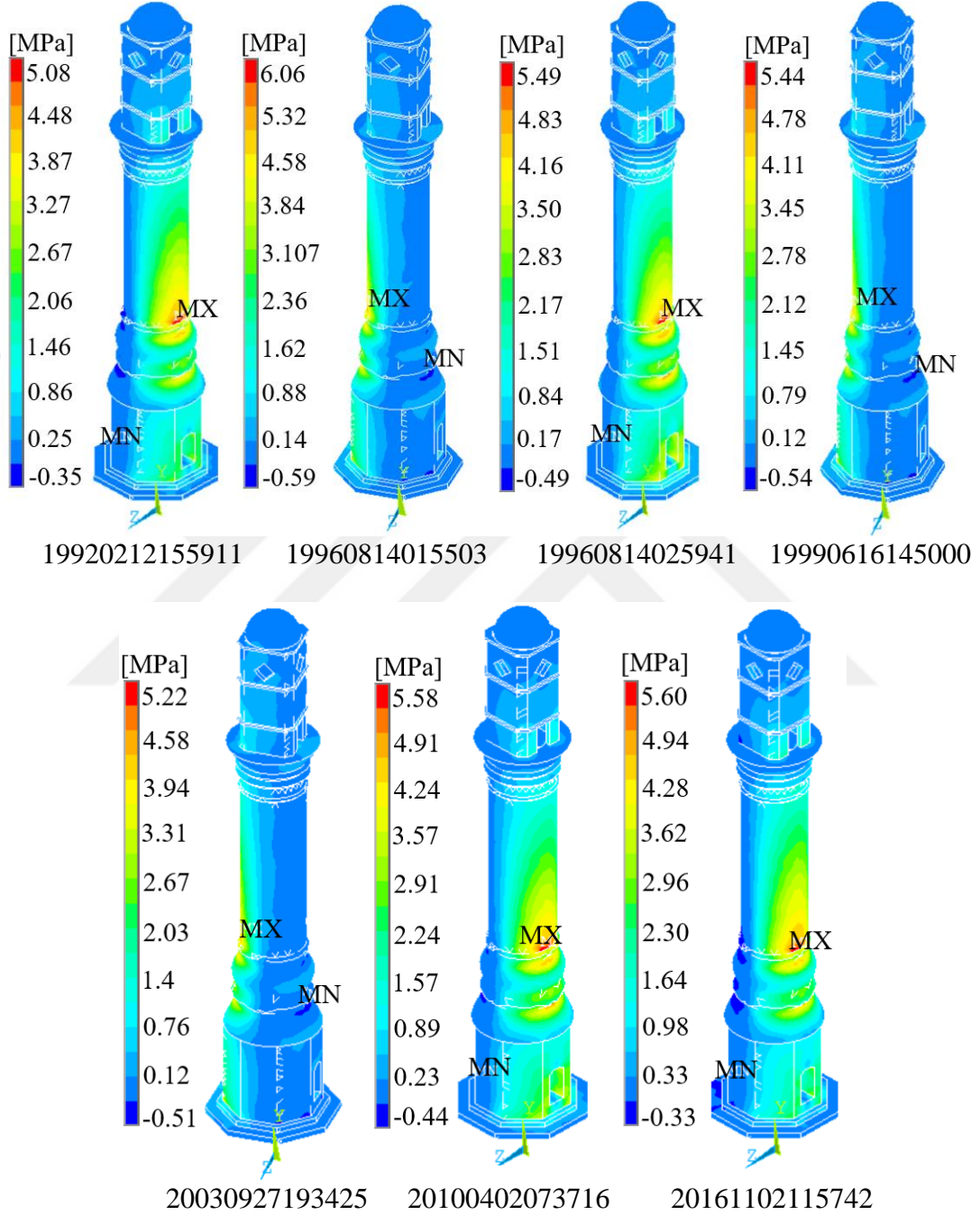
Şekil 2.38'in devamı



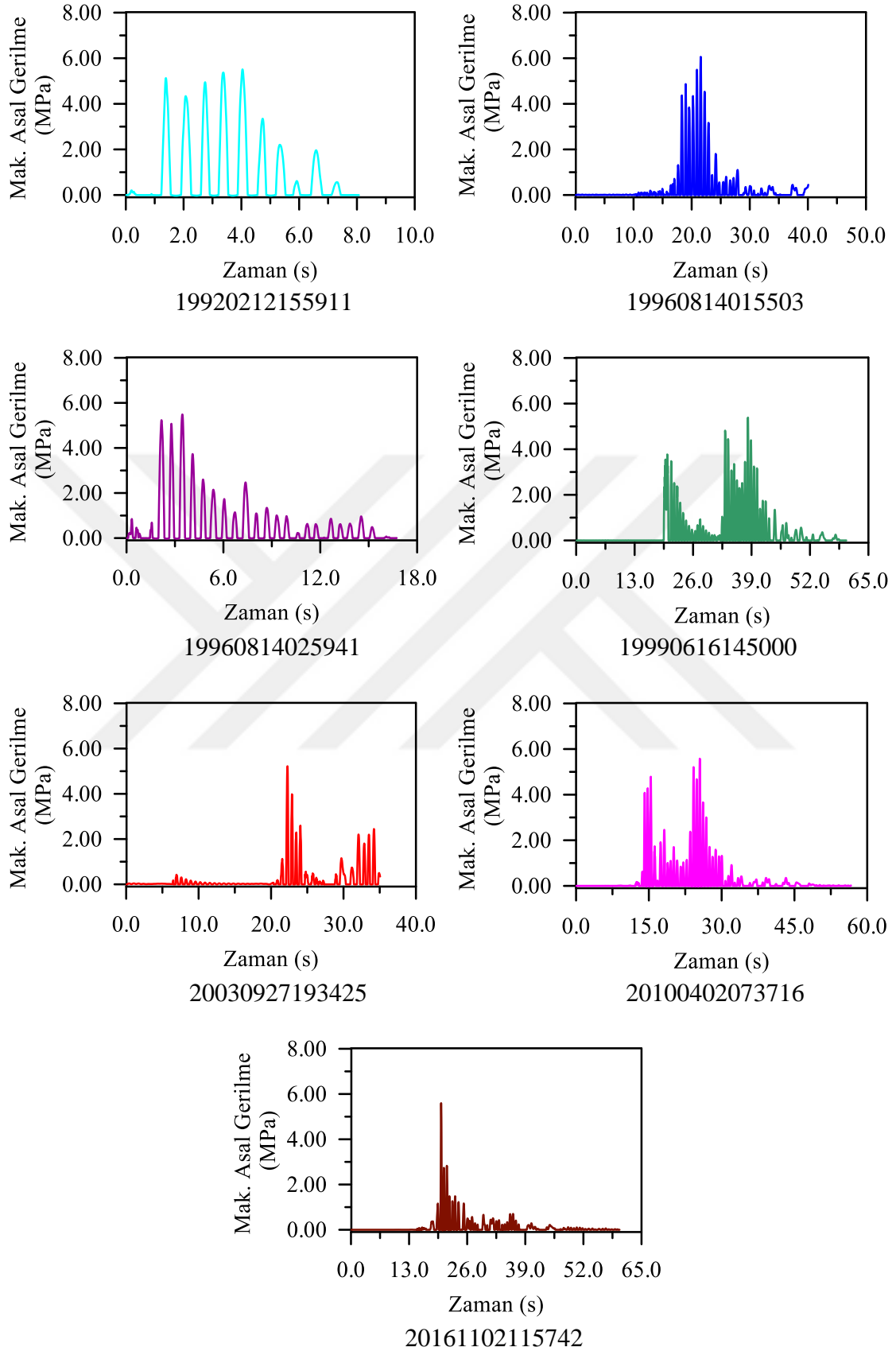
### 2.5.3.2. Asal Gerilmeler

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen maksimum asal gerilme (çekme gerilmesi) kontur diyagramları Şekil 2.39'da verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, maksimum gerilmeler tüm yer hareketi kayıtları için kaide ile silindirik gövde arasındaki geçiş bölgesinde meydana gelmektedir. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde en büyük çekme gerilmesi değeri, DK2'nin uygulanması sonucu kaide ile silindirik gövde arasındaki geçiş bölgesinde 6.06MPa olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler, yapı silindirik gövdesinde yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca azalış göstermektedir. Benzer gerilme dağılımları DK4 ve DK5'in uygulanması sonucunda da elde edilmiş olup maksimum asal gerilme değerleri sırasıyla 5.44MPa ve 5.22MPa'dır. DK1, DK3, DK6 ve DK7'nin uygulanması sonucunda ise maksimum asal gerilme değerleri sırasıyla 5.08MPa, 5.49MPa, 5.58MPa ve 5.60MPa olup yapı geçiş bölgesinde meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler silindirik gövdede ve kaide bölgesindeki kapı kenarlarında yoğunlaşmaktadır. Maksimum

asal gerilmeler için tüm analizlerden elde edilen zaman geçmişi grafikleri Şekil 2.40'da verilmiştir.

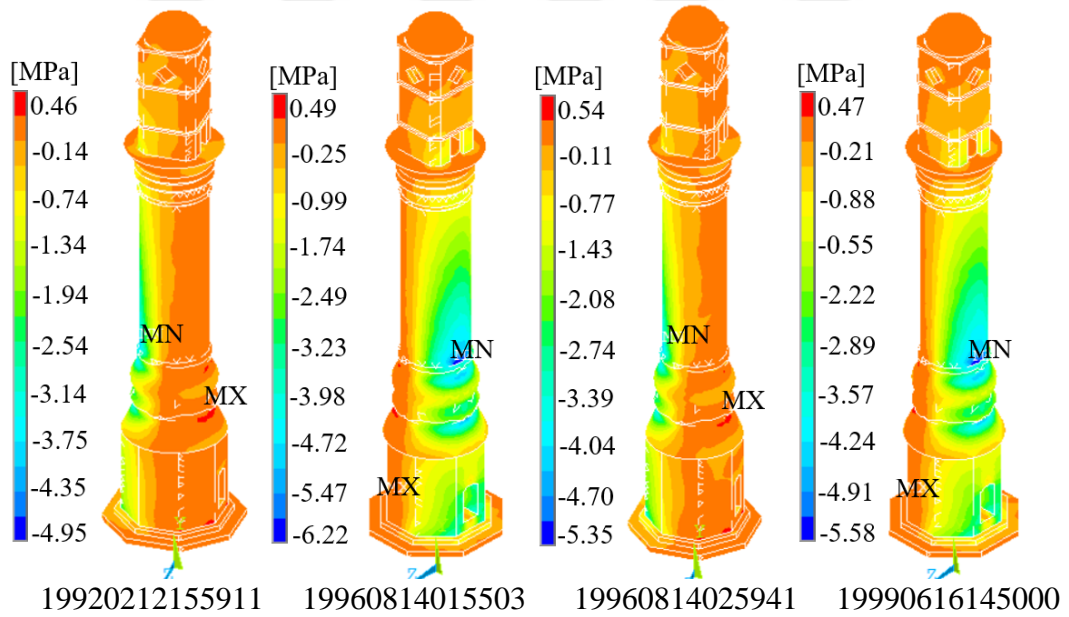


Şekil 2.39. Maksimum asal gerilme kontur diyagramları



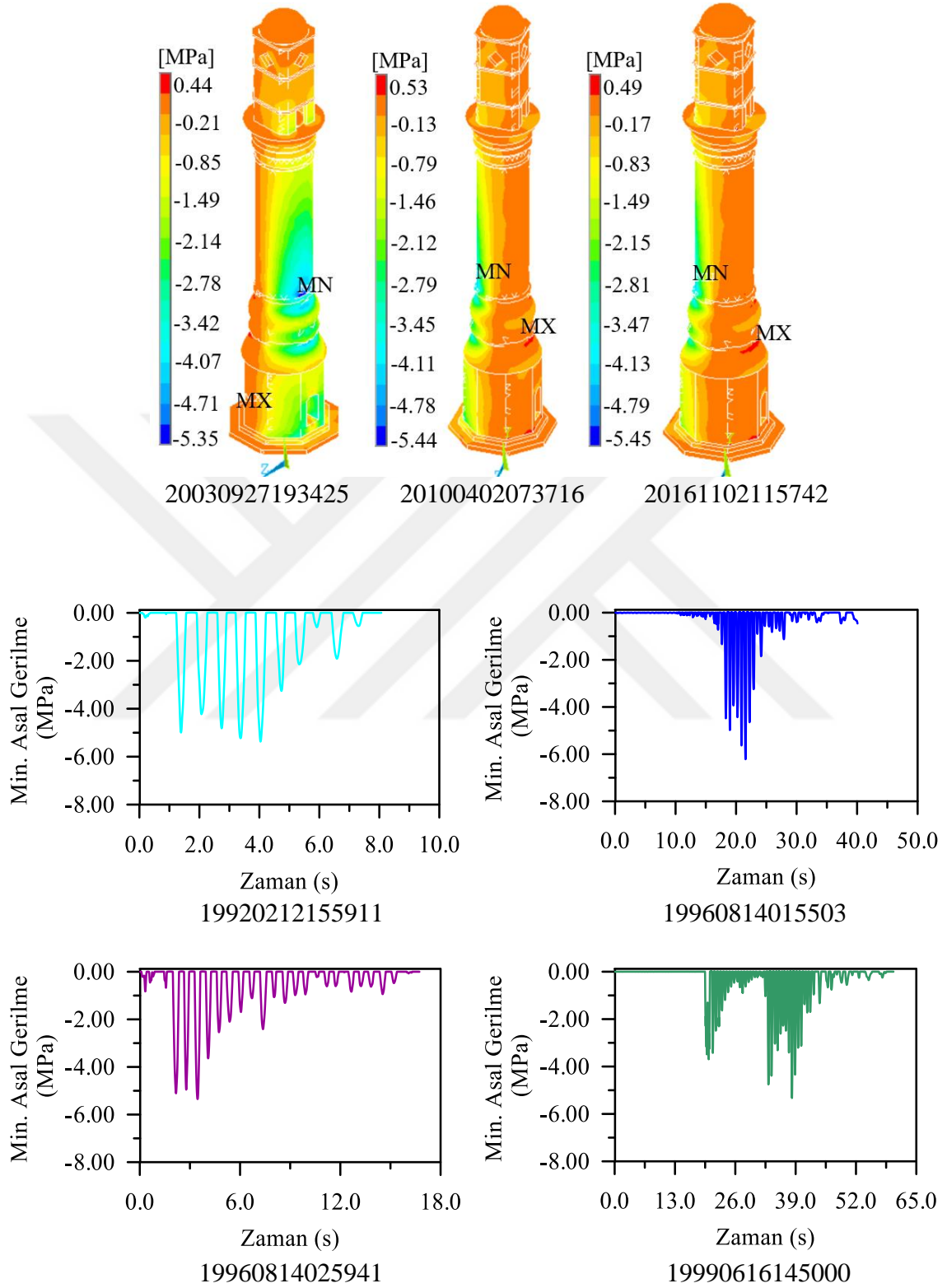
Şekil 2.40. Maksimum asal gerilmelerin zamanla değişimi

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen minimum asal gerilme (basınç gerilmesi) kontur diyagramları Şekil 2.41’de verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, tüm kayıtlar için minimum asal gerilmeler kaide ile silindirik gövde arasındaki geçiş bölgesinde oluşmaktadır. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde minimum basınç gerilmesi değeri, DK2’nin uygulanması sonucu yapı geçiş bölgesinde 6.22MPa olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler, yapı silindirik gövdesinde ve kaide bölgesindeki giriş kapısı kenarlarında yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca artış göstermektedir. Benzer gerilme dağılımları DK4 ve DK5’in uygulanmasıyla da elde edilmiş olup minimum asal gerilme değerleri sırasıyla 5.58MPa ve 5.35MPa’dır. DK1, DK3, DK6 ve DK7’nin uygulanması sonucunda ise minimum asal gerilme değerleri sırasıyla 4.95MPa, 5.35MPa, 5.44MPa ve 5.45MPa olup yapı geçiş bölgesinde meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler silindirik gövdede yoğunlaşmakta ve yükseklik boyunca artış göstermektedir. Minimum asal gerilmeler için tüm analizlerden elde edilen zaman geçmişi grafikleri Şekil 2.42’de verilmiştir.



Şekil 2.41. Minimum asal gerilme kontur diyagramları

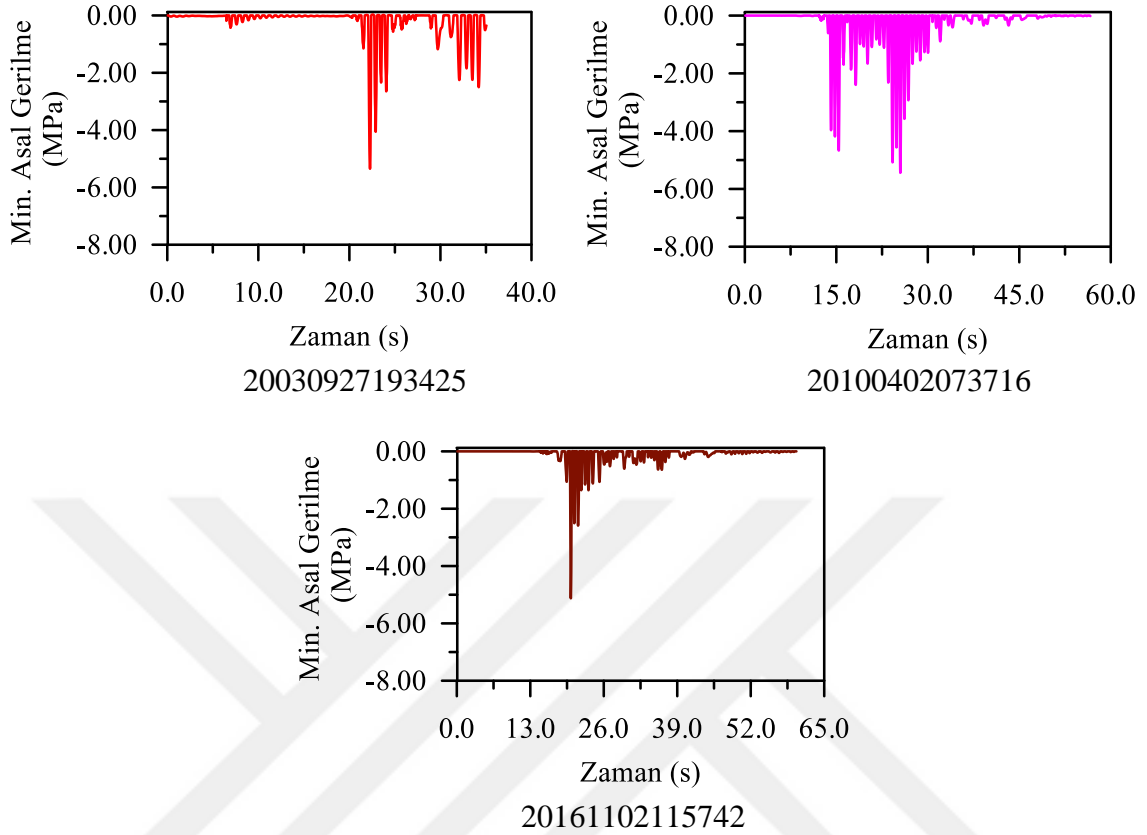
Şekil 2.41'in devamı



Şekil 2.42. Minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi



Şekil 2.42'nin devamı

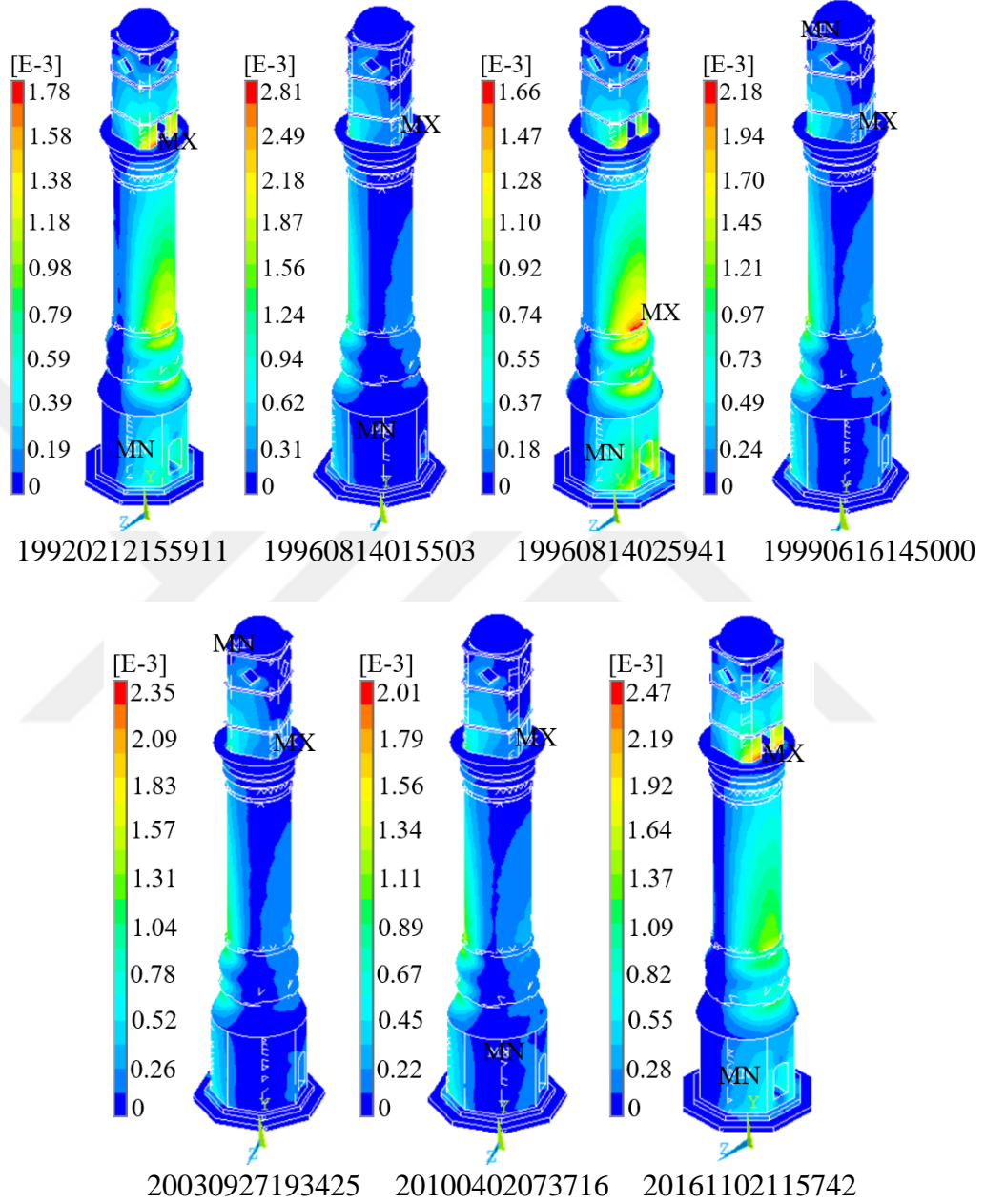


### 2.5.3.3. Asal Şekil Değişirmeler

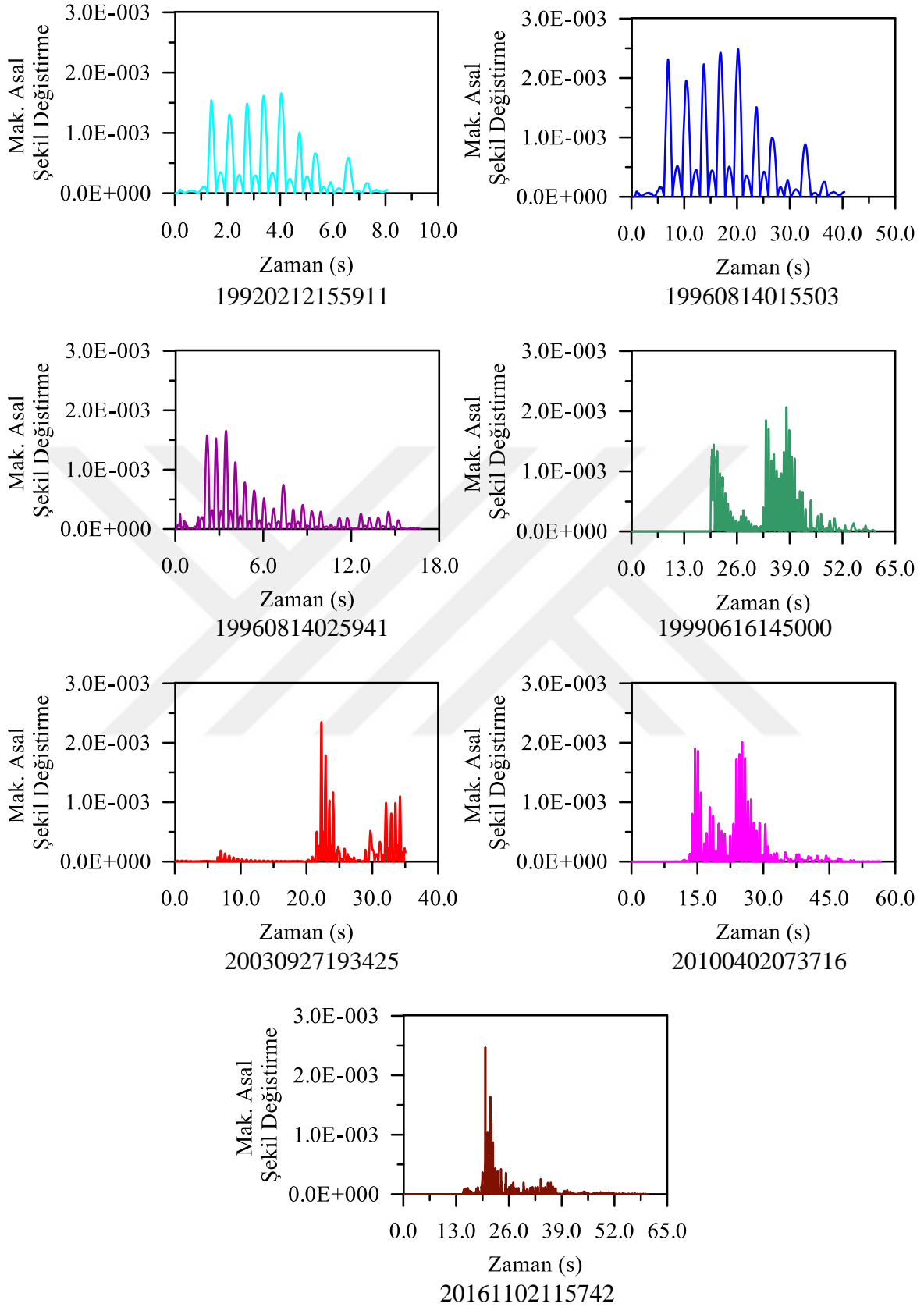
Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları Şekil 2.43'de verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, maksimum asal şekil değiştirmeler uygulanan yer hareketi kayıtlarına göre değişiklik göstermekte olup yapı üst gövdesinde ve kaide ile silindirik gövde arasındaki geçiş bölgesinde oluşmaktadır. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde en büyük asal şekil değiştirme değeri, DK2'nin uygulanması sonucu yapı üst gövdesinde  $2.81E-3$  olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki şekil değiştirmeler, yapı silindirik gövdesinde yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca azalış göstermektedir. Benzer şekil değiştirme dağılımları DK4, DK5 ve DK6'nın uygulanmasıyla da elde edilmiş olup maksimum asal şekil değiştirme değerleri sırasıyla  $2.18E-3$ ,  $2.35E-3$  ve  $2.01E-3$ 'dür. DK1 ve DK7'nin uygulanması sonucunda maksimum asal şekil değiştirme değerleri  $1.78E-3$  ve  $2.47E-3$  olup yapı üst gövdesindeki kapı kenarlarında meydana gelmiştir. DK3'ün uygulanması sonucu ise maksimum asal şekil değiştirme değeri  $1.66E-3$  olarak



elde edilmiştir. Maksimum asal şekil değiştirmeler için tüm analizlerden elde edilen zaman geçmişi grafikleri Şekil 2.44’de verilmiştir.

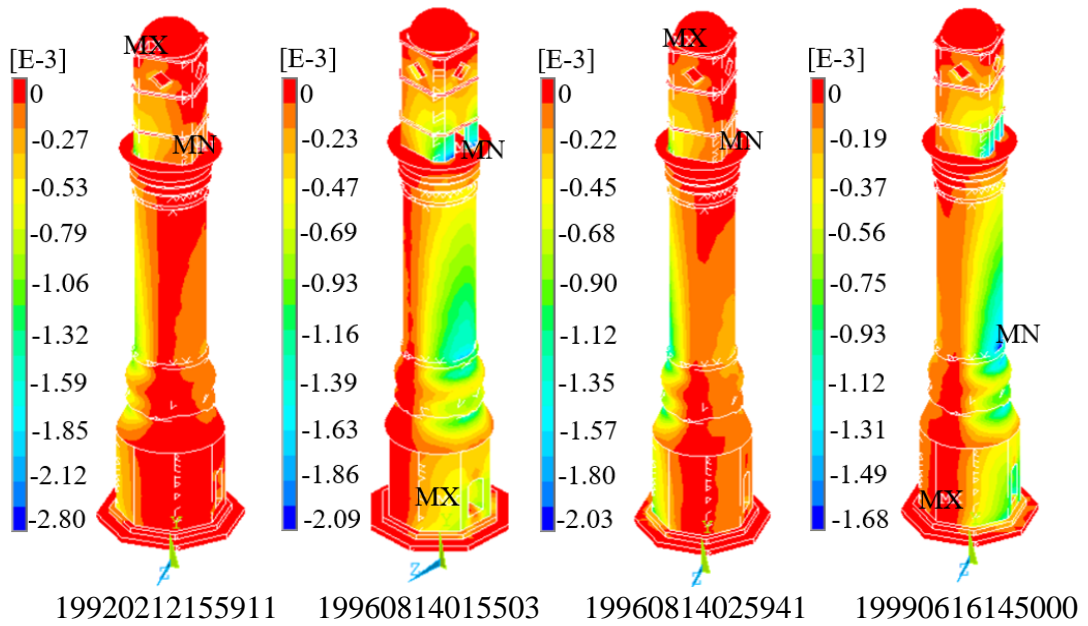


Şekil 2.43. Maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları



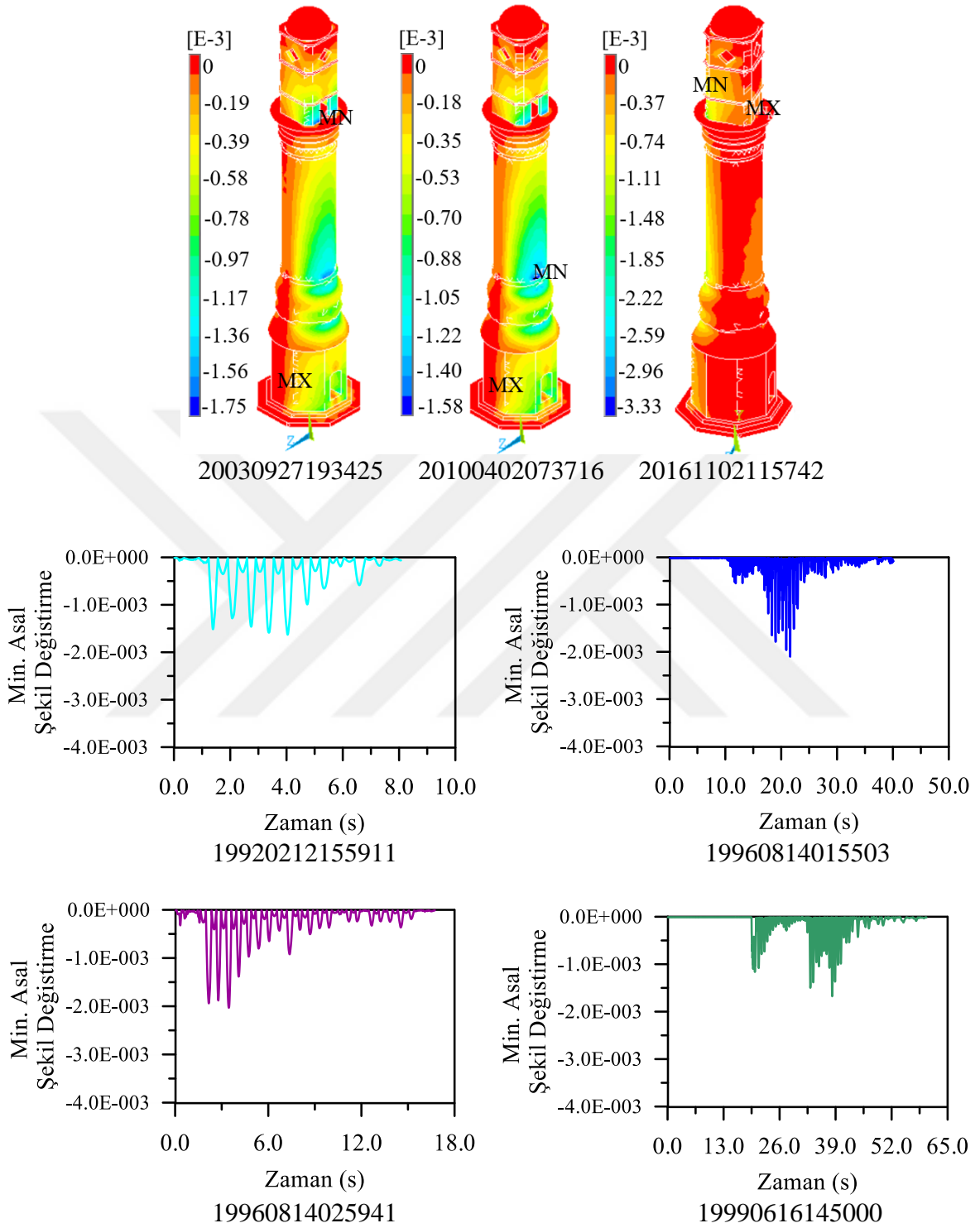
Şekil 2.44. Maksimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları Şekil 2.45’de verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, minimum asal şekil değiştirmeler uygulanan yer hareketi kayıtlarına göre değişiklik göstermekte olup yapı üst gövdesinde ve kaide ile silindirik gövde arasındaki geçiş bölgesinde oluşmaktadır. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde en küçük asal şekil değiştirme değeri, DK7’nin uygulanması sonucu yapı üst gövdesinde  $3.33E-3$  olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki şekil değiştirmeler yükseklik boyunca silindirik gövdede yoğunlaşmaktadır. Benzer şekil değiştirme dağılımları DK1 ve DK3’ün uygulanmasıyla da elde edilmiş olup minimum asal şekil değiştirme değerleri  $2.80E-3$  ve  $2.03E-3$ ’dür. DK2 ve DK5’in uygulanması sonucu minimum asal şekil değiştirme değerleri sırasıyla  $2.09E-3$  ve  $1.75E-3$  olup yapı üst gövdesindeki kapı kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricindeki şekil değiştirmeler kapının bulunduğu cephede yoğunlaşmaktadır. DK4 ve DK6’nın uygulanması sonucu ise minimum asal şekil değiştirme değerleri  $1.68E-3$  ve  $1.58E-3$  olup yapı geçiş bölgesinde meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricindeki şekil değiştirmeler, silindirik gövdede ve kaide bölgesindeki kapı kenarlarında yoğunlaşmaktadır. Minimum asal şekil değiştirmeler için tüm analizlerden elde edilen zaman geçmişi grafikleri Şekil 2.46’da verilmiştir.



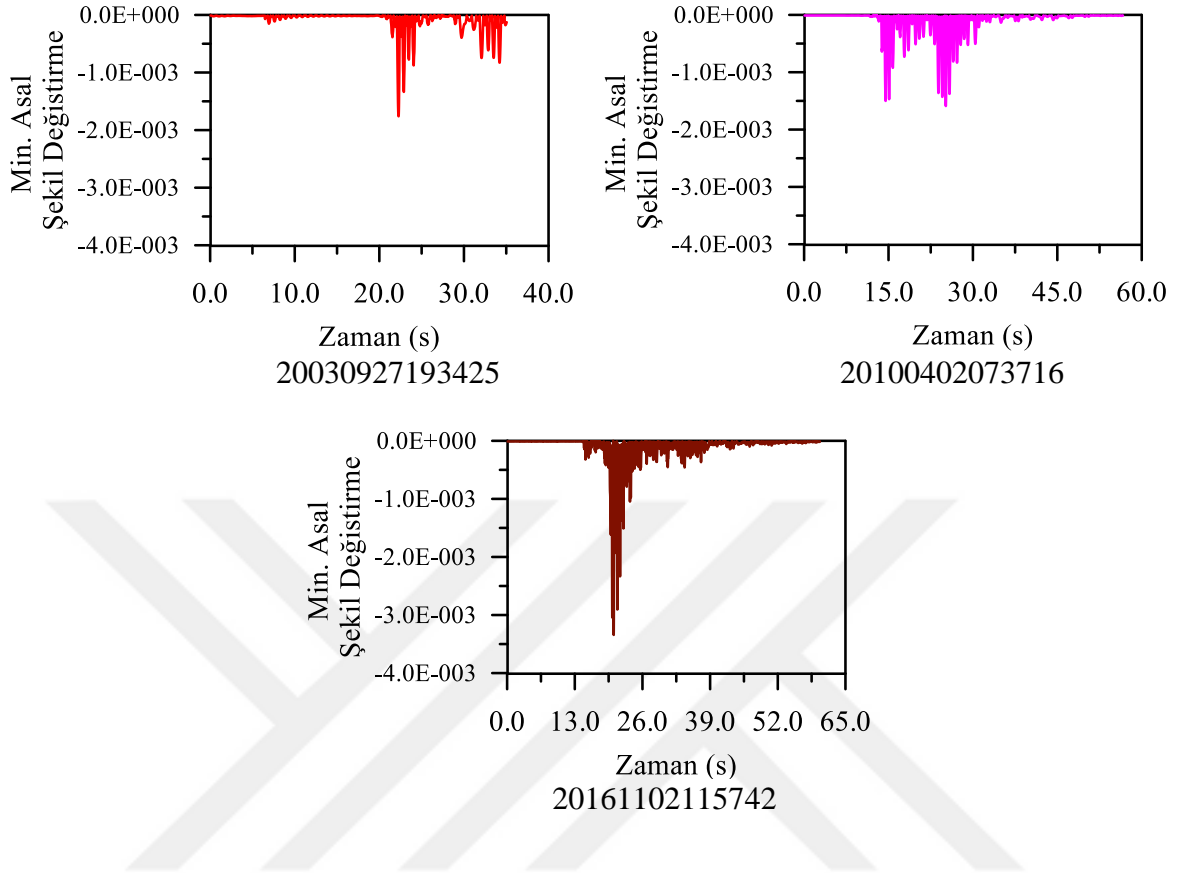
Şekil 2.45. Minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları

Şekil 2.45'in devamı



Şekil 2.46. Minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi

Şekil 2.46'nin devamı



#### 2.5.4. Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürme Yöntemi ile Elde Edilen Yer Hareketi Kayıtlarının Yatayda Çift Doğrultuda Uygulanması

Spektral uyuşum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemi ile elde edilen ve doğrusal dinamik analizlerde çift doğrultuda uygulanacak yatay bileşenler Tablo 2.10'da verilmiştir.

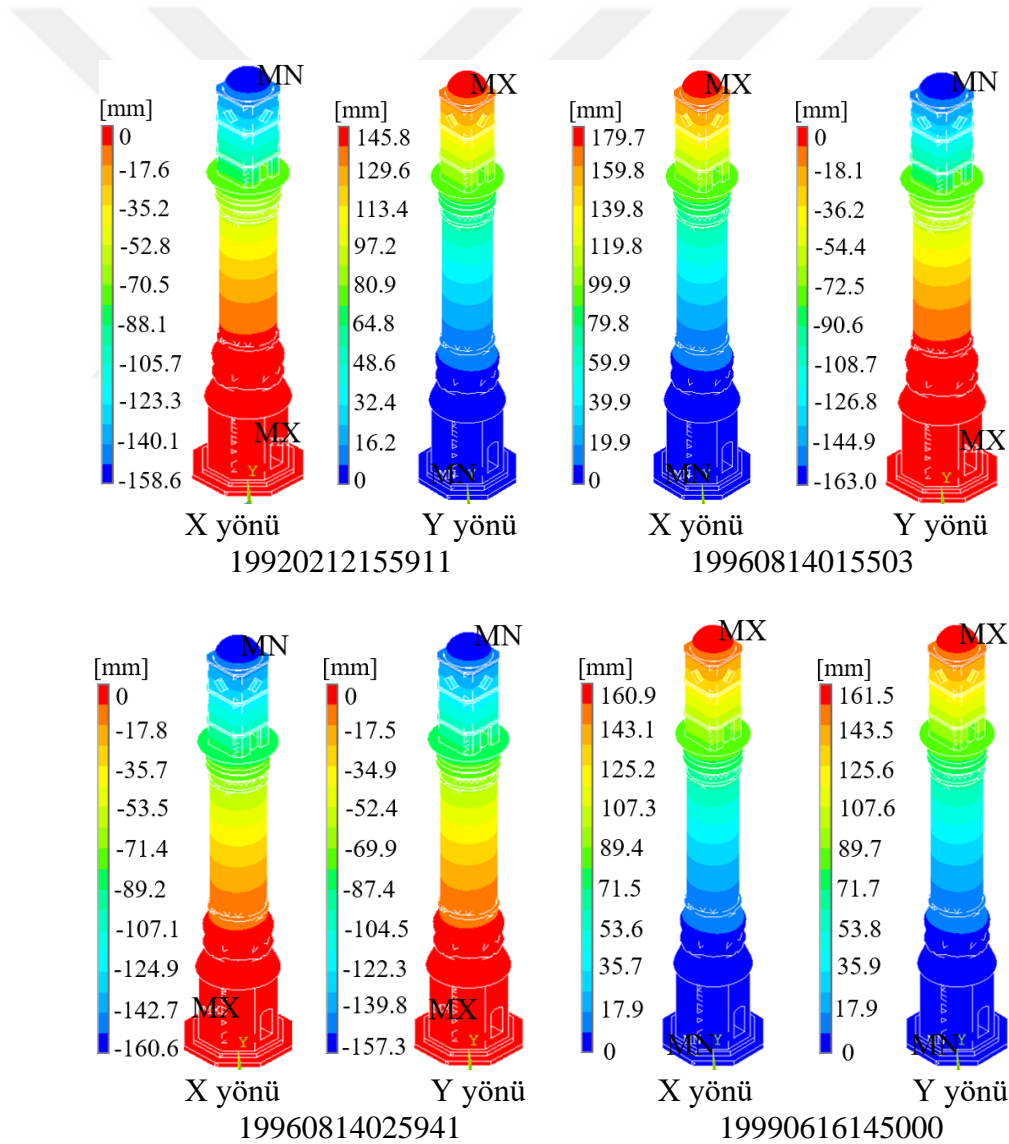
Tablo 2.10. Spektral uyuşum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemi sonucu doğrusal dinamik analizler için çift doğrultuda seçilen yatay bileşenler

Analiz Numarası	Kayıt No	1.Mod Yönünde Yatay Bileşen (X Yönü)	1.Mod Yönüne Dik Yatay Bileşen (Y Yönü)
1	DK1-19920212155911	D-B	K-G
2	DK2-19960814015503	K-G	D-B
3	DK3-19960814025941	D-B	K-G
4	DK4-19990616145000	D-B	K-G
5	DK5-20030927193425	K-G	D-B
6	DK6-20100402073716	K-G	D-B
7	DK7-20161102115742	D-B	K-G

DK: Deprem Kaydı

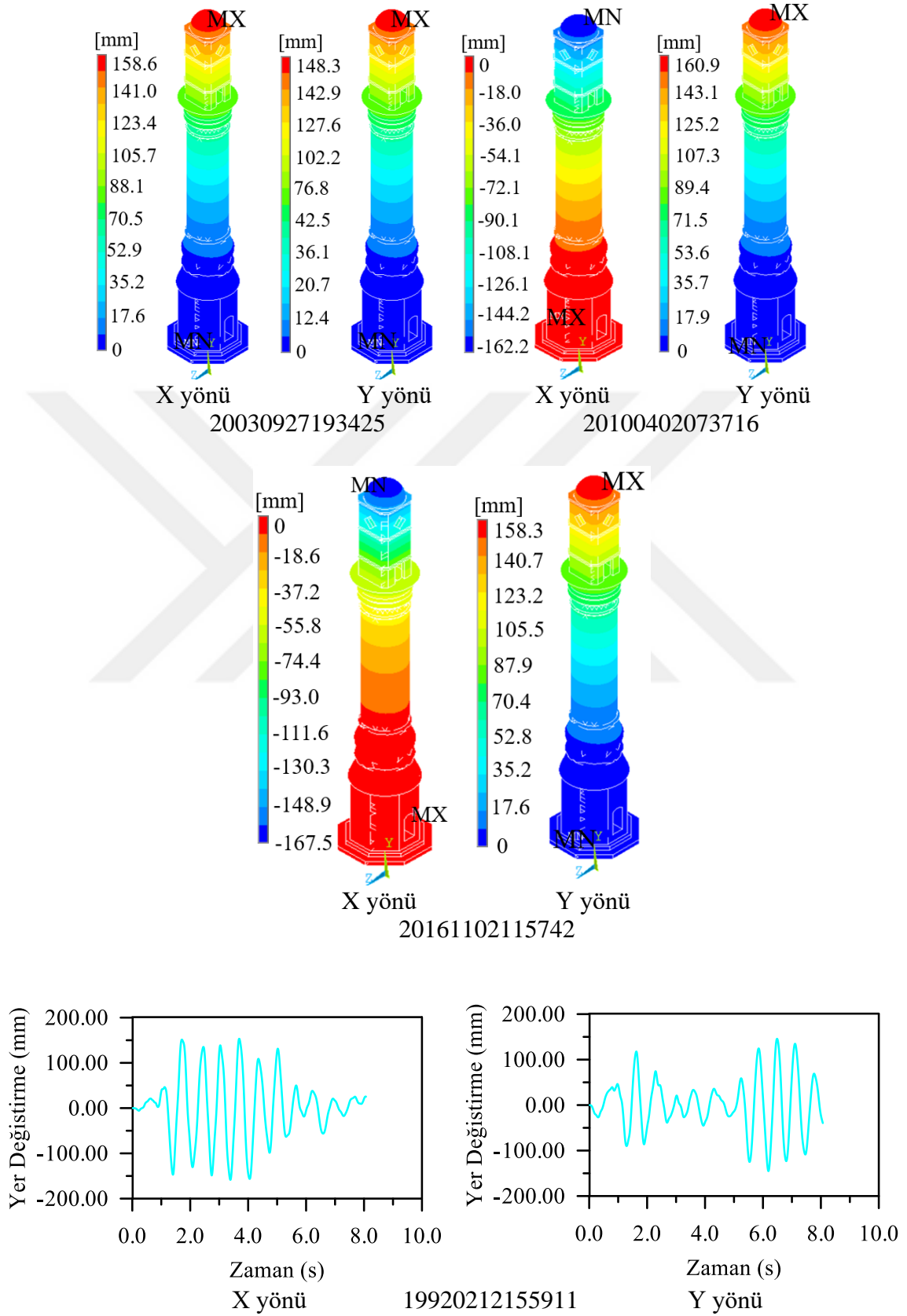
### 2.5.4.1. Yer Değiştirmeler

Tablo 2.12’de verilen yer hareketi kayıtları ile gerçekleştirilen zaman tanım alanında analizler sonucunda her bir kayıt için elde edilen maksimum yer değiştirme kontur diyagramları Şekil 2.47’de verilmiştir. Maksimum yer değiştirme tüm kayıtlar için her iki yönde de saat kulesinin tepe noktasında meydana gelmiştir En büyük yer değiştirme değeri DK2’nin X yönünde 179.7mm ve Y yönünde 163.0mm olarak elde edilmiştir. Analizlerde kullanılan diğer kayıtlar için maksimum yer değiştirme değerleri X yönünde 158.6mm ile 167.5mm ve Y yönünde 145.8mm ile 161.5mm arasında değişmektedir. Elde edilen maksimum yer değiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.48’de verilmiştir.



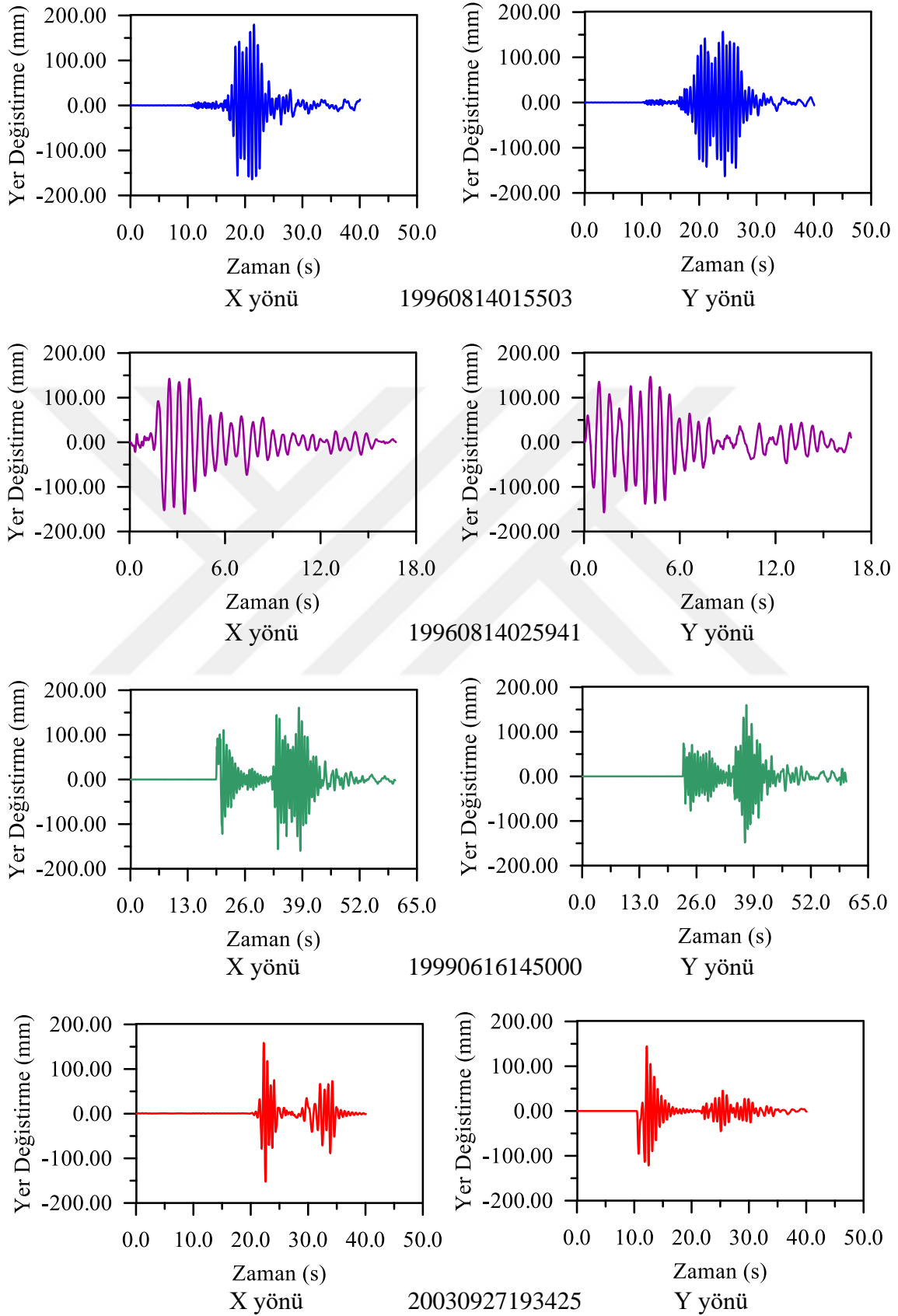
Şekil 2.47. Maksimum yer değiştirme kontur diyagramları

Şekil 2.47'nin devamı



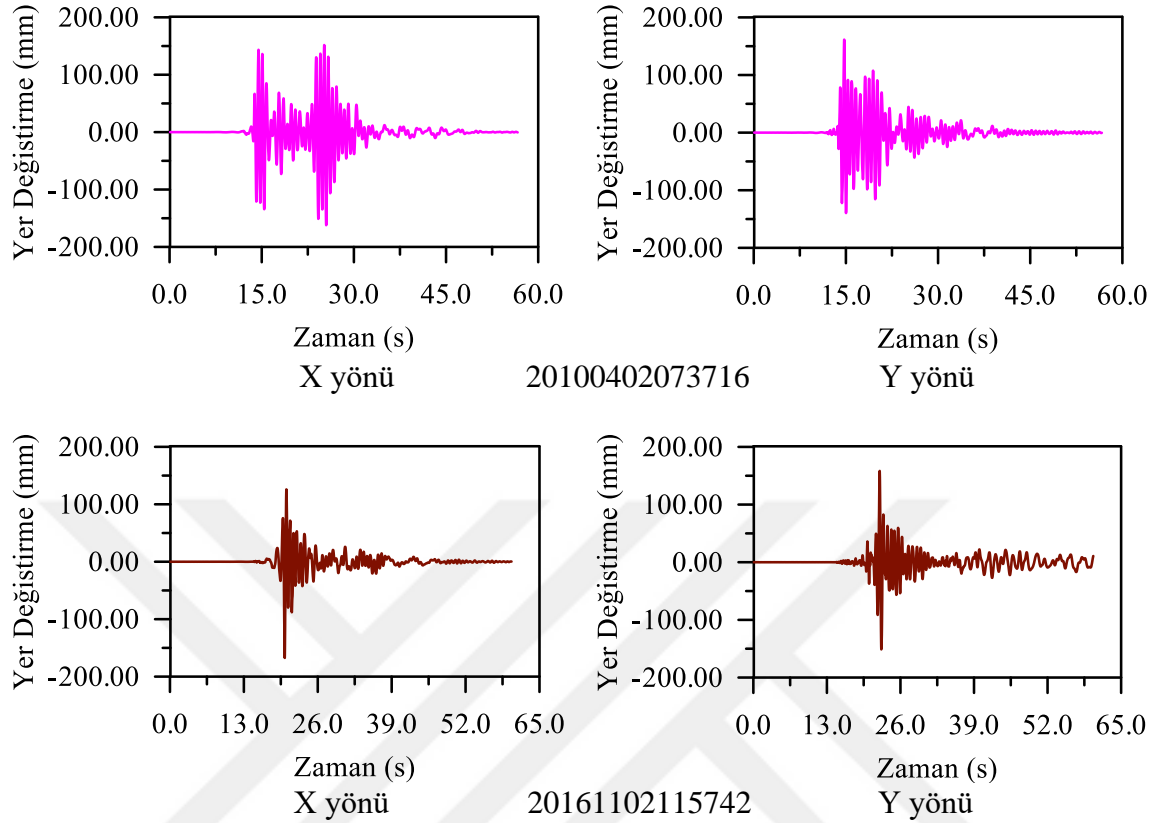
Şekil 2.48. Maksimum yer değiştirmelerin zamanla değişimi

Şekil 2.48'in devamı





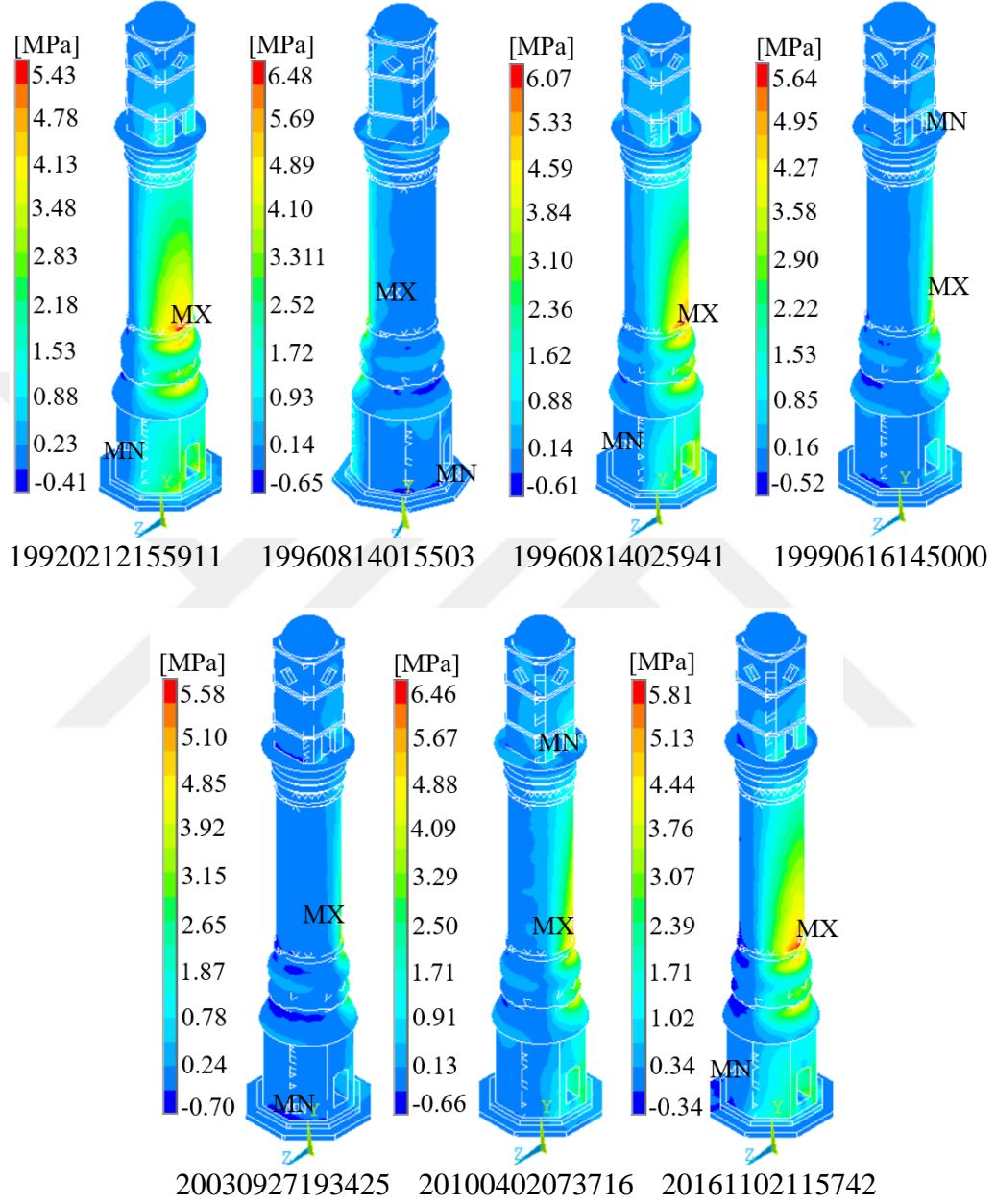
Şekil 2.48'in devamı



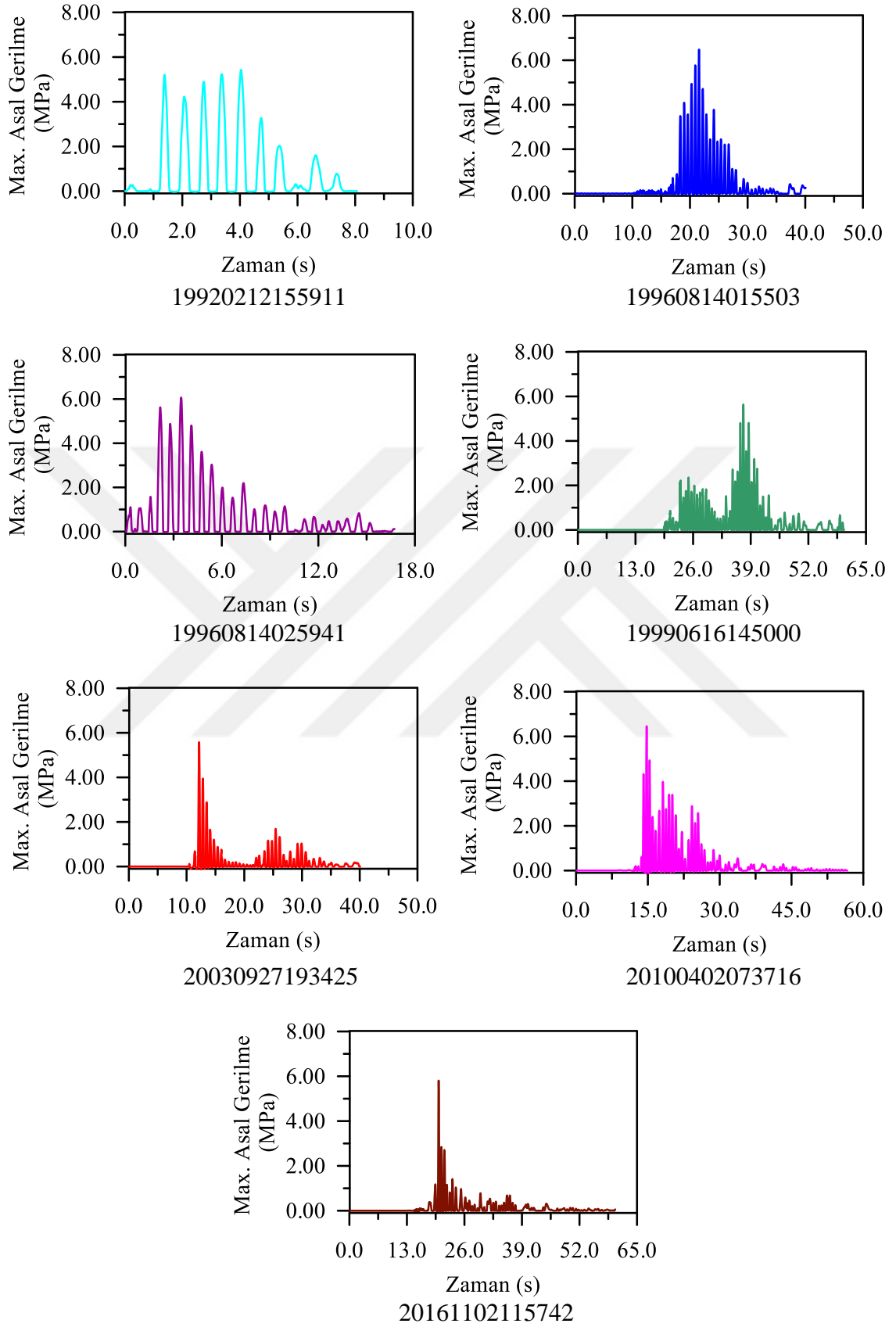
#### 2.5.4.2. Asal Gerilmeler

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen maksimum asal gerilme (çekme gerilmesi) kontur diyagramları Şekil 2.49'da verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, maksimum asal gerilmeler tüm yer hareketi kayıtları için kaide ile silindirik gövde arasındaki geçiş bölgesinde meydana gelmiştir. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde en büyük çekme gerilmesi değeri, DK2'nin uygulanması sonucu yapı geçiş bölgesinde 6.48MPa olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler, yapı silindirik gövdesinde yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca azalış göstermektedir. Benzer gerilme dağılımları DK4, DK5 ve DK6'nın uygulanması sonucunda da elde edilmiş olup maksimum asal gerilme değerleri sırasıyla 5.64MPa, 5.58MPa ve 6.46MPa'dır. DK1, DK3 ve DK7'nin uygulanması sonucunda ise maksimum asal gerilme değerleri sırasıyla 5.43MPa, 6.07MPa ve 5.81MPa olup yapı geçiş bölgesinde meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler silindirik gövdede ve kaide

bölgesindeki kapı kenarlarında yoğunlaşmaktadır. Maksimum asal gerilmeler için tüm analizlerden elde edilen zaman geçmişi grafikleri Şekil 2.50’de verilmiştir.

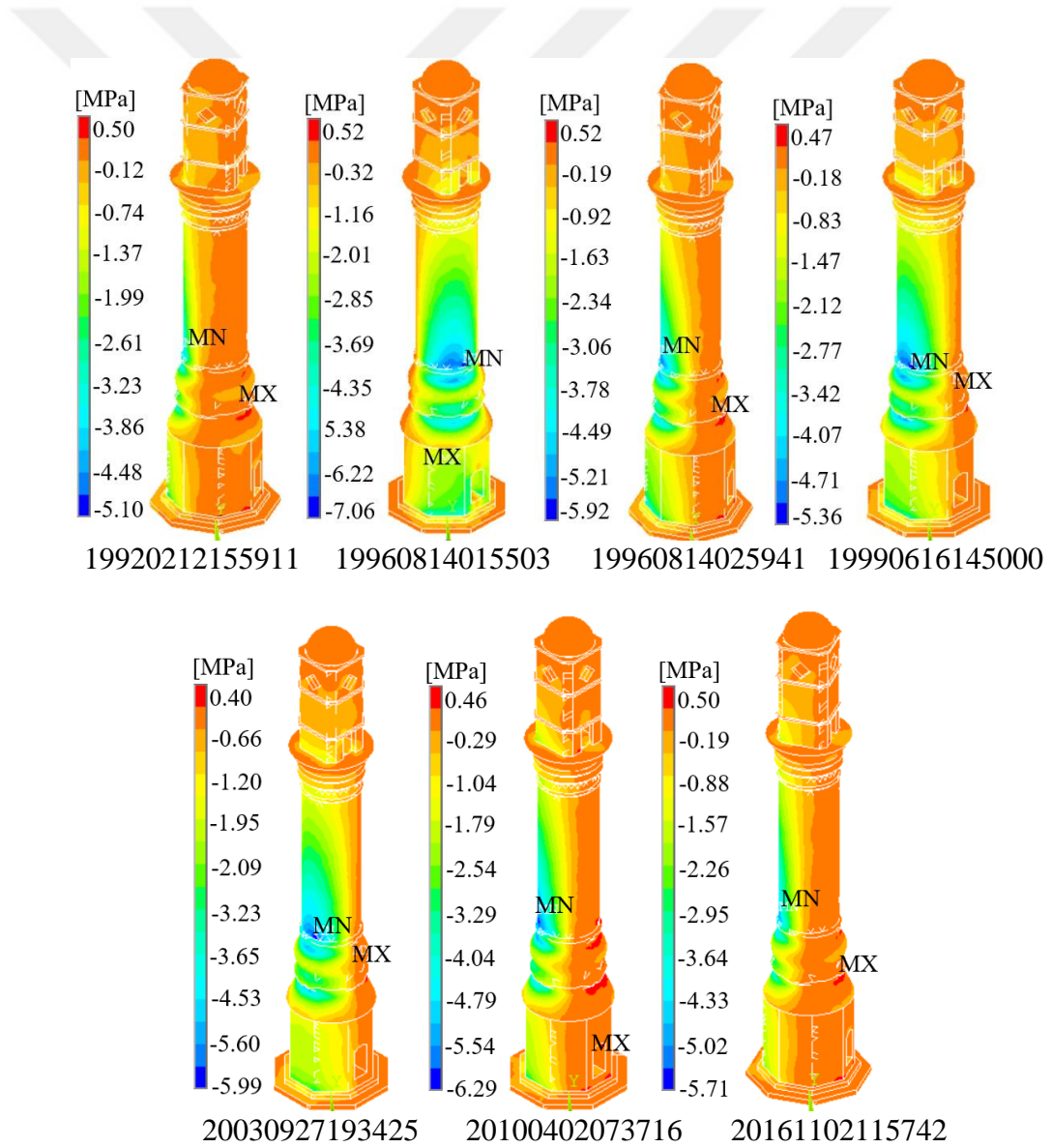


Şekil 2.49. Maksimum asal gerilme kontur diyagramları

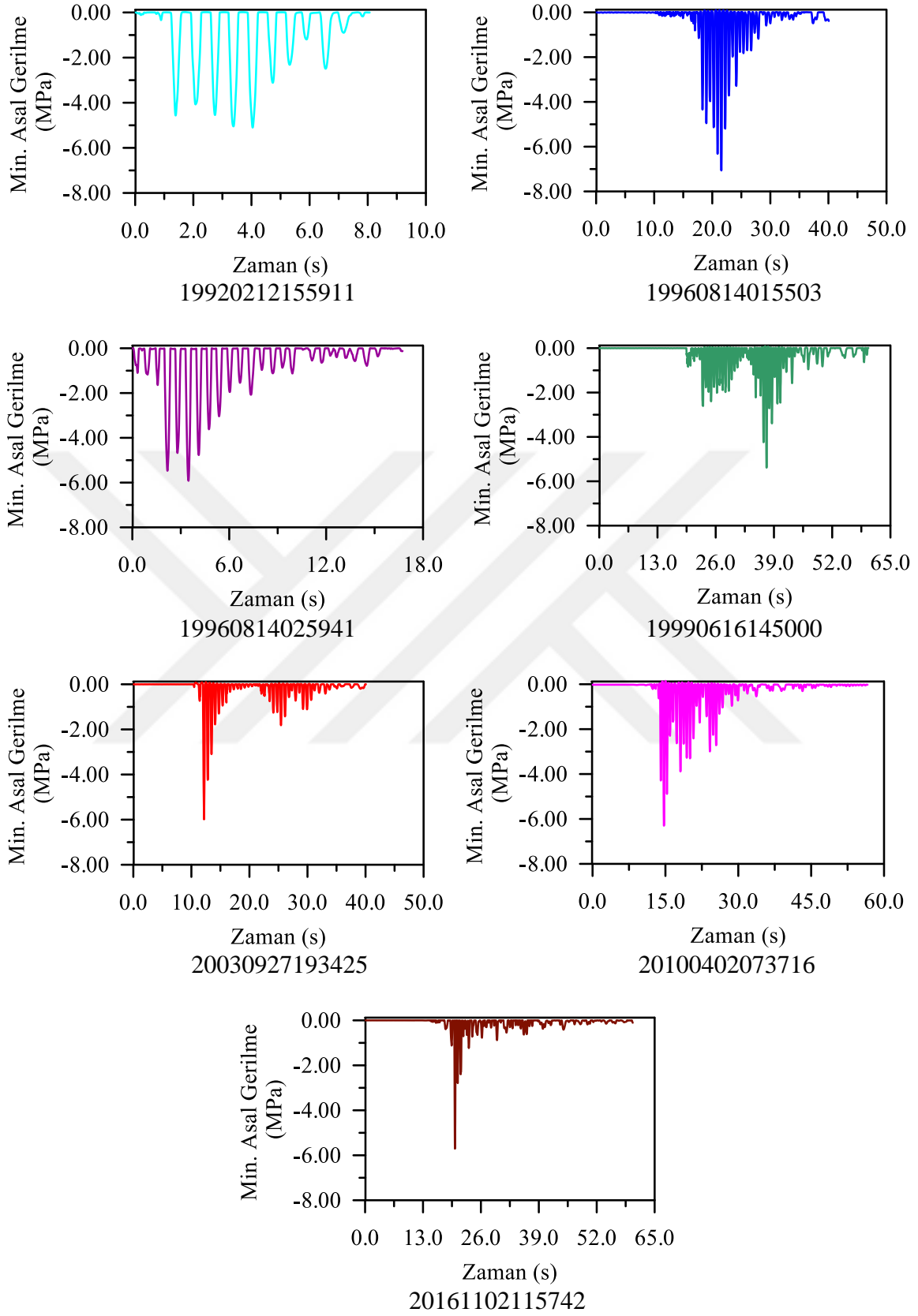


Şekil 2.50. Maksimum asal gerilmelerin zamanla değişimi

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen minimum asal gerilme (basınç gerilmesi) kontur diyagramları Şekil 2.51’de verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, tüm kayıtlar için minimum asal gerilmeler kaide ile silindirik gövde arasındaki geçiş bölgesinde oluşmaktadır. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde minimum basınç gerilmesi değeri, DK2’nin uygulanması sonucu yapı geçiş bölgesinde 7.06MPa olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki gerilmeler, yapı silindirik gövdesinde ve kaide bölgesindeki giriş kapısı kenarlarında yoğunlaşmaktadır. Benzer gerilme dağılımları diğer kayıtlar için de elde edilmiş olup minimum asal gerilme değerleri 5.10MPa ile 6.29MPa arasında değişmektedir. Minimum asal gerilmeler için elde edilen zaman geçmişi grafikleri Şekil 2.52’de verilmiştir.



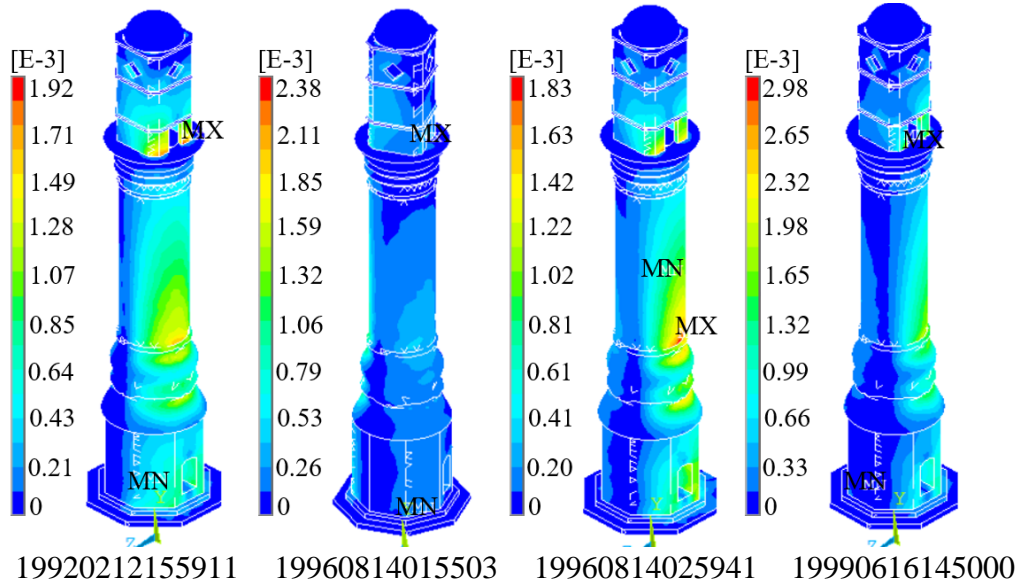
Şekil 2.51. Minimum asal gerilme kontur diyagramları



Şekil 2.52. Minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi

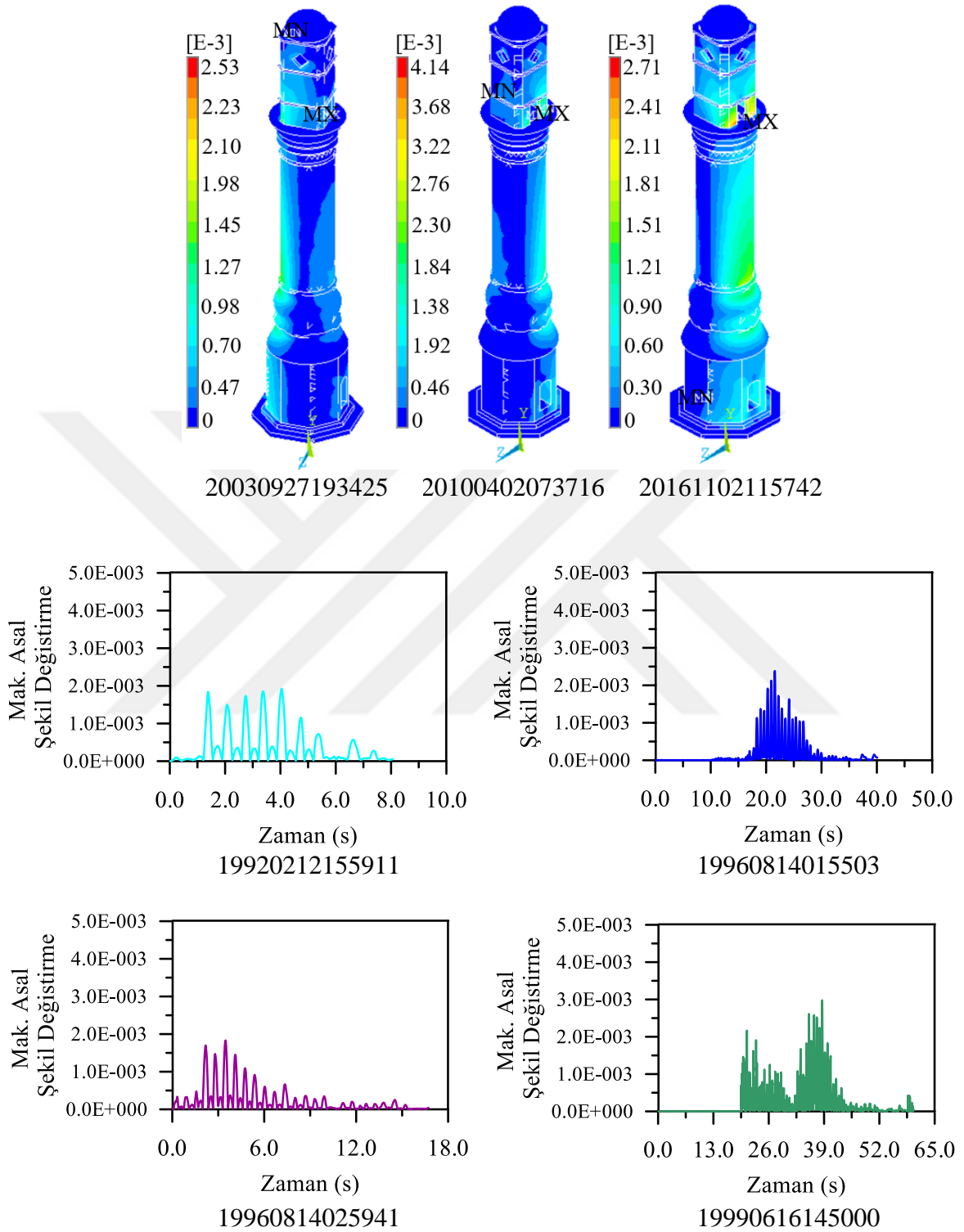
### 2.5.4.3. Asal Şekil Değişiklikleri

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları Şekil 2.53’de verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, maksimum asal şekil değişiklikleri uygulanan yer hareketi kayıtlarına göre değişiklik göstermekte olup yapı üst gövdesinde ve kaide ile silindirik gövde arasındaki geçiş bölgesinde oluşmaktadır. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde en büyük asal şekil değiştirme değeri, DK6’nın uygulanması sonucu yapı üst gövdesinde  $4.14E-3$  olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki şekil değişiklikleri, yapı silindirik gövdesinde yoğunlaşmakta olup yükseklik boyunca azalış göstermektedir. Benzer şekil değiştirme dağılımları DK2, DK4 ve DK5’in uygulanmasıyla da elde edilmiş olup maksimum asal şekil değiştirme değerleri sırasıyla  $2.38E-3$ ,  $2.98E-3$  ve  $2.53E-3$ ’dür. DK3’ün uygulanması sonucu maksimum asal şekil değiştirme değeri yapı geçiş bölgesinde  $1.83E-3$  olarak elde edilmiştir. DK1 ve DK7’nin uygulanması sonucunda ise maksimum asal şekil değiştirme değerleri  $1.92E-3$  ve  $2.71E-3$  olup yapı üst gövdesindeki kapı kenarlarında meydana gelmiştir ve şekil değiştirme dağılımları kapının bulunduğu cephe boyunca silindirik gövdede yoğunlaşmaktadır. Maksimum asal şekil değişiklikleri için tüm analizlerden elde edilen zaman geçmişi grafikleri Şekil 2.54’de verilmiştir.



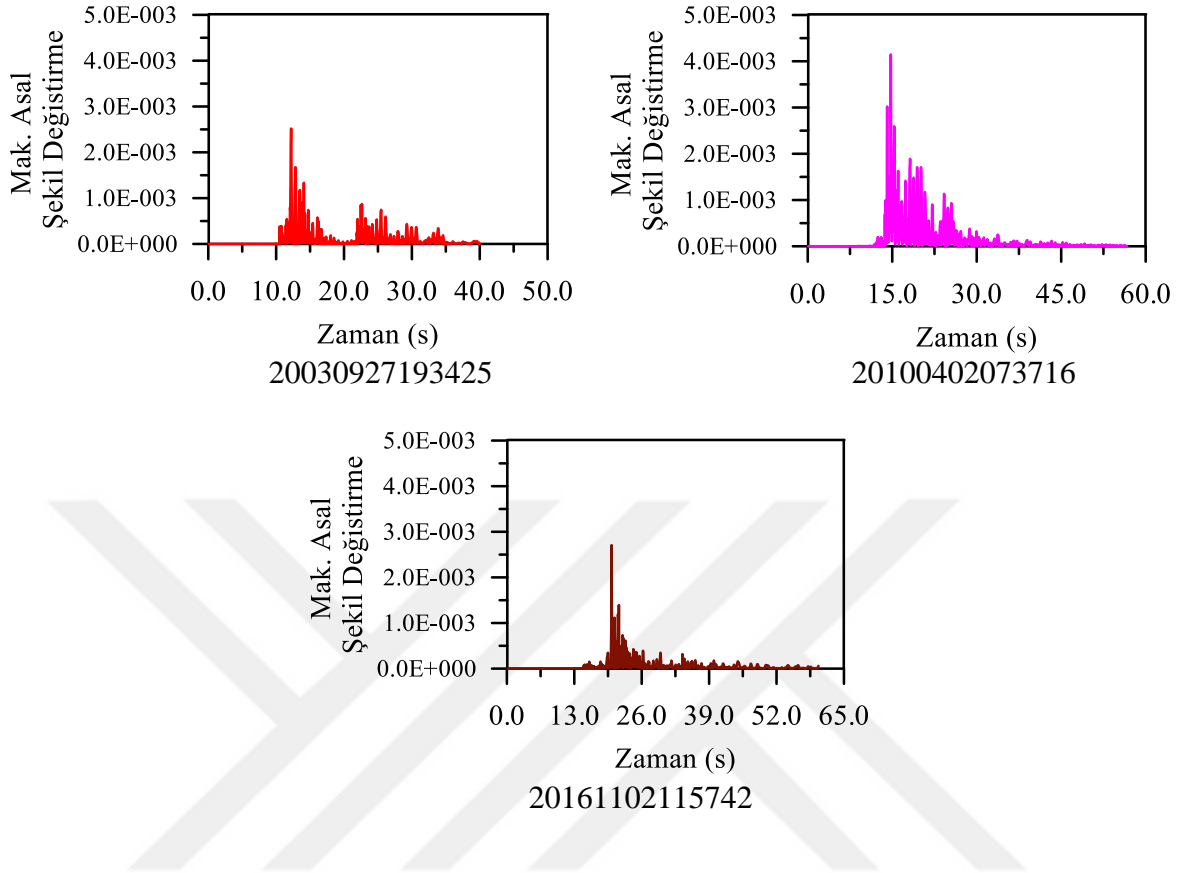
Şekil 2.53. Minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları

Şekil 2.53'ün devamı



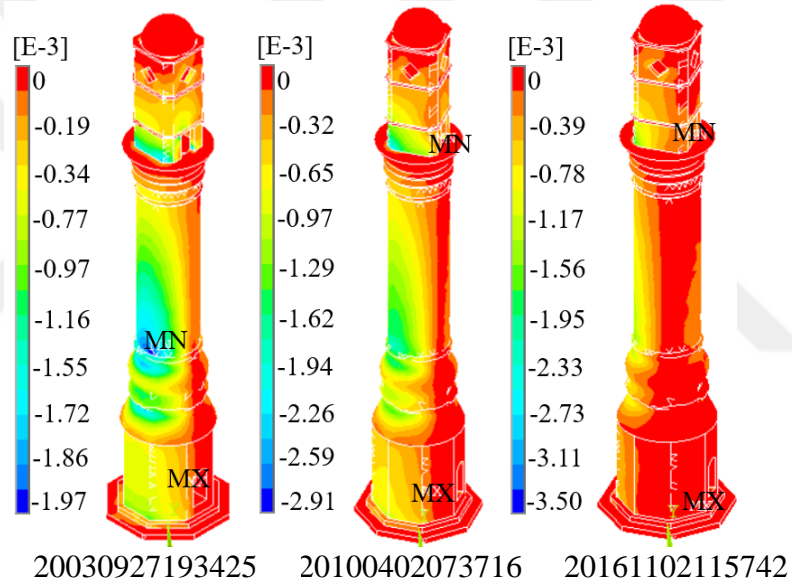
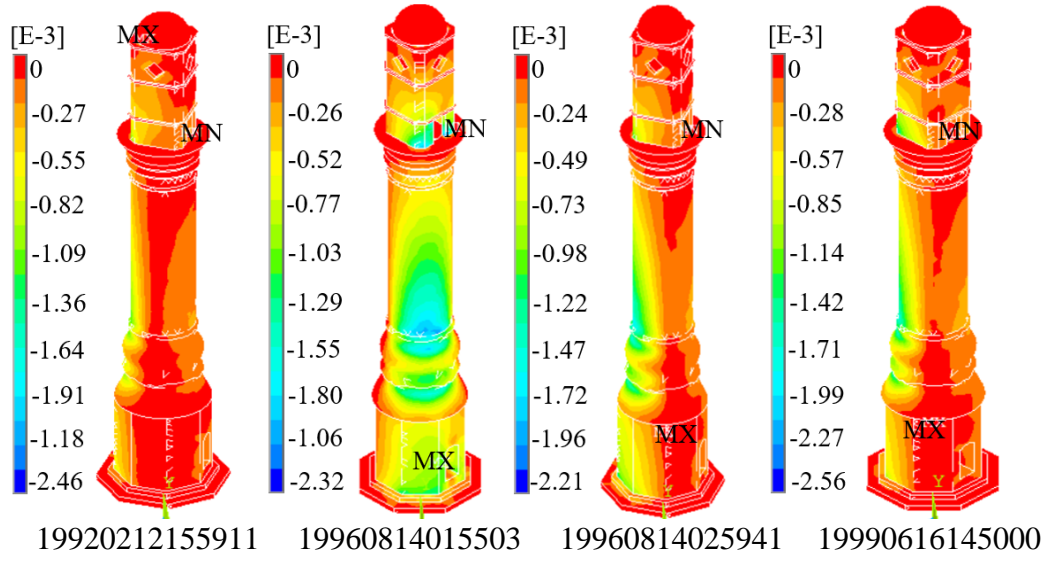
Şekil 2.54. Maksimum asal şekil değişirmelerin zamanla değişimi

Şekil 2.54'ün devamı

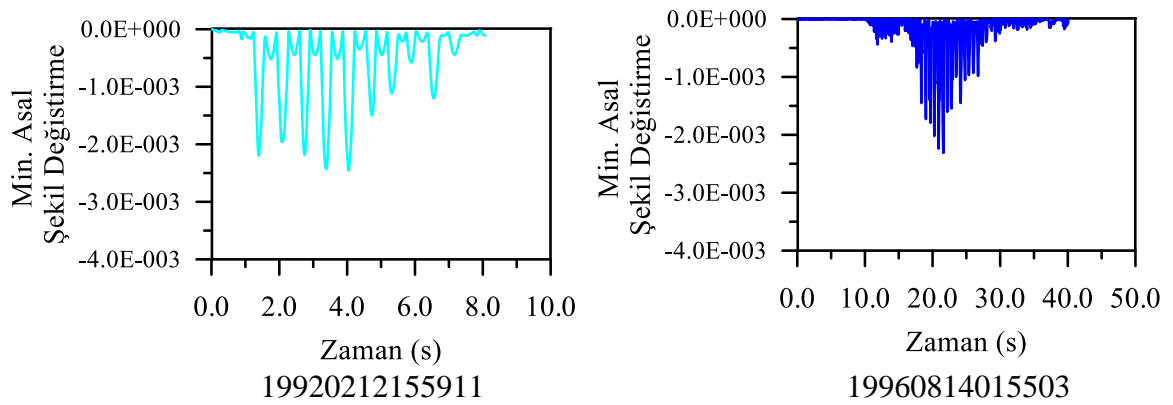


Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları Şekil 2.55'de verilmiştir. Kontur diyagramlarından görüldüğü üzere, minimum asal şekil değiştirmeler uygulanan yer hareketi kayıtlarına göre değişiklik göstermekte olup yapı üst gövdesinde ve kaide ile silindirik gövde arasındaki geçiş bölgesinde oluşmaktadır. Gerçekleştirilen dinamik analizlerde en küçük asal şekil değiştirme değeri, DK7'nin uygulanması sonucu yapı üst gövdesinde  $3.50E-3$  olarak elde edilmiştir. Bu kısımlar haricindeki şekil değiştirmeler yükseklik boyunca silindirik gövdede yoğunlaşmaktadır. Benzer şekil değiştirme dağılımları DK1, DK3, DK4 ve DK6'nın uygulanmasıyla da elde edilmiş olup minimum asal şekil değiştirme değerleri sırasıyla  $2.46E-3$ ,  $2.21E-3$ ,  $2.56E-3$  ve  $2.91E-3$ 'tür. DK5'in uygulanması sonucu minimum asal şekil değiştirme değeri  $1.97E-3$  olup kaide ile silindirik gövde arasındaki geçiş bölgesinde meydana gelmiştir. DK2'nin uygulanması sonucunda ise minimum asal şekil değiştirme değeri  $2.32E-3$  olup yapı üst gövdesindeki kapı kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricindeki şekil değiştirmeler kapının bulunduğu cephede yoğunlaşmaktadır. Minimum asal şekil değiştirmeler için tüm analizlerden elde edilen zaman geçmişi grafikleri Şekil 2.56'da verilmiştir.



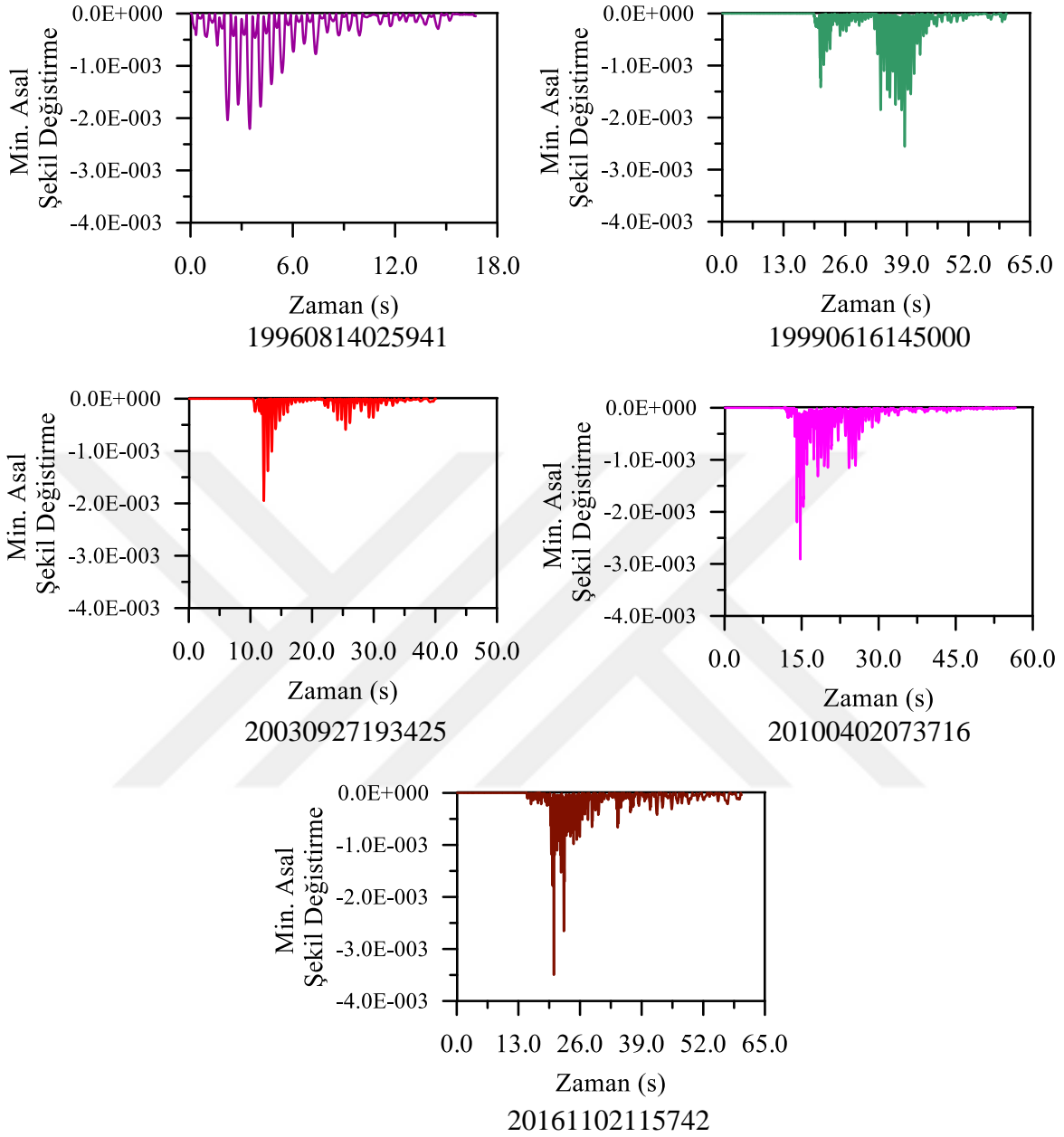


Şekil 2.55. Minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları



Şekil 2.56. Minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi

Şekil 2.56'nın devamı



Zaman tanım alanında gerçekleştirilen tüm analizlere ait sonuçlar Tablo 2.11-12'de toplu olarak verilmiştir. Gerilme tahkininde kullanılacak lokal olarak elde edilen ve yapının bütünü temsil etmeyen maksimum-minimum değerler ile yapı üzerinde genel olarak elde edilen gerilme değerleri Tablo 2. 14 ve Tablo 2.15'de özetlenmiştir.

Analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde, İstanbul Valiliği ve Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2017 ve TBDY-2018'de verilen kurallar dikkate alınmıştır.

TBDY-2018’de yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımının ( $f_k$ ), yığma numuneleri üzerinde yapılacak olan deneylerle doğrudan ya da kargir birimi ve harç numuneleri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen basınç dayanımı değerlerinin Tablo 2.13’e göre değerlendirilmesiyle iki farklı şekilde belirlenebileceği ifade edilmektedir. Taşıyıcı duvarların elastisite modülünün deneyler ile belirleneceği ancak bu deneylerin yapılamaması durumunda  $750f_k$  olarak kabul edileceği belirtilmektedir.

Tarihi yapıların önem sıralamasına göre önerilen performans hedefleri ve performans değerleri ile ilgili sınır değerler, Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu’nda verilmektedir. Kılavuza göre, Çorum Saat Kulesi yerel öneme sahip tarihi yapı sınıfına girmekte olup, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeylerinde “Göçmenin Önlenmesi” performans düzeyi beklenmektedir.

Tarihi bir yapı olması nedeniyle Çorum Saat Kulesi’nde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri ile ilgili deneysel çalışma bulunmamaktadır. Ancak Genç vd. (2019), hasarsız deneysel ölçümlere dayalı sonlu eleman model iyileştirmesi yaparak saat kulesine ait elamanların elastisite modülünü Tablo 2.1’deki gibi belirlemiştir. Tablo 2.1’de, zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizler sonucu gerilme ve şekil değiştirme dağılımlarının yoğunlaştığı üst gövdenin elastisite modülü 1050MPa, silindirik gövdenin ve kaidenin elastisite modülü ise 3250MPa olarak verilmiştir. TBDY-2018’de elastisite modülünün  $750f_k$  değerine eşit kabul edilmesi durumu dikkate alınırsa karakteristik basınç dayanımı değeri 4.33MPa olarak belirlenmiştir. Bu değer Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu’nda verilen malzeme dayanımları ile de benzerlik göstermektedir. Karakteristik çekme dayanımı ise yığma yapılar için karakteristik basınç dayanımının yaklaşık %10’u olarak kabul edilmektedir ve saat kulesi için 0.43MPa olarak dikkate alınmıştır.

Tablo 2.11. Tek doğrultuda gerçekleştirilen analiz sonuçları

Kayıtlar	Tek Doğrultuda Gerçekleştirilen Analizler									
	Basit Ölçeklendirme Yöntemi İle Elde Edilen Kayıtların Uygulanması					Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürme Yöntemi İle Elde Edilen Kayıtların Kullanılması				
	Mak. Yer Değişirme (mm)	Mak. Asal Gerilme (MPa)	Min. Asal Gerilme (MPa)	Mak. Asal Şekil Değişirme	Min. Asal Şekil Değişirme	Mak. Yer Değişirme (mm)	Mak. Asal Gerilme (MPa)	Min. Asal Gerilme (MPa)	Mak. Asal Şekil Değişirme	Min. Asal Şekil Değişirme
19920212155911	42.5	1.60	1.32	0.00163	0.00119	158.6	5.08	4.95	0.00178	0.00280
19960814015503	28.6	1.72	1.42	0.00174	0.00129	179.7	6.06	6.22	0.00281	0.00209
19960814025941	73.8	2.40	2.46	0.00217	0.00254	160.7	5.49	5.35	0.00166	0.00203
19990616145000	31.7	1.31	1.59	0.00118	0.00161	161.0	5.44	5.58	0.00218	0.00168
20030927193425	19.9	1.08	0.92	0.00113	0.00083	158.6	5.22	5.35	0.00235	0.00175
20100402073716	45.9	1.51	1.56	0.00116	0.00161	162.1	5.58	5.44	0.00201	0.00158
20161102115742	41.4	1.28	1.45	0.00108	0.00146	167.4	5.60	5.45	0.00247	0.00333

Tablo 2.12. Çift doğrultuda gerçekleştirilen analiz sonuçları

Çift Doğrultuda Gerçekleştirilen Analizler						
Basit Ölçeklendirme Yöntemi İle Elde Edilen Kayıtların Uygulanması						
Kayıtlar	Mak. Yer Değişirme (X Yönü) (mm)	Mak. Yer Değişirme (Y Yönü) (mm)	Mak. Asal Gerilme (MPa)	Min. Asal Gerilme (MPa)	Mak. Asal Şekil Değişirme	Min. Asal Şekil Değişirme
19920212155911	44.9	41.2	1.74	1.54	0.00111	0.00158
19960814015503	28.6	30.9	1.40	1.49	0.00179	0.00160
19960814025941	73.8	62.9	2.59	2.66	0.00139	0.00141
19990616145000	31.7	26.7	1.43	1.57	0.00134	0.00168
20030927193425	19.9	31.6	1.27	1.05	0.00134	0.00119
20100402073716	45.9	65.7	2.4	2.35	0.00189	0.00173
20161102115742	41.4	22.2	1.47	1.27	0.00144	0.00167
Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürme Yöntemi İle Elde Edilen Kayıtların Kullanılması						
Kayıtlar	Mak. Yer Değişirme (X Yönü) (mm)	Mak. Yer Değişirme (Y Yönü) (mm)	Mak. Asal Gerilme (MPa)	Min. Asal Gerilme (MPa)	Mak. Asal Şekil Değişirme	Min. Asal Şekil Değişirme
19920212155911	158.6	145.8	5.43	5.10	0.00192	0.00246
19960814015503	179.9	163.0	6.48	7.06	0.00238	0.00232
19960814025941	160.60	157.3	6.07	5.92	0.00183	0.00221
19990616145000	160.9	161.5	5.64	5.36	0.00298	0.00256
20030927193425	158.6	148.3	5.58	5.99	0.00253	0.00197
20100402073716	162.2	160.9	6.46	6.29	0.00414	0.00291
20161102115742	167.5	158.3	5.81	5.71	0.00271	0.00350

Tablo 2.13. Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı,  $f_k$  (MPa), (TBDY-2018).

Birim Sınıfı	Harç Sınıfı	Harç basınç dayanımı, $f_m$ (MPa)*	Kargir birim basınç dayanımı, $f_b$ (MPa)					
			5	10	15	20	25	30
Grup I	Genel amaçlı harç	M10-M20	3.4-4.2	5.5-6.8	7.3-9.0	8.9-11.0	10.4-12.9	11.9-14.6
		M2.5-M9	2.2-3.3	3.6-5.3	4.8-7.1	5.9-8.7	6.9-10.1	7.8-11.5
		M1-M2	1.7-2.1	2.8-3.4	3.7-4.5	4.5-5.5	5.2-6.4	5.9-7.3
Grup II ve kesme taş		M10-M20	2.8-3.4	4.5-5.5	6.0-7.4	7.3-9.0	8.5-10.5	9.7-12.0
		M2.5-M9	1.8-2.7	3.0-4.4	3.9-5.8	4.8-7.1	5.6-8.3	6.4-9.4
		M1-M2	1.4-1.7	2.3-2.8	3.0-3.7	3.7-4.5	4.3-5.3	4.9-6.0
Tuğla (Grup I)	İnce tabakalı harç**		2.9	5.3	7.5	9.6	11.6	13.5
Tuğla (Grup II)			2.2-3	3.5	4.7	5.7	6.7	7.6
Beton (Grup I) Gazbeton			3.1	5.7	8.0	10.2	12.3	14.4
Beton (Grup II)			2.6	4.6	6.5	8.3	10.0	11.7
(*) Harçlar M harfini takip eden rakam MPa cinsinden karakteristik basınç dayanımlarını gösterecek şekilde isimlendirilmiştir. (**) İnce tabakalı harç, birimler arası harç tabakası 0.5 mm ile 3.0 mm olan harç.								

Tablo 2.14. Tek doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu elde edilen lokal ve genel gerilme değerleri

Kayıtlar	Tek Doğrultuda Gerçekleştirilen Analizler							
	Basit Ölçeklendirme Yöntemi İle Elde Edilen Kayıtların Uygulanması				Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürme Yöntemi İle Elde Edilen Kayıtların Kullanılması			
	Çekme Gerilmeleri		Basınç Gerilmeleri		Çekme Gerilmeleri		Basınç Gerilmeleri	
	Mak. Değerler (MPa)	Genel Değerler (MPa)	Min. Değerler (MPa)	Genel Değerler (MPa)	Mak. Değerler (MPa)	Genel Değerler (MPa)	Min. Değerler (MPa)	Genel Değerler (MPa)
19920212155911	1.60	1.01	1.32	0.83	5.08	3.87	4.95	3.14
19960814015503	1.72	1.08	1.42	0.88	6.06	4.58	6.22	3.98
19960814025941	2.40	1.81	2.46	1.57	5.49	4.16	5.35	3.39
19990616145000	1.31	0.98	1.59	0.99	5.44	4.11	5.58	3.57
20030927193425	1.08	0.68	0.92	0.69	5.22	3.94	5.35	3.42
20100402073716	1.51	1.14	1.56	1.18	5.58	4.24	5.44	3.45
20161102115742	1.28	0.97	1.45	0.91	5.60	4.28	5.45	3.47

Tablo 2.15. Çift doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu elde edilen lokal ve genel gerilme değerleri

Kayıtlar	Çift Doğrultuda Gerçekleştirilen Analizler							
	Basit Ölçeklendirme Yöntemi İle Elde Edilen Kayıtların Uygulanması				Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürme Yöntemi İle Elde Edilen Kayıtların Kullanılması			
	Çekme Gerilmeleri		Basınç Gerilmeleri		Çekme Gerilmeleri		Basınç Gerilmeleri	
	Mak. Değerler (MPa)	Genel Değerler (MPa)	Min. Değerler (MPa)	Genel Değerler (MPa)	Mak. Değerler (MPa)	Genel Değerler (MPa)	Min. Değerler (MPa)	Genel Değerler (MPa)
19920212155911	1.74	1.31	1.54	1.11	5.43	3.48	5.10	3.23
19960814015503	1.40	1.05	1.49	0.99	6.48	4.89	7.06	4.35
19960814025941	2.59	1.96	2.66	1.70	6.07	3.84	5.92	3.78
19990616145000	1.43	1.08	1.57	0.99	5.64	4.27	5.36	3.42
20030927193425	1.27	0.80	1.05	0.64	5.58	4.85	5.99	3.65
20100402073716	2.4	1.83	2.35	1.50	6.46	4.88	6.29	4.04
20161102115742	1.47	1.29	1.27	1.17	5.81	4.44	5.71	3.64



Tablo 2.11-12 ve Tablo 2.14-15’de verilen analiz sonuçları incelendiğinde aşağıda belirtilen çıkarımlar yapılmıştır:

1. Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu’na göre basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen her bir yer hareketi kaydı için tek ve çift doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu elde edilen maksimum yer değiştirme değerleri dikkate alındığında, hesaplanan öteleme oranı % 0.3 değerini aşmamakta ve yapı taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği (doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı) sınırlı hasar (SH) seviyesinde kalmaktadır. Spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemi ile ölçeklendirilen her bir yer hareketi kaydı için ise tek ve çift doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu hesaplanan bu değer % 0.6-0.7 arasında değişmekte ve yapı taşıyıcı sistem elemanlarında genellikle onarılması mümkün olan kontrollü hasar (KH) seviyesinde kabul edilmektedir.
2. Spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemi ile ölçeklendirilen her bir yer hareketi kaydı için tek ve çift doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu oluşan lokal gerilme değerlerinin, belirlenen 0.43MPa değerindeki çekme dayanımı ve 4.33MPa değerindeki basınç dayanımı değerlerini aştığı gözlemlenmiştir. Diğer yandan basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen kayıtların analizlerde kullanılması ile oluşan lokal çekme gerilmesi değerleri çekme dayanımı değerini aşarken lokal basınç gerilmeleri basınç dayanımı değerinin altında kalmaktadır.
3. Analizler sonucu yapı üzerinde genel olarak elde edilen gerilme değerleri dikkate alındığında ise spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemi ile ölçeklendirilen kayıtların kullanılması sonucu oluşan genel çekme gerilmelerinin çekme dayanımını aştığı ve genel basınç gerilmelerinin basınç dayanımına yakın değerlerde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Diğer yandan basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen kayıtların analizlerde kullanılması ile oluşan genel çekme gerilmelerinin çekme dayanımına yakın değerlerde meydana gelirken genel basınç gerilmelerinin ise basınç dayanımı değerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir.
4. Tek doğrultuda gerçekleştirilen zaman tanım alanında analizlerde, basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen kayıtların kullanılması durumunda daha küçük yer değiştirme, maksimum ve minimum asal gerilme değerleri elde edilmiştir (Şekil 2.57-58). Maksimum asal şekil değiştirme değerleri, DK3’ün uygulandığı analiz dışında spektral uyum sağlanacak şekilde ölçeklendirilen kayıtların kullanıldığı analizlere göre azalış

göstermiştir. Benzer şekilde minimum asal şekil değiştirme değerlerinin de DK3 ve DK5'in uygulandığı analizler dışında azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 2.59).

5. Çift doğrultuda gerçekleştirilen zaman tanım alanında analizlerde, basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen kayıtların kullanılması durumunda daha küçük yer değiştirme, asal gerilme ve şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir (Şekil 2.60-62).

6. Basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen kayıtların tek ve çift doğrultuda analizlerde kullanılması durumunda, asal gerilme ve şekil değiştirme değerlerinde uygulanan kayda göre artış ve azalış gözlemlenmiştir (Şekil 63-64). Benzer durum spektral uyuşum sağlanacak şekilde dönüştürülen kayıtların tek ve çift doğrultuda analizlerde kullanılmasında da gözlemlenmiştir. (Şekil 2.65-66).

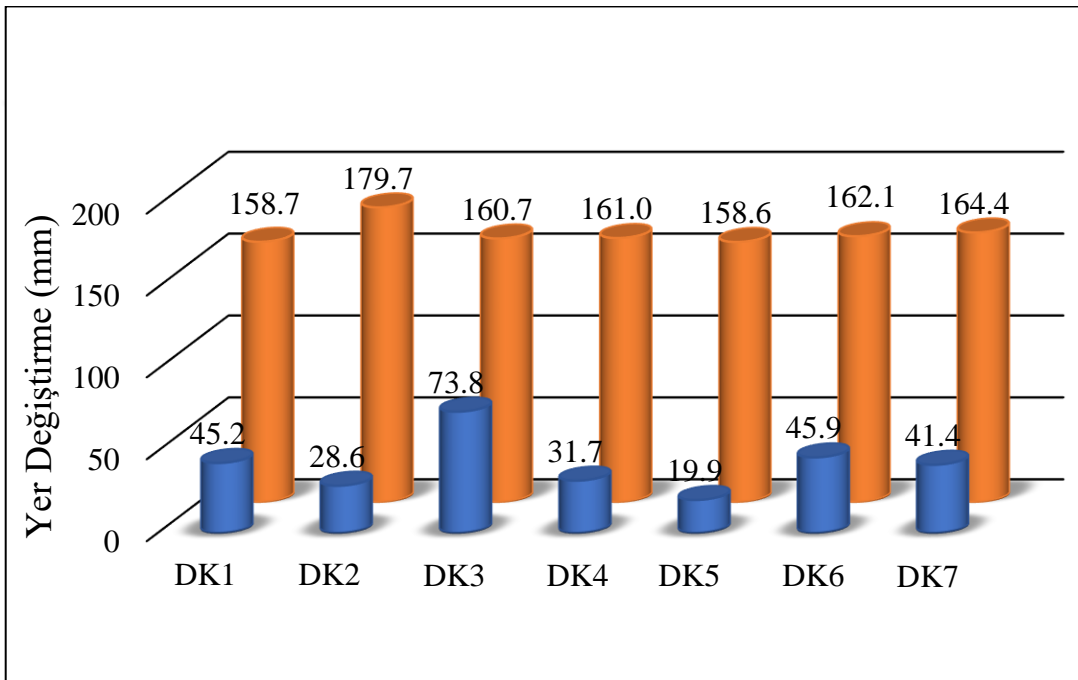
7. Genel olarak, basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen kayıtların uygulandığı analizlerde yer değiştirme, asal gerilme ve şekil değiştirme değerlerinde önemli ölçüde azalışlar görülmektedir (Şekil 2.67-69).

Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde  
Dönüştürme Yöntemi İle Elde Edilen  
Kayıtların Tek Doğrultuda Uygulanması

DK1	158.7mm
DK2	179.7mm
DK3	160.7mm
DK4	161.0mm
DK5	158.6mm
DK6	162.1mm
DK7	164.4mm

Basit Ölçeklendirme Yöntemi İle  
Elde Edilen Kayıtların Tek  
Doğrultuda Uygulanması

DK1	45.2mm
DK2	28.6mm
DK3	73.8mm
DK4	31.7mm
DK5	19.9mm
DK6	45.9mm
DK7	41.4mm



Kayıtlar

DK1-19920212155911	DK3-19960814025941	DK5-20030927193425
DK2-19960814015503	DK4-19990616145000	DK6-20100402073716
	DK7-20161102115742	

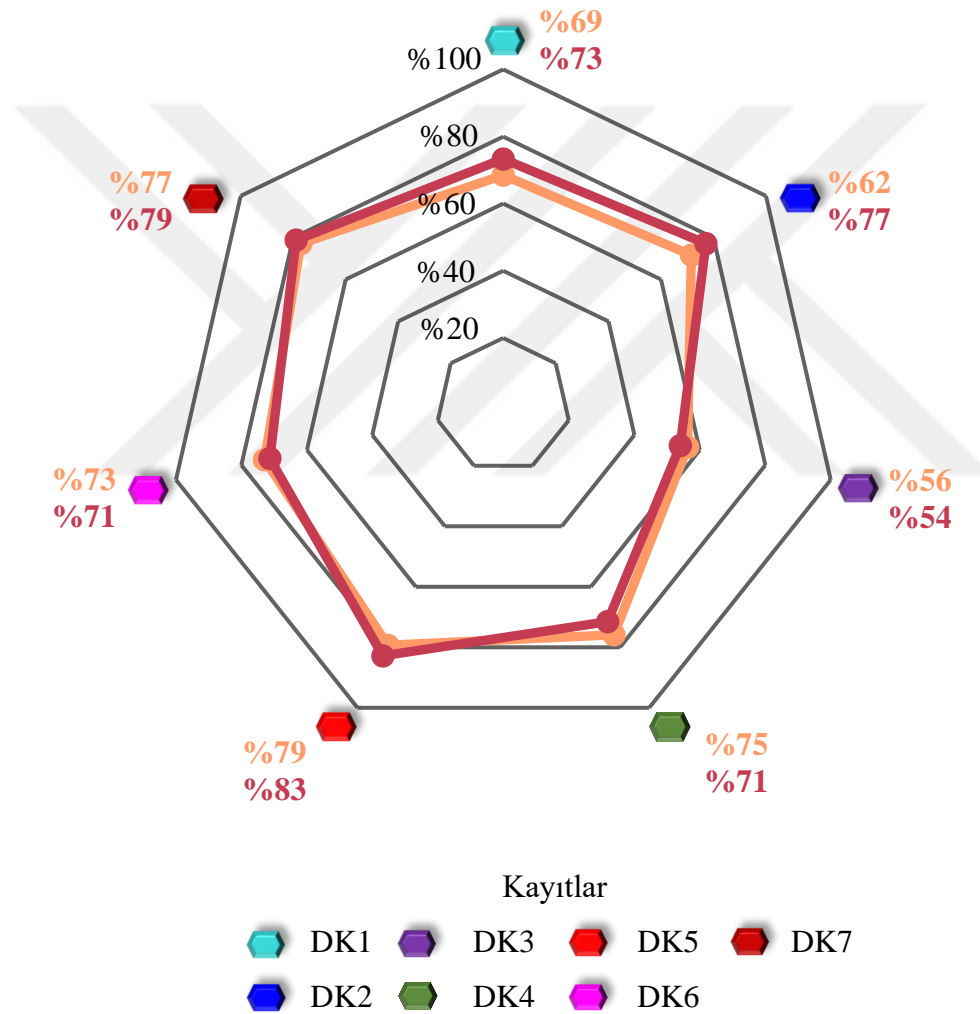
Şekil 2.57 Tek doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması

Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde  
Dönüştürme Yöntemi İle Elde Edilen  
Kayıtların Tek Doğrultuda Uygulanması

5.08MPa	4.95MPa
6.06MPa	6.22MPa
5.49MPa	5.35MPa
5.44MPa	5.58MPa
5.22MPa	5.35MPa
5.58MPa	5.44MPa
5.56MPa	5.45MPa

Basit Ölçeklendirme Yöntemi İle Elde  
Edilen Kayıtların Tek Doğrultuda  
Uygulanması

1.60MPa	1.32MPa
1.72MPa	1.42MPa
2.40MPa	2.46MPa
1.31MPa	1.59MPa
1.08MPa	0.92MPa
1.51MPa	1.56MPa
1.28MPa	1.15MPa



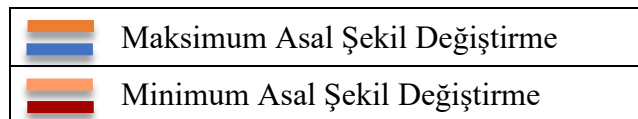
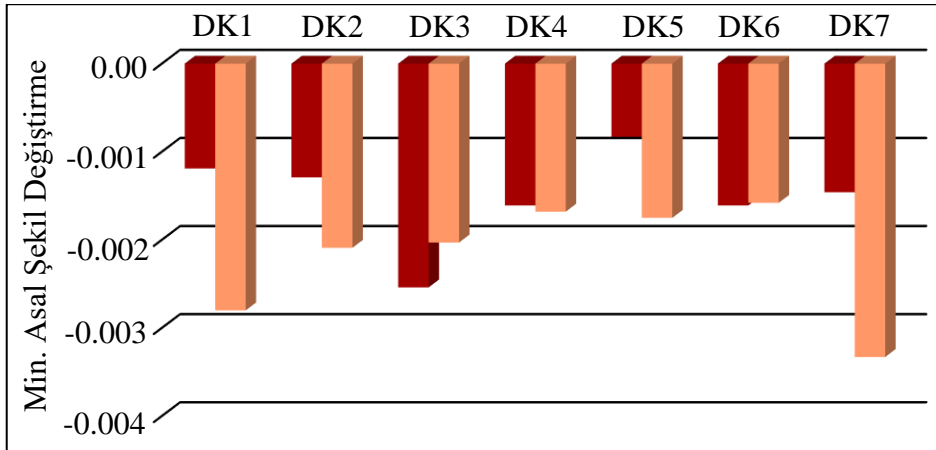
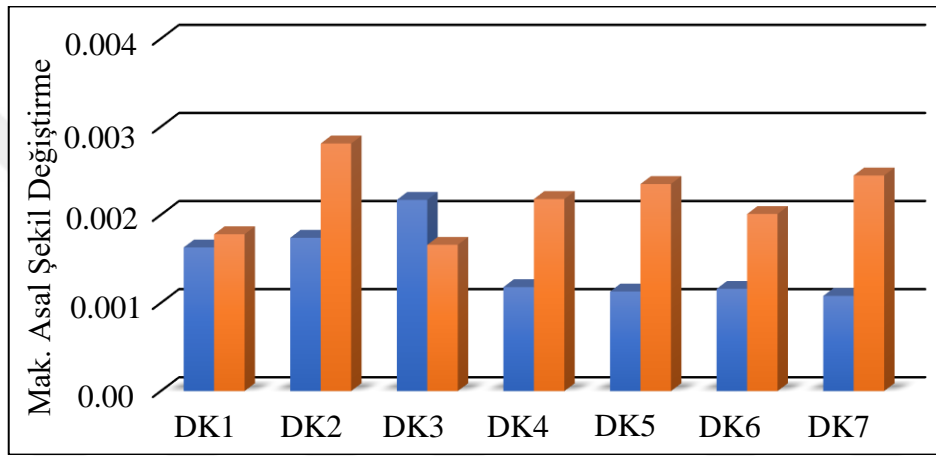
Maksimum Asal Gerilme	Minimum Asal Gerilme
-----------------------	----------------------

Şekil 2.58. Tek doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal gerilmelerin karşılaştırılması

Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde  
Dönüştürme Yöntemi İle Elde Edilen  
Kayıtların Tek Doğrultuda Uygulanması

Basit Ölçeklendirme Yöntemi İle Elde  
Edilen Kayıtların Tek Doğrultuda  
Uygulanması

DK1	0.00178	0.00280	DK1	0.00163	0.00119
DK2	0.00281	0.00209	DK2	0.00174	0.00129
DK3	0.00166	0.00203	DK3	0.00217	0.00254
DK4	0.00218	0.00168	DK4	0.00118	0.00161
DK5	0.00235	0.00175	DK5	0.00113	0.00083
DK6	0.00201	0.00158	DK6	0.00116	0.00161
DK7	0.00247	0.00333	DK7	0.00108	0.00146

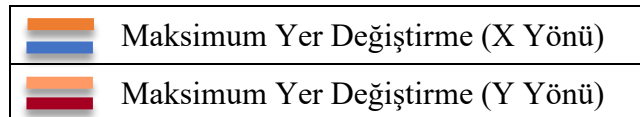
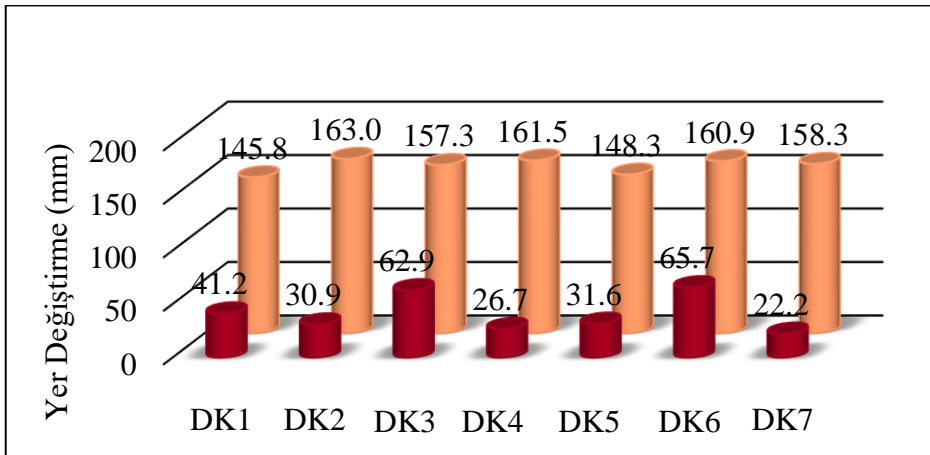
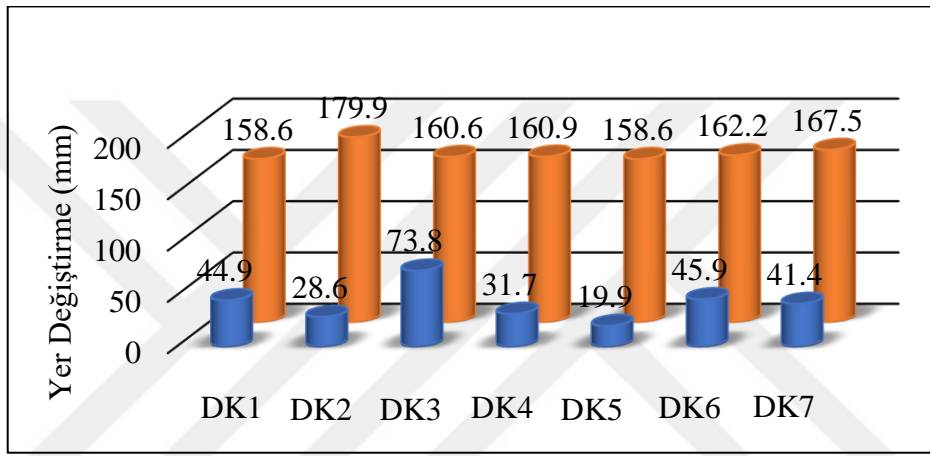


Şekil 2.59. Tek doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal şekil değişimlerinin karşılaştırılması

Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde  
Dönüştürme Yöntemi İle Elde Edilen  
Kayıtların Çift Doğrultuda Uygulanması








Basit Ölçeklendirme Yöntemi İle Elde  
Edilen Kayıtların Çift Doğrultuda  
Uygulanması

DK1	158.6mm	145.8mm	DK1	44.9mm	41.2mm
DK2	179.9mm	163.0mm	DK2	28.6mm	30.9mm
DK3	160.6mm	157.3mm	DK3	73.8mm	62.9mm
DK4	160.9mm	161.5mm	DK4	31.7mm	26.7mm
DK5	158.6mm	148.3mm	DK5	19.9mm	31.6mm
DK6	162.2mm	160.9mm	DK6	45.9mm	65.7mm
DK7	167.5mm	158.3mm	DK7	41.4mm	22.2mm










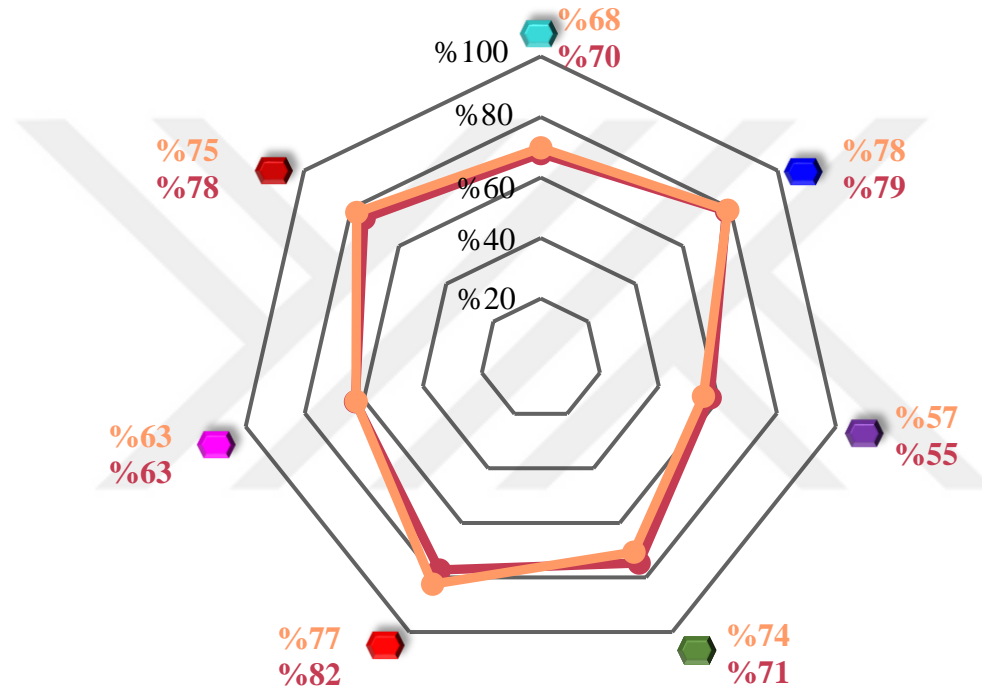
Şekil 2.60. Çift doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması

Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde  
Dönüştürme Yöntemi İle Elde Edilen  
Kayıtların Çift Doğrultuda Uygulanması





	5.43MPa	5.10MPa
	6.48MPa	7.06MPa
	5.07MPa	5.92MPa
	5.64MPa	5.36MPa
	5.58MPa	5.99MPa
	6.46MPa	6.29MPa
	5.81MPa	5.71MPa

Basit Ölçeklendirme Yöntemi İle Elde  
Edilen Kayıtların Çift Doğrultuda  
Uygulanması

	1.74MPa	1.54MPa
	1.40MPa	1.49MPa
	2.59MPa	2.66MPa
	1.43MPa	1.57MPa
	1.27MPa	1.05MPa
	2.40MPa	2.35MPa
	1.47MPa	1.27MPa



Kayıtlar

	DK1		DK3		DK5		DK7
	DK2		DK4		DK6		

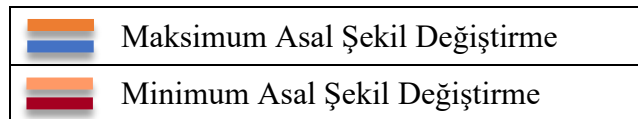
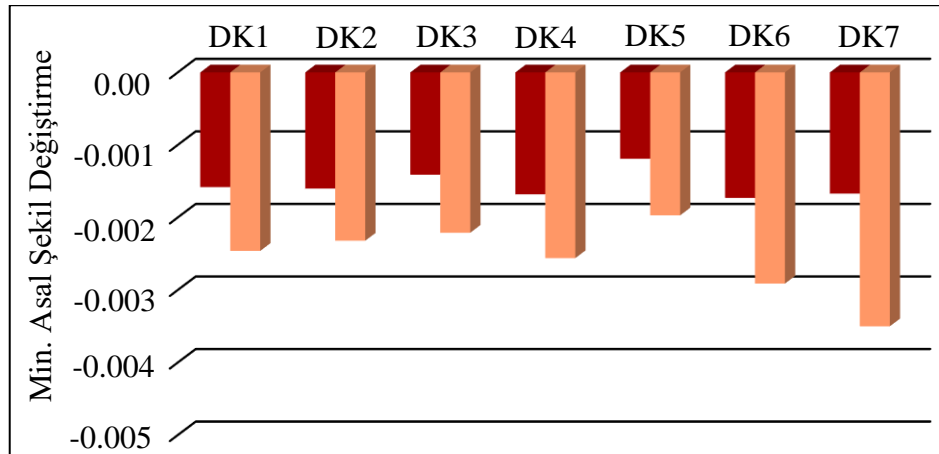
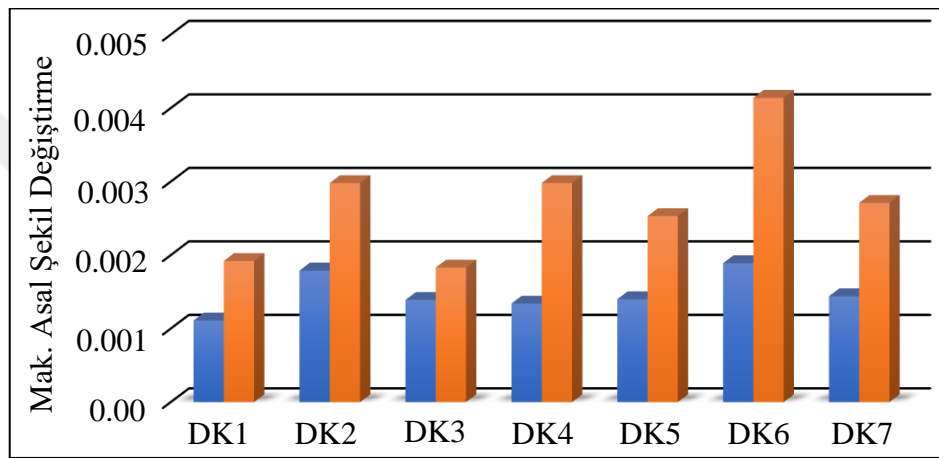
	Maksimum Asıl Gerilme		Minimum Asıl Gerilme
---	-----------------------	---	----------------------

Şekil 2.61. Çift doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal gerilmelerin karşılaştırılması

Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde  
Dönüştürme Yöntemi İle Elde Edilen  
Kayıtların Çift Doğrultuda Uygulanması

Basit Ölçeklendirme Yöntemi İle Elde  
Edilen Kayıtların Çift Doğrultuda  
Uygulanması

DK1	0.00192	0.00246	DK1	0.00111	0.00158
DK2	0.00298	0.00232	DK2	0.00179	0.00160
DK3	0.00183	0.00221	DK3	0.00139	0.00141
DK4	0.00298	0.00256	DK4	0.00134	0.00168
DK5	0.00253	0.00197	DK5	0.00140	0.00119
DK6	0.00414	0.00291	DK6	0.00189	0.00173
DK7	0.00271	0.00350	DK7	0.00144	0.00167



Şekil 2.62. Çift doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal şekil değişirmelerin karşılaştırılması

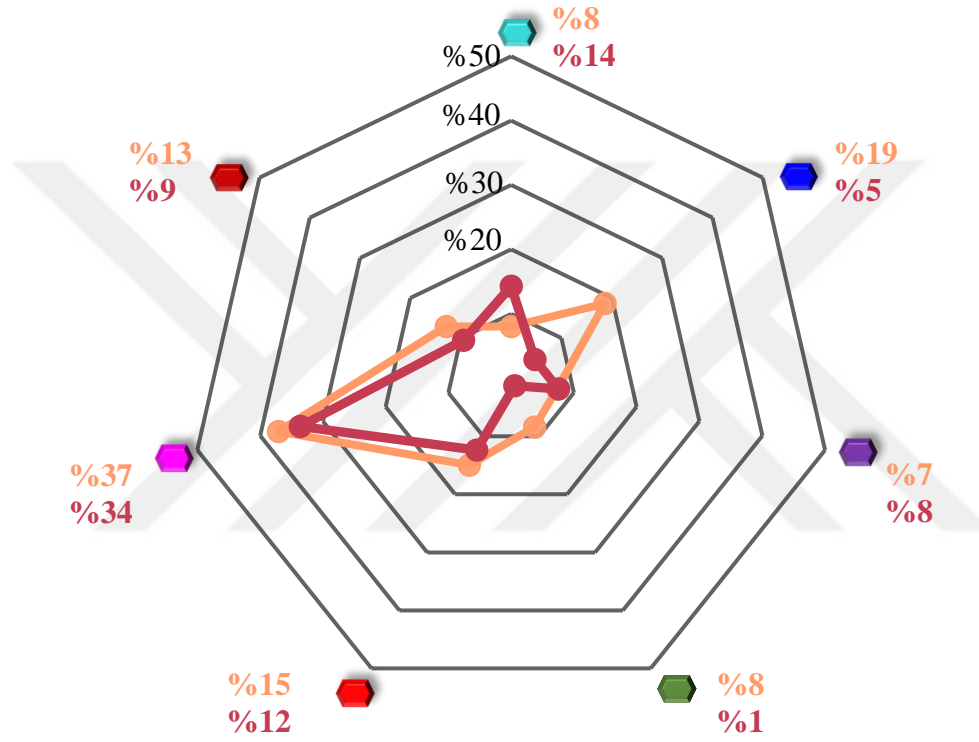


Basit Ölçeklendirme Yöntemi İle Elde Edilen Kayıtların Çift Yönde Uygulanması

1.74MPa	1.54MPa
1.40MPa	1.49MPa
2.59MPa	2.66MPa
1.43MPa	1.57MPa
1.27MPa	1.05MPa
2.40MPa	2.35MPa
1.47MPa	1.27MPa

Basit Ölçeklendirme Yöntemi İle Elde Edilen Kayıtların Tek Yönde Uygulanması

1.60MPa	1.32MPa
1.72MPa	1.42MPa
2.40MPa	2.46MPa
1.31MPa	1.59MPa
1.08MPa	0.92MPa
1.51MPa	1.56MPa
1.28MPa	1.15MPa



Kayıtlar

DK1	DK3	DK5	DK7
DK2	DK4	DK6	

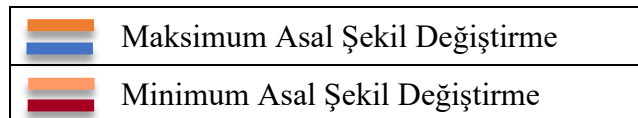
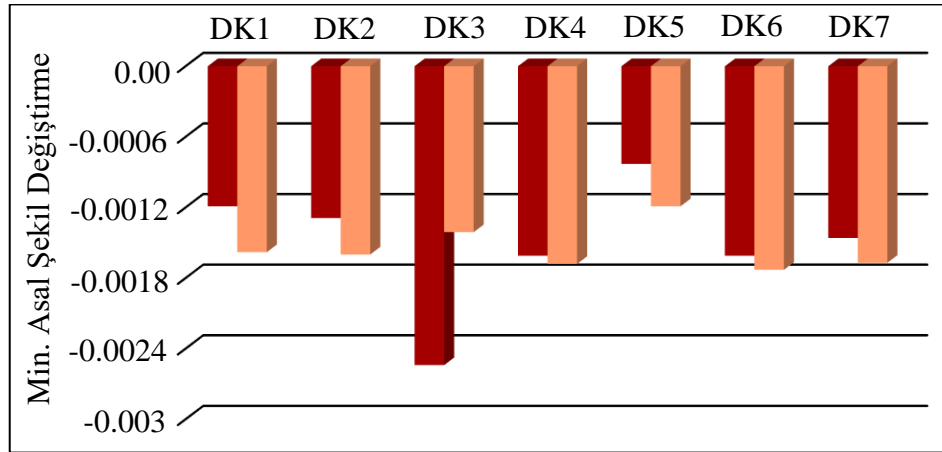
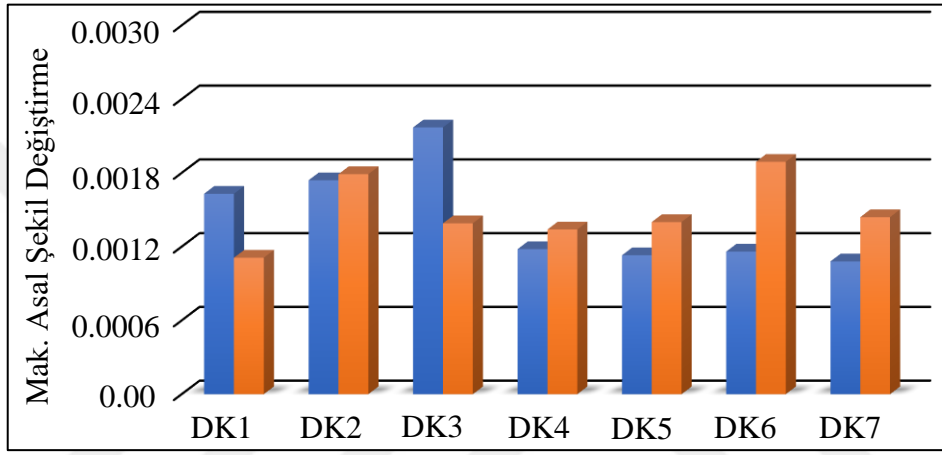
Maksimum Asıl Gerilme	Minimum Asıl Gerilme
-----------------------	----------------------

Şekil 2.63. Tek ve çift doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal gerilmelerin karşılaştırılması

Basit Ölçeklendirme Yöntemi İle Elde Edilen Kayıtların Çift Yönde Uygulanması

Basit Ölçeklendirme Yöntemi İle Elde Edilen Kayıtların Tek Yönde Uygulanması

DK1	0.00111	0.00158	DK1	0.00163	0.00119
DK2	0.00179	0.00160	DK2	0.00174	0.00129
DK3	0.00139	0.00141	DK3	0.00217	0.00254
DK4	0.00134	0.00168	DK4	0.00118	0.00161
DK5	0.00140	0.00119	DK5	0.00113	0.00083
DK6	0.00189	0.00173	DK6	0.00116	0.00161
DK7	0.00144	0.00167	DK7	0.00108	0.00146



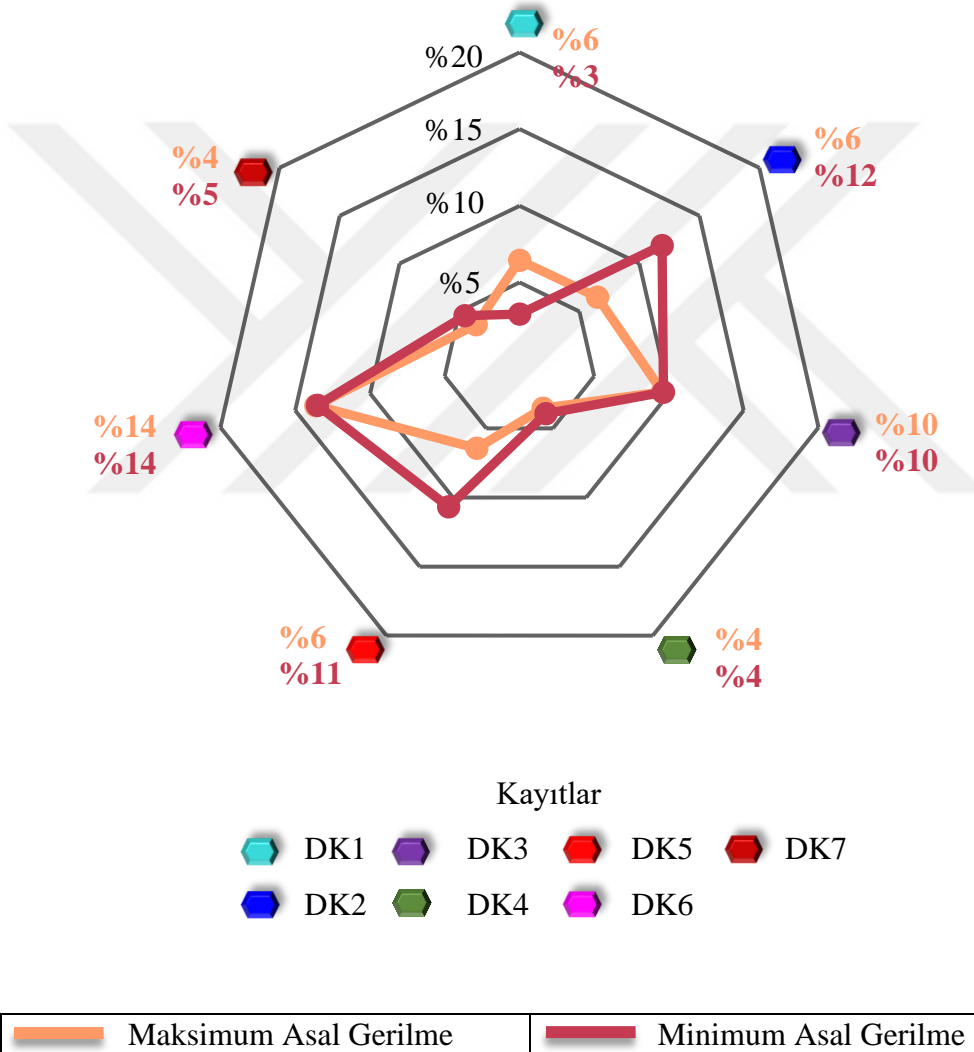
Şekil 2.64. Tek ve çift doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal şekil değişimlerinin karşılaştırılması

Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde  
Dönüştürme Yöntemi İle Elde Edilen  
Kayıtların Çift Yönde Kullanılması

5.43MPa	5.10MPa
6.48MPa	7.06MPa
5.07MPa	5.92MPa
5.64MPa	5.36MPa
5.58MPa	5.99MPa
6.46MPa	6.29MPa
5.81MPa	5.71MPa

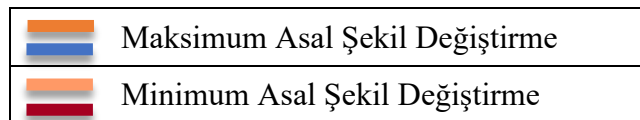
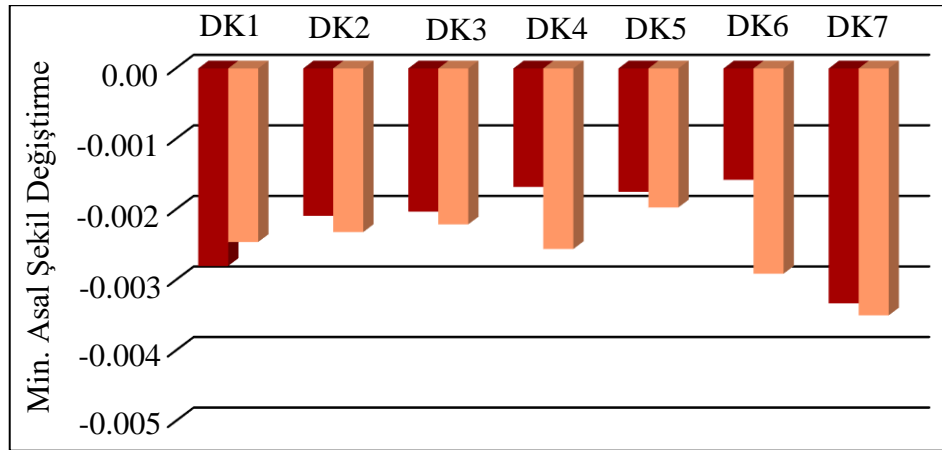
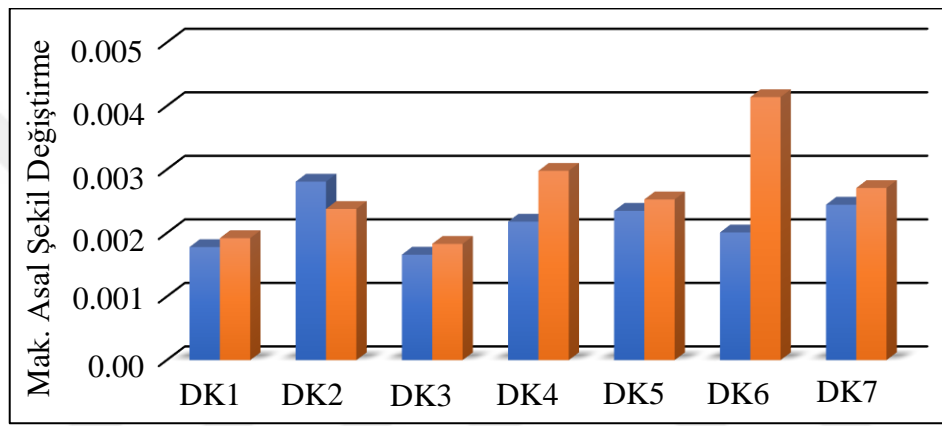
Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde  
Dönüştürme Yöntemi İle Elde Edilen  
Kayıtların Tek Yönde Kullanılması

5.08MPa	4.95MPa
6.06MPa	6.22MPa
5.49MPa	5.35MPa
5.44MPa	5.58MPa
5.22MPa	5.35MPa
5.58MPa	5.44MPa
5.56MPa	5.45MPa

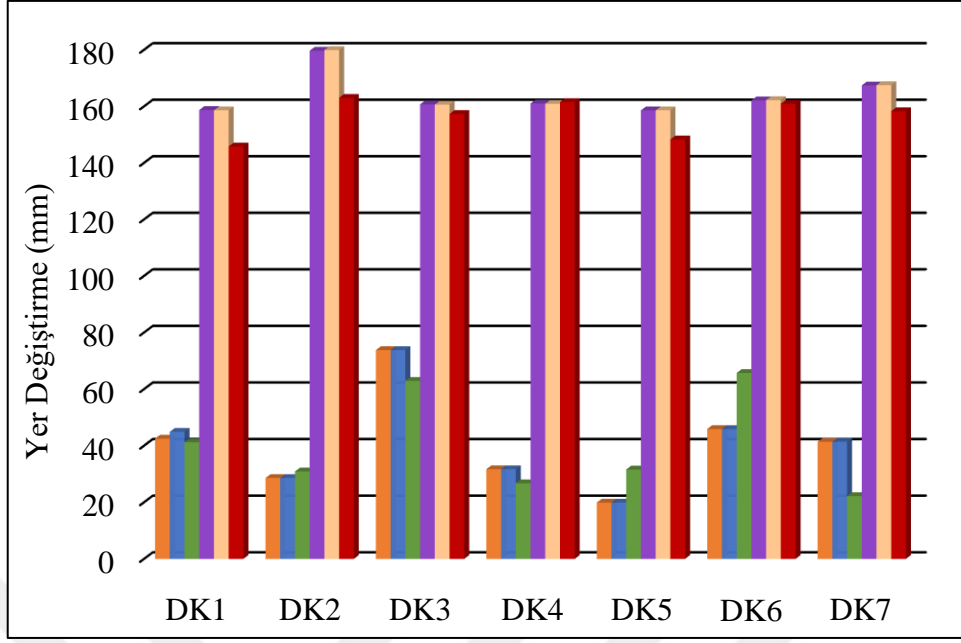


Şekil 2.65. Tek ve çift doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal gerilmelerin karşılaştırılması

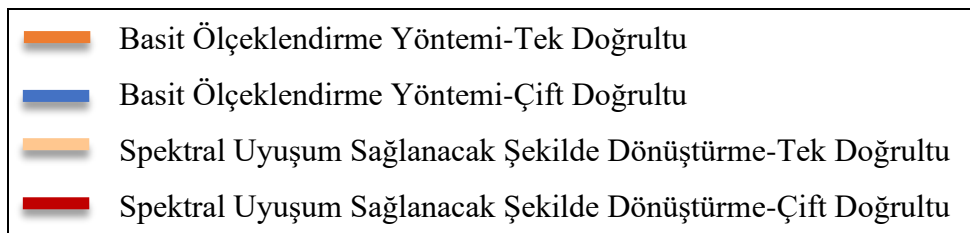
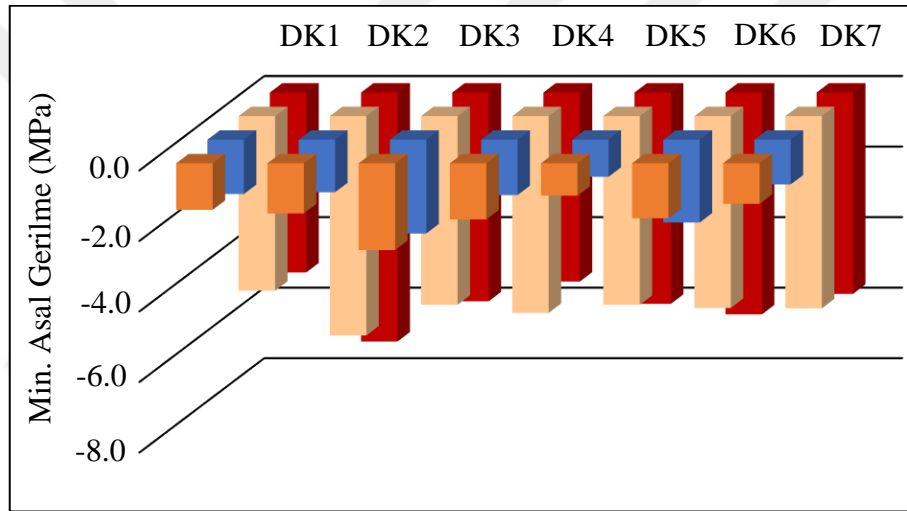
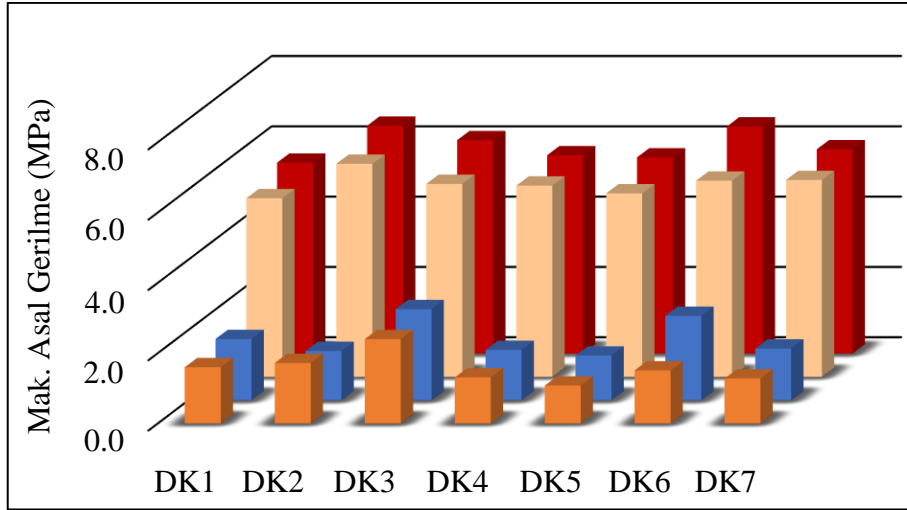
Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürme Yöntemi İle Elde Edilen Kayıtların Çift Yönde Kullanılması			Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürme Yöntemi İle Elde Edilen Kayıtların Tek Yönde Kullanılması		
DK1	0.00192	0.00246	DK1	0.00178	0.00280
DK2	0.00298	0.00232	DK2	0.00281	0.00209
DK3	0.00183	0.00221	DK3	0.00166	0.00203
DK4	0.00298	0.00256	DK4	0.00218	0.00168
DK5	0.00253	0.00197	DK5	0.00235	0.00175
DK6	0.00414	0.00291	DK6	0.00201	0.00258
DK7	0.00271	0.00350	DK7	0.00247	0.00333



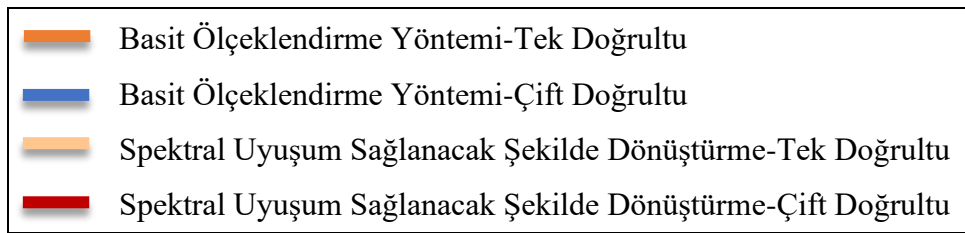
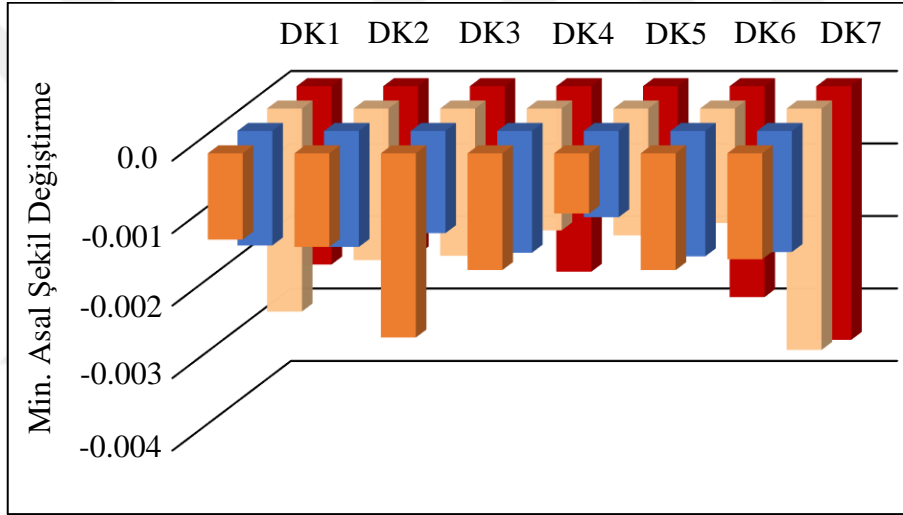
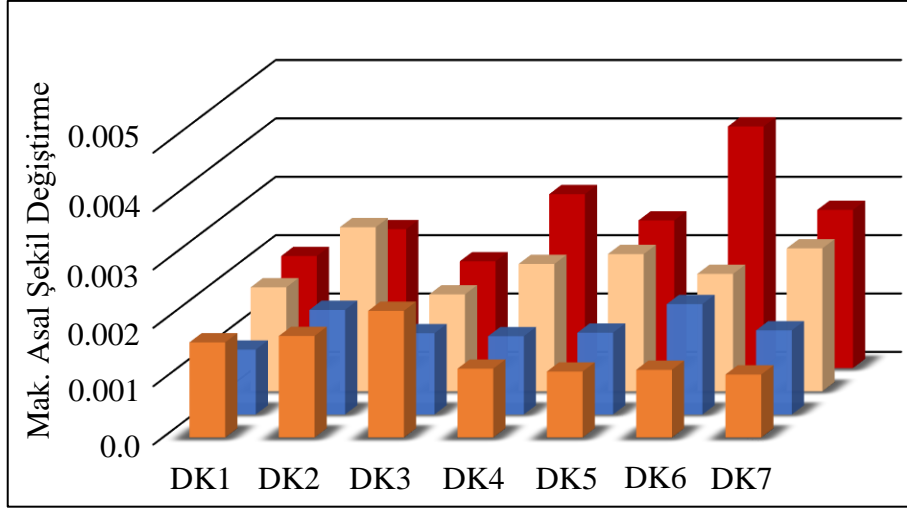
Şekil 2.66. Tek ve çift doğrultu gerçekleştirilen analizler sonucu asal şekil değişimlerinin karşılaştırılması



Şekil 2.67. Maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması



Şekil 2.68. Asal gerilmelerin karşılaştırılması



Şekil 2.69. Asal şekil değiştirmelerin karşılaştırılması

### 3. SONUÇLAR

Bu tez çalışması, sahaya özel elastik ivme spektrumlarının oluşturulması, seçilen yer hareketi kayıtlarının TBDY-2018'de belirtilen kurallara göre ölçeklendirilmesi ve ölçeklendirilmiş kayıtların kullanılarak tarihi yağma bir saat kulesinin zaman tanım alanında doğrusal dinamik analizlerinin gerçekleştirilmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Tezin ilk aşamasında, Çorum ili merkez ilçesi için olasılıksal sismik tehlike analizi gerçekleştirilmiştir. Belirlenen çalışma alanı için tarihsel ve aletsel dönemlere ait deprem verileri toplanarak yüz on üç deprem verisi içeren deprem kataloğu oluşturulmuştur. Depremlerin zaman ve mekan olarak birbirinden bağımsız olduğu kabulüne dayanan Poisson modeli gereği, oluşturulan deprem kataloğundan öncü ve artçı depremler elenmiştir. Büyüklüklerine göre sınıflandırılmış depremlerin eksiksiz olarak kayda geçtiği zaman dilimleri belirlenerek katalogdaki eksiklikler giderilmiş ve homojen bir deprem kataloğu elde edilmiştir. Çalışma alanını etkileyebilecek Merzifon, Sungurlu, Salhançayı ve Kuzey Anadolu Fayı olmak üzere dört adet aktif sismik kaynak belirlenmiş ve bu kaynaklar homojen deprem kataloğundaki depremler ile ilişkilendirilmiştir. Sahaya uygun yer hareketi denklemleri seçilmiş ve hesaplamalarda çalışma sahası için yerel zemin koşulları  $V_{S30}=249.53\text{m/s}$  olarak dikkate alınmıştır. Sismik parametrelerdeki belirsizlerin hesaplara yansıtılmasını sağlayan mantık ağacı yöntemi uygulanmış ve Ez-Frisk programı kullanılarak  $T=2475$  yıl ve  $T=475$  yıl tekrar periyotları için %5 sönüm oranına sahip elastik ivme spektrumları elde edilmiştir.

Elde edilen sahaya özel elastik ivme spektrumları TBDY-2018 spektrumları ile karşılaştırılmıştır. 2475 ve 475 yıl tekerrür süreli yönetmelik elastik ivme spektrumları, güncel Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre Çorum ili merkez ilçesinin  $40.549871^\circ$  enlem ve  $34.953735^\circ$  boylamında DD-1, DD-2 ve yerel zemin sınıfı ZD için belirlenmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucu, OSTA ile elde edilen elastik ivme spektrumlarının her periyot için yönetmelik spektrumlarına göre daha düşük spektral ivme değeri verdiği gözlemlenmiştir. TBDY-2018'de yer, alan sahaya özel deprem yer hareketi spektrumlarının ordinatları hiçbir zaman yönetmelikte tanımlanan tasarım spektrumu ordinatlarının %90'ından daha küçük olamaz şartı sağlanamamıştır. Bu nedenle çalışmanın diğer aşamalarında yönetmelik elastik ivme spektrumları dikkate alınmıştır.



Tezin ikinci aşamasında, olasılıksal sismik tehlike analizi için oluşturulan deprem kataloğundan seçilen on üç adet yer hareketi kaydı, TBDY-2018’de belirtilen basit ölçeklendirme ve spektral uyuşum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemleri kullanılarak ölçeklendirilmiştir. Basit ölçeklendirme yönteminde, her bir deprem kaydına ait iki yatay bileşenin tepki spektrumlarının kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay tepki spektrumları elde edilmiştir. Elde edilen bileşke yatay tepki spektrumları, ZD zemin sınıfı için 475 yıl tekerrür süreli yönetmelik tasarım spektrumu ile eşleştirilmiş ve ölçekleme katsayıları 5.562 ile 137.080 değerleri arasında elde edilmiştir. Ölçeklendirme katsayısı için literatürde kesin sınır değerler olmayıp, seçilen yer hareketi kaydının eşlenecek tasarım spektrumuna uygun olması durumuna göre değişmektedir. TBDY 2018’e göre tüm kayıtlara ait bileşke tepki spektrumlarının ortalamasının  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin, hedef tasarım spektrumundaki aynı periyot aralığındaki genliklere oranının 1.3’den küçük olmaması gerekmektedir. Çalışma kapsamında yapılan ölçeklendirme işlemi sonucu, bu kuralın 0.135s ve 0.280s arasında sağlanırken 0.280s ve 1.00s aralında sağlanmadığı gözlenmiştir. Bu durumun kabul edilebilir düzeyde olduğu düşünülerek kayıtlar doğrusal dinamik analizlerde kullanılmıştır.

Spektral uyuşum sağlanacak şekilde dönüştürme yönteminde, her bir deprem kaydı takımına ait iki yatay bileşen için kendi ivme tepki spektrumları elde edilerek ölçeklendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ölçeklendirilen kayıtlara ait tepki spektrumlarının ortalaması hedef tasarım spektrumu ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu TBDY-2018’de belirtilen spektral uyuşum sağlanacak şekilde ölçeklendirilen tüm kayıtlara ait tepki spektrumlarının ortalamasının ordinat değerlerinin, tüm periyotlar için hedef tasarım spektrumunun ordinat değerlerinden küçük olamayacağı kuralının sağlandığı gözlenmiştir.

Spektral uyuşum sağlanacak şekilde dönüştürme yönteminde, basit ölçeklendirme yöntemine kıyasla hedef spektrumu ile daha iyi eşleşen kayıtlar elde edilmiştir. Ancak kayıtların frekans içeriği değişmiştir. Diğer yandan basit ölçeklendirme yönteminde, kayıtların frekans içeriği değişmemiş sadece hedef tasarım spektrumu ile eşleşecek şekilde genlikleri değişmiştir.

Tezin son aşamasında, tarihi Çorum Saat Kulesi’ne ait sonlu eleman modeli makro modelleme yöntemi ile ANSYS yazılımında oluşturulmuş ve 0.30m’lik eleman ağına bölünmüştür. Seçilen eleman ağı boyutu için 14398 adet düğüm noktası ve 58401 adet eleman oluşmuştur. Tarihi bir yapı olan kulede kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri ile ilgili deneysel çalışma bulunmadığı için Genç vd. (2019), tarafından hasarsız deneysel

ölçümlere dayalı sonlu eleman model iyileştirmesi sonucu verilen elamanların özellikleri kabul edilmiştir. Sayısal dinamik karakteristiklerin elde edilebilmesi için modal analiz gerçekleştirilmiş ve ilk beş doğal frekans 1.523Hz – 9.520Hz değerleri arasında elde edilmiştir.

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu ve TBDY-2018’de verilen kurallar dikkate alınmıştır.

TBDY-2018’e göre değerlendirmede, elastisite modülünün 750fk değerine eşit kabul edilmesi durumu dikkate alınarak karakteristik basınç dayanımı 4.33MPa olarak belirlenmiştir. Karakteristik çekme dayanımı ise karakteristik basınç dayanımın yaklaşık %10’u kabul edilmiş ve 0.43MPa olarak dikkate alınmıştır. Bu değerler Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu’nda verilen malzeme dayanımları ile de benzerlik göstermektedir.

Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu’na göre değerlendirmede, yerel öneme sahip yapı sınıfına giren saat kulesinden, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeylerinde “Göçmenin Önlenmesi” performans düzeyi beklenmektedir.

Zaman tanım alanında doğrusal dinamik analizlerde, her bir deprem kaydına ait ölçeklenmiş ivme kayıtlarının yatay bileşenleri önce hakim titreşim doğrultusunda olacak şekilde yatayda tek doğrultuda, daha sonra yatayda iki doğrultuda uygulanmıştır. Gerçekleştirilen analizler sonucu aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır:

- Basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen her bir yer hareketi kaydı için tek ve çift doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu elde edilen maksimum yer değiştirme değerleri dikkate alındığında, hesaplanan öteleme oranları % 0.3 değerini aşmamış ve yapı sınırlı hasar (SH) seviyesinde kalmıştır. Spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemi ile ölçeklendirilen her bir yer hareketi kaydı için ise tek ve çift doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu hesaplanan bu değerler % 0.6-0.7 arasında değiştiği belirlenmiş ve yapı kontrollü hasar (KH) seviyesinde kabul edilmiştir.
- Spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemi ile ölçeklendirilen her bir yer hareketi kaydı için tek doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu oluşan minimum asal gerilme değerleri 4.95MPa-6.22MPa, maksimum asal gerilme değerleri 5.08MPa-6.06MPa arasında meydana gelmiş ve belirlenen dayanım değerleri aşılmıştır.

- Spektral uyumu sağlanacak şekilde d6n6şt6rme y6ntemi ile 6l6eklendirilen her bir yer hareketi kaydı için çift doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu minimum asal gerilme değerleri 5.10MPa-7.06MPa, maksimum asal gerilme değerleri 5.07MPa-6.48MPa arasında meydana gelmiş ve belirlenen dayanım değerleri aşılmıştır.
- Basit 6l6eklendirme y6ntemi ile 6l6eklendirilen her bir yer hareketi kaydı için tek ve çift doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu oluşan maksimum asal gerilmeler sırasıyla 1.08MPa-2.40MPa ve 1.27MPa-2.59MPa değerleri arasında meydana gelmiş ve belirlenen dayanım değeri aşılmıştır.
- Basit 6l6eklendirme y6ntemi ile 6l6eklendirilen her bir yer hareketi kaydı için tek ve çift doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu minimum asal gerilmeler sırasıyla 0.92MPa-2.46MPa ve 1.05MPa-2.66MPa değerleri arasında meydana gelmiş ve belirlenen basınç dayanımı değerinden daha k66k elde edilmiştir.
- Spektral uyumu sağlanacak şekilde d6n6şt6rme y6ntemi ile 6l6eklendirilen kayıtların tek ve çift doğrultuda gerçekleştirilen analizlerde kullanılması sonucu oluşan genel çekme gerilmelerinin çekme dayanımını aştığı ve genel basınç gerilmelerinin basınç dayanımına yakın değerlerde meydana geldiği g6zlemlenmiştir.
- Basit 6l6eklendirme y6ntemi ile 6l6eklendirilen kayıtların tek ve çift doğrultuda gerçekleştirilen analizlerde kullanılması ile oluşan genel çekme gerilmelerinin çekme dayanımına yakın değerlerde meydana geldiği ve genel basınç gerilmelerinin basınç dayanımı değerinin altında kaldığı g6zlemlenmiştir.
- Tek doğrultuda gerçekleştirilen analizlerde saat kulesinin tepe noktası için, basit 6l6eklendirme y6ntemi ile elde edilen kayıtların kullanılması sonucu 19.9mm-73.8mm arasında, spektral uyumu sağlanacak şekilde d6n6şt6rme y6ntemi ile elde edilen kayıtların kullanılması sonucu ise 158.6mm-179.7mm arasında yer değiştirme meydana gelmiştir. Basit 6l6eklendirme y6ntemi ile elde edilen kayıtların uygulanması ile maksimum yer değiştirme değerlerinde %54-84 arasında azalış g6zlemlenmiştir.
- Tek doğrultuda gerçekleştirilen analizlerde, basit 6l6eklendirme y6ntemi ile elde edilen kayıtların kullanılması sonucu elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinde spektral uyumu sağlanacak şekilde d6n6şt6rme y6ntemi ile elde edilen

sonuçlara göre %56-79 arası azalış gözlemlenirken minimum asal gerilmelerde bu azalış %54-83 olarak hesaplanmıştır.

- Çift doğrultuda gerçekleştirilen analizlerde saat kulesinin tepe noktası için, basit ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen kayıtların kullanılması sonucu X yönünde 19.9mm-73.8mm, Y yönünde 22.2mm-62.9mm arasında; spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemi ile elde edilen kayıtların kullanılması sonucu ise X yönünde 158.6mm-179.9mm ve Y yönünde 145.8mm-163.0mm arasında yer değiştirme meydana gelmiştir. Basit ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen kayıtların kullanıldığı analizlerde, maksimum yer değiştirme değerlerinde X yönünde %54-84, Y yönünde %60-85 arası azalış gözlemlenmiştir.
- Çift doğrultuda gerçekleştirilen analizlerde, basit ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen kayıtların kullanılması sonucu elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinde spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre %57-78 arası azalış gözlemlenirken minimum asal gerilmelerde bu azalış %55-82 olarak hesaplanmıştır.
- Basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen her bir yer hareketi kaydı için tek ve çift doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu uygulanan kayda göre asal gerilme değerlerinde artış ve azalış gözlemlenmiştir. Tek doğrultuda gerçekleştirilen analizlerde, maksimum asal gerilme değerlerinde DK2 haricinde %7-37 azalış meydana gelmiştir. Minimum asal gerilme değerlerinde ise DK4 haricinde %5-34 azalış hesaplanmıştır.
- Spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürme yöntemi ile ölçeklendirilen her bir yer hareketi kaydı için tek ve çift doğrultuda gerçekleştirilen analizler sonucu uygulanan kayda göre asal gerilme değerlerinde artış ve azalış gözlemlenmiştir. Tek doğrultuda gerçekleştirilen analizlerde, maksimum asal gerilme değerlerinde DK3 haricinde, minimum asal gerilme değerlerinde ise DK4 haricinde %4-14 arasında azalış hesaplanmıştır.
- Zaman tanım alanında gerçekleştirilen tüm analizlerde maksimum ve minimum asal şekil değiştirme değerlerinde uygulanan kayda ve yöntemine göre artış ve azalış gözlemlenmiştir.

Genel olarak, basit ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen kayıtların uygulandığı analizlerde yer değiştirme, asal gerilme ve şekil değiştirme değerleri spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülen kayıtların kullanıldığı analizlere göre daha küçük

değerlerde elde edilmiştir. İlgili yönetmelik ve kılavuzlarda verilen malzeme mekanik özellikleri dikkate alındığında basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilen kayıtların kullanılması durumunda daha sağlıklı bir değerlendirmenin yapılabileceği sonucuna varılmıştır.



#### 4. KAYNAKLAR

- Abrahamson, N.A. ve Silva, W.J., 2008. Summary of the Abrahamson & Silva NGA Groundmotion Relations, Earthquake Spectra, 24, 67–97.
- Adekristi, A. ve Eatherton, M., R., 2015. Time-Domain Spectral Matching of Earthquake Ground Motions using Broyden Updating, Journal of Earthquake Engineering, 20, 5, 1-20.
- Akgündüz, N., 2004. Deprem Bölgelerinde Yığma Yapı Tasarımının Yönetmeliğe Göre İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akkaya, A., D. ve Yüccemen, M., S., 2000. Estimation of Earthquake Hazard Based on Extremes of Local Integral Random Functions, Engineering Geology, 58, 1, 53-66.
- Altunışık, A., C., 2011. Dynamic Response of Masonry Minarets Strengthened With Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites, Natural Hazards and Earth System Science, 11, 7.
- Altunışık, A., C., Adanur, S., Genç, A., F., Günaydın, M. ve Okur, F., Y., 2017. An Investigation of the Seismic Behaviour of an Ancient Masonry Bastion Using Non-Destructive and Numerical Methods, Experimental Mechanics, 57, 245-259.
- Altunışık, A., C., Okur, F., Y., Genç, A., F., Günaydın, M. ve Adanur, S., 2017. Automated Model Updating of Historical Masonry Structures Based on Ambient Vibration Measurements, Journal of Performance of Constructed Facilities, 32.
- Altunışık, A. C., Okur, F. Y., Genç, A. F., Günaydın, M., ve Karahasan, O. Ş., 2018. Automated Model Updating Effect On The Linear And Nonlinear Dynamic Responses of Historical Masonry Structures, Experimental Techniques, 42, 605-621.
- ANSYS, 2016. Swanson Analysis System, Pennsylvania, USA.
- Araya, R. ve Der, K., A., 1988. Seismic Hazard Analysis: Improved Models, Uncertainties and Sensitivities, EERC Report No. UCB/EERC-90/11, College of Engineering University of California at Berkeley, California, USA.
- Bathe, K. J., 1996. Finite Element Procedures in Engineering Analysis, Prentice-Hall, New Jersey, USA
- Bender, B., 1986. Modeling source zone boundary in seismic hazard analysis. Bull. Seism. Soc. Am. 76, 2, 329- 341.

- Bıçak, Ö., 2018. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi ve Sahaya Özel Deprem Spektrumu Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Casolo, S., 2000. Modeling of Out-of-Plane Seismic Behavior Masonry Walls By Rigid Elements. Earthquake Engineering And Structural Dynamics, 29, 1797-1813.
- Chiou, B., S., J. ve Youngs, R., R., 2008. An NGA Model For The Average Horizontal Component Of Peak Ground Motion And Response Spectra, Earthquake Spectra, 24, 1, 173-215
- Chopra, A., K., 2006. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Third Edition, Prentice Hall, USA.
- Cimellaro, G. P., 2007. An Introduction to Methods to Simulate Earthquake Ground Motions. University at Buffalo, The State University of New York, USA.
- Çağnan, Z. ve Akkar, S., 2010. A Local Ground-Motion Predictive Model for Turkey, and Its Comparison with Other Regional and Global Ground-Motion Models, Bulletin of the Seismological Society of America, 100, 6, 2978–2995.
- Çarhoğlu, I., A. ve Korkmaz, K., A., 2013. Mevcut Bir Yığma Yapının Deprem Davranışının Değerlendirilmesi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi 2, 1, 1-11.
- Çarhoğlu, A., I., Zabin, P. ve Korkmaz, K., A., 2014. Kars Kümbet Camisi'nin Deprem Davranışının İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2, 189-196.
- Çöğürçü, M., T., 2007. Yığma Yapıların Yatay Derz Güçlendirme Yöntemiyle Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, Türkiye.
- Dabanlı, Ö., 2008. Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirel, İ., O., Akansel, V., H., Bankir, Ş., Geneş, M., C., Erberik, M., A., ve Yakut, A., 2013. Antakya'daki Yığma Binaların Özelliklerinin Deprem Performansı Açısından Analitik Olarak Değerlendirilmesi, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eylül, Hatay, Türkiye.
- Deniz, A. ve Yüçemen, M., S., 2005. Antalya Yöresi İçin Deprem Tehlikesinin Stokastik Yöntemlerle Tahmini, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Ankara, Türkiye, Bildiriler Kitabı: 540-551.
- Deniz, A., 2006. Estimation of Earthquake Insurance Premium Rates for Turkey, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Deniz, A. ve Yücemem, M., S., 2010. Magnitude Conversion Problem for the Turkish Earthquake Data. Natural Hazards, 55, 2, 333-352.
- Ergün, M. ve Ateş, Ş., 2015. Köprülerin Dinamik Analizlerinde Ölçeklendirilmiş Deprem Kayıtlarının Kullanımı, 3. Köprüler Viyadükler Sempozyumu, Mayıs, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Bursa Şubesi.
- Ez-Frisk, 2011. User's Manual, Version 7.52, Risk Engineering, USA.
- Ez-Frisk, 2013. User's Manual Version 7.62, Risk Engineering, USA.
- Fahjan, Y., M., Ozdemir, Z. ve Keypour, H., 2007. Procedures for Real Earthquake Time Histories Scaling and Application to Fit Iranian Design Spectra, 5th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering (SEE5), May, Tahran, Iran.
- Fahjan, Y., M., 2008. Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, İMO Teknik Dergi, 4423-4444.
- Fahjan, Y., Vatansever, S. Ve Özdemir, Z., 2011. Ölçeklenmiş Gerçek Deprem Kayıtları İle Yapıların Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analizleri, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ekim, Ankara, Türkiye.
- Gaikwad, N., C., Galatage, A., A. and Kulkarni, A., K., 2017. Scaling Of Ground Motions for Performing Incremental Dynamic Analysis of RC Framed Structures. International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology, 3, 5
- Gardner, J., K. ve Knopoff, L., 1974. Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, with Aftershocks Removed, Poissonian. Bulletin of the Seismological Society of America, 64, 1363-1367.
- Genç, A., F., Ergün, M., Günaydın, M., Altunışık, A., C., Ateş, Ş., Okur, F., Y. and Mosallam, A., S., 2019. Dynamic Analyses Of Experimentally-Updated FE Model Of Historical Masonry Clock Towers Using Site-Specific Seismic Characteristics And Scaling Parameters According To The 2018 Turkey Building Earthquake Code, Engineering Failure Analysis, 105, 402-426.
- Gutenberg, B. ve Richter, C., 1954. Seismicity of the Earth and Associated Phenomena. Princeton University Press, New Jersey, USA.
- Hachem, M., M., Mathias, N., J., Wang, Y., Y., Fajfar, P., Tsai, K-C., Ingham, J.M., Oyarzo Vera, C.A. ve Lee, S., 2010. An International Comparison of Ground Motion Selection Criteria for Seismic Design, Joint IABSE–fib Conference, May, Dubrovnik, Croatia.
- Harman, E. ve Küçük, H., S., 2016. Sakarya İli İçin Olasılığa Dayalı Sismik Tehlike Analizi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 20, 1, 23-31.



- Haselton, C.B., Baker, J.W., Liel, A.B. ve Deierlein, G.G., 2011. Accounting for GroundMotion Spectral Shape Characteristics in Structural Collapse Assessment through an Adjustment for Epsilon, Journal of Structural Engineering, 137, 3, 332-344.
- Hejazi, M., Moayedı, S.M. ve Daei, M., 2016 “Structural Analysis of Persian Historical Brick Masonry Minarets”, Journal of Ferdowsi Civil Engineering, 27, 1.
- Huang, Y-N., Whittaker, A.S., Luco, N. ve Hamburger, R.O., 2011. Scaling Earthquake Ground Motions for Performance-Based Assessment of Buildings, Journal of Structural Engineering, 137, 3, 311-321.
- Kagan, Y., Y., 2002. Aftershock Zone Scaling. Bulletin of the Seismological Society of America, 92, 2, 641-655.
- Kalkan, E. ve Gülkan, P., 2004. Attenuation Relationship for Maximum Horizontal Component of Ground Motion for Turkey, Earthquake Spectra, 20, 4, 1111-1138.
- Kalkan E. ve Chopra, A.K., 2011. Modal-Pushover-Based Ground-Motion Scaling Procedure, Journal of Structural Engineering, 137, 3, 298-310.
- Kanıt R., 2007. Düzlem Dışı Yüklere Maruz Yığıma Duvarların Deprem Davranışlarının Analitik ve Deneysel Değerlendirilmesi. Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22, 2, 441-449.
- Karaca, H., 2015. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi Yöntemi ve Düzleştirilmiş Sismisite Modeli Kullanılarak Sismik Tehlike Haritaları Elde Edilmesi, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ekim, İzmir, Türkiye.
- Karaca, H., 2017. Güncel Veriler ve Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi Kullanarak Eskişehir İçin Sismik Tehlike Haritası ve İvme Eğrileri Elde Edilmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi, 32, 1, 243-251.
- Karabork, T. ve Koçak, Y., 2014. New Metal Connectors Developed To Improve The Shear Strength of Stone Masonry Walls, Structural Engineering and Mechanics, 50, 1, 121-135.
- Katsanos, E., I., Sextos, A., G. ve Manolis, G., D, 2010. Selection of Earthquake Ground Motion Records: A State-of-the-Art Review from a Structural Engineering Perspective, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 30, 4, 157-169.
- Kayhan, A., H., 2011. Eurocode-8 ile Uyumlu Ölçeklendirilmemiş İvme Kaydı Setlerinin Armoni Araştırması Tekniği ile Elde Edilmesi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ekim, Ankara, Türkiye.
- Korkmaz, K., A., Zabin, P., Çarhoğlu, A., I. ve Nuhoglu, A., 2014. Rize Merkez Kurşunlu Camisi'nin Deprem Davranışının İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18, 149-156.

- Kılıç, İ., Bozdoğan, K., B., Aydın, S., Gök, S., G. ve Gündoğan, S., 2020. Kule Tipi Yapıların Dinamik Davranışının Belirlenmesi: Kırklareli Hızırbey Camii Minaresi Örneği, *Journal of Polytechnic*, 23, 1, 19-26.
- Kottke, A. ve Rathje, E., M., (2019). A Semi-Automated Procedure for Selecting and Scaling Recorded Earthquake Motions for Dynamic Analysis, *Earthquake Spectra*, 24, 4, 911-932.
- Kurama, Y., C. ve Farrow, K., T., 2003. Ground Motion Scaling Methods for Different Site Conditions and Structure Characteristics, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32, 15, 2425-2450.
- Kuruşcu, A., O., 2005. Yığma Yapıların Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lee, L., H., Lee, H., H. ve Han, S., W., 2000. Method of Selecting Design Earthquake Ground Motions for Tall Buildings, *The Structural Design of Tall Buildings*, 9, 201-213.
- De Luca, F., Iervolino, I. ve Cosenza, E., 2009. Compared Seismic Response of Degrading Systems to Artificial and Real Records, Proceedings of 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia.
- Malcioğlu, F., S., 2011. Deprem İvme Kayıtlarındaki Gürültünün Yapısal Davranışa Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.
- MATLAB, 2016. User's Manual Version 9.0.
- McGuire, R.K., 2004. Seismic Hazard and Risk Analysis, EERI, MNO-10, Oakland, CA.
- McGuire, R., K. ve Cornell, C., A., 2005. The Case for Using Mean Seismic Hazard, *Earthquake Spectra*, 21, 879-886.
- Mukherjee, S. ve Gupta V., K., 2002. Wavelet-Based Generation of Spectrum-Compatible Time-Histories, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22, 9, 799-804.
- Mulchandani, H., K., Muthukumar, G. ve Bansal, S., 2018. Ground Motion Selection and Scaling using ASCE 7-16, Case Study on Town Alipur in Delhi Region. 16th Symposium on Earthquake Engineering December, India.
- Naeim, F., Alimoradi, A. ve Pezeshk, S., 2004. Selection and Scaling of Ground Motion Time Histories for Structural Design Using Genetic Algorithms, *Earthquake Spectra*, 20, 2, 413-426.
- Özdemir, Z. ve Fahjan, Y., M., 2007. Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Ekim, İstanbul, Türkiye, Bildiriler Kitabı I: 435-446.

- Öztürk N., Y., 2008. Probabilistic Seismic Hazard Analysis: A Sensitivity Study With Respect To Different Models, PhD Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Science, Ankara, Türkiye.
- Papagiannopoulos, G., A., Hatzigeorgiou G.D. ve Beskos D.E., 2012. An Assessment of Seismic Hazard And Risk in The Islands of Cephalonia And Ithaca, Greece, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 32, 15-25.
- Rinaldin, G., Fasan, M., Noe, S., ve Amadio, C., 2019. The Influence of Earthquake Vertical Component On The Seismic Response of Masonry Structures, Engineering Structures, 185, 184–193.
- Sayın, E., 2009. Yığma Yağuların Doğrusal Olmayan Statik ve Dinamik Analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Savage, M., K. ve Rupp, S. H., 2000. Foreshock Probabilities in New Zealand, New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 43, 461-469.
- Schwartz, D., P. ve Coppersmith, K., J., 1984. Fault Behavior and Characteristic Earthquakes: Examples from the Wasatch and San Andreas Fault Zones, Journal of Geophysical Research Atmospheres, 89, 5681-5698.
- SeismoMatch, 2018. User Guide
- Sitharam, T., G. ve Kolathayar, S., 2013. Seismic Hazard Analysis of India Using Areal Sources, Journal of Asian Earth Sciences, 62, 647-653.
- Stafford, P.J., Strasser, F.O. ve Bommer, J.J., 2008. An Evaluation of the Applicability of the Nga Models To Ground-Motion Prediction in the Euro-Mediterranean Region, Bulletin of Earthquake Engineering, 6, 2, 149-177.
- Stepp, J., C., 1972. Analysis of Completeness of the Earthquake Sample in the Puget Sound Area and Its Effect on Statistical Estimates of Earthquake Hazard, Proceedings of the International Conference on Microzonation, Seattle, U.S.A, Conference Proceedings, 897–910.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, Türkiye.
- T.C. V.G.M., 2017. Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, Ankara, Türkiye.
- Yıldız, E., Yavuz, G., ve Yılmaz, Ü., S., 2011. Tarihi Taş Yığma Konutların Güçlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler: Ürgüp İbrahim Paşa Köyünden Bir Konut Örneği, e-Journal of New World Sciences Academy, 6, 4.
- Yılmaz M.T. ve Akkar S., 2013. Mersin Değirmençay Baraj Sahası İçin Deprem Tehlikesi Analizi, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eylül, Hatay, Türkiye.

- Youngs, R., R. ve Coppersmith, K., J., 1985. Implications of Fault Slip Rates and Earthquake Recurrence Models To Probabilistic Seismic Hazard Estimates, Bulletin of the Seismological Society of America, 75, 939-964.
- Yüccemen, M., S. ve Gülkan, P., 1994. Seismic Hazard Analysis with Randomly Located Sources, Natural Hazards, 9, 1, 215-233.
- Yüccemen, M., S., Öztürk, N., Y. ve Deniz. A., 2006. Probabilistic Seismic Loss Estimation for Eskişehir, Turkey, Proceedings Geohazards, Lillehammer, June, Norway.
- Yüccemen, M., S., 2011. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi: Genel Bakış ve İstatistiksel Modellemede Dikkat Edilmesi Gerekli Hususlar, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ekim, Ankara, Türkiye.
- Uçar, T ve Merter, O., 2015. Gerçek Depremlerin Ölçeklenmiş Kayıtlarına Ait Tepki Spektrumlarının Farklı Tasarım İvme Spektrumları ile Uyuşumunun Araştırılması, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ekim, İzmir, Türkiye.
- Ural, A., 2009. Yığma Yapıların Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ural, A. ve Celik, T., 2018. Dynamic Analyses and Seismic Behavior of Masonry Minarets with single Balcony, Aksaray University Journal of Science and Engineering, 2, 1, 13–27.
- Utsu, T., Ogata, Y. ve Matsu'ura, R., S., 1995. The Centenary of The Omori Formula for A Decay Law of Aftershock Activity, Journal of Physics of the Earth, 43, 1-33.
- Uzun, E., T., Gücü, İ., Arslan, T. ve Kalkan, Ş. O., 2019. Retrofitting of Masonry Structures Considering the Architectural Perspective: A Case Study in Foça, İzmir, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 471, 2.
- Van Dyck, J.F.M., 1985. Statistical Analysis of Earthquake Catalogs, PhD Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.
- Valluzzi, M., R., Porto, F. ve Modena, C., 2004. Behavior And Modeling Of Strengthened Three-Leaf Stone Masonry Walls, Materials and Structures, 37, 184–192.
- Zhao, J.X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., Ogawa, H., Irikura, K. Thio, H.K., Somerville, P.G. ve Fukushima, Y., 2006. Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period, Bulletin of the Seismological Society of America, 96, 3, 898–913.
- Wang, H., Wang, F. ve Liu, H., 2019. Performance Evaluation and Retrofit of Existing Masonry Structures, 3rd. International Forum an Environment, Materials and Energy (IFEME).

- Wells, D.L. ve Coppersmith, K.J., 1994. New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement, Bulletin of Earthquake Engineering, 84, 4, 974-1002.
- Wu, S.C., Cornell, C.A. ve Winterstein, S.R., 1995. A Hybrid Model and Its Implication on Seismic Hazard Results, Bulletin of Earthquake Engineering, 85, 1, 1-16.



## ÖZGEÇMİŞ

Esin ERTÜRK, 1994 yılında Amasya’da doğdu. İlköğretimini Denizevleri İlköğretim Okulu’nda, ortaöğretimini ise Samsun Onur Ateş Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2014 yılında çift anadal programından yararlanarak Harita Mühendisliği Bölümü’nde eğitime başladı. 2017 yılında İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü bölüm ikincisi olarak tamamladı. Aynı yıl Harita Mühendisliği Bölümü’nden de mezun oldu ve Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında “Yüksek Lisan” eğitimine başladı. 2019 yılında Yalova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’na araştırma görevlisi olarak atandı. İngilizce bilen Ertürk, Yalova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda halen görevine devam etmektedir.