

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

GERÇEK DEPREM KAYITLARININ
ÖLÇEKLEME YÖNTEMLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI

Selçuk VATANSEVER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE

2011

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

GERÇEK DEPREM KAYITLARININ
ÖLÇEKLEME YÖNTEMLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI

Selçuk VATANSEVER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Yasin FAHJAN

GEBZE
2011



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun **21/02/2011** tarih ve **2011/09** sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından **16/05/2011** tarihinde tez savunma sınavı yapılan **Selçuk Vatansever**' in tez çalışması **Deprem ve Yapı Mühendisliği** Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Yasin Fahjan

ÜYE

: Doç. Dr. Bülent Akbaş

ÜYE

: Doç. Dr. Bilge Doran (YTÜ İnşaat Fak.)

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI: GERÇEK DEPREM KAYITLARININ ÖLÇEKLENDİRME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YAZAR ADI: SELÇUK VATANSEVER

Yapısal analiz alanındaki hızlı gelişmeler sonucu zaman tanım alanında hesap yöntemleri, sismik analiz ve yapıların tasarımında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemler kullanılırken ortaya çıkan en önemli sorunlardan biri, yönetmelik gereksinimlerini karşılayan deprem kayıtlarının teminidir. Deprem ivme kayıtları üç kaynaktan elde edilebilir: 1) Tasarım ivme spektrumu uyumlu yapay kayıtlar, 2) Simüle edilmiş (benzeştirilmiş) kayıtlar ve 3) Deprem esnasında kaydedilen ivme kayıtlardır. Mevcut olan kuvvetli yer hareketi veri bankalarının her geçen gün zenginleşmesi ve bunlara ulaşmanın ilerleyen teknoloji ile birlikte daha da kolaylaşması, gerçek depremlerden alınan kayıtların kullanılması ve ölçeklenmesini en güncel araştırma konularından biri haline getirmiştir. Bu çalışmada, uygun kuvvetli yer hareketi kayıtlarının seçilmesi için önerilen temel yöntemler ve kriterler ortaya konulmaktadır. DBYBHY’de tanımlanan uyum kriterlerine ve yerel zemin sınıflarına göre seçilen kayıtlar zaman tanım alanında ölçekleme yöntemleri kullanılarak önerilen tasarım ivme spektrumlarıyla eşleştirilmeye çalışılmakta ve farklı zemin tipleri için en iyi uyumu sağlayan gerçek kayıtlar seçilmektedir.

Bu çalışmada, 12 katlı yapı ele alınarak DBYBHY tasarım spektrumu, zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerden elde edilen sonuçlar karşılıklı olarak değerlendirilmiştir.

SUMMARY

THESIS TITLE: COMPARING OF THE REAL EARTHQUAKE TIME HISTORIES SCALING FACTORS

AUTHOR: SELÇUK VATANSEVER

Due to rapid developments in structural analysis, time-history analysis is becoming more common in seismic analysis and design of structures. One of the crucial issues of such analysis is the selection of acceleration time histories to satisfy design code requirements and soil type at a specific site. In literature, there are three sources of acceleration time histories: design response spectrum compatible artificial records, synthetic records obtained from seismological models and accelerograms recorded in real earthquakes. Due to the increase of available strong ground motion database, using and scaling real recorded accelerograms is becoming one of the most contemporary research issues in this field. In this study, basic methodologies and criteria for selecting strong ground motion time histories are discussed and summarized. The time domain scaling procedure is utilized to scale the available real records to match the proposed elastic design spectrum given in the Turkish earthquake code for different seismic regions and soil types. The best fitted ground motion time histories are selected and classified taken into account the earthquake magnitude, focal mechanism and site conditions.

The aim of this study is to compare the results are taken from Turkish design spectrum, linear time history analyse and nonlinear time history analyse with using the structure which has 12 storeys.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve tecrübeleriyle bana yardımcı olan ve yol gösteren değerli tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Yasin FAHJAN'a, tecrübesini ve mesaisini paylaşmaktan hiç çekinmeyerek bana her zaman ve her konuda yardımcı olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Bülent AKBAŞ'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Tezin bu duruma gelmesindeki katkılarından dolayı Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Bilge DORAN'a teşekkürlerimi sunarım. Öğrenim hayatım boyunca göstermiş oldukları ilgiden dolayı Deprem ve Yapı Mühendisliği personeline ve Anabilim Dalı başkanımız Sayın Prof. Dr. Bilge SİYAHİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xx
1 GİRİŞ	1
2 DEPREM KAYIT KAYNAKLARI	3
2.1 Yapay Olarak Üretilmiş Deprem Kayıtları	3
2.2 Simüle Edilmiş (Benzeştirilmiş) Deprem Kayıtları	4
2.3 Gerçek Depremlerden Elde Edilen Kayıtlar	4
3 İVME KAYITLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	5
3.1 Deprem Kaynağı	5
3.1.1 Büyüklük (Manyitüd)	5

3.1.2 Yırtılma Mekanizması	7
3.1.3 Kaynak Yönlülüğü	8
3.1.4 Odak Derinliği	9
3.2 Deprem Yayılım Yolu	9
3.2.1 Uzaklık	9
3.2.2 Yerkabuğunun Yapısı	10
4 GERÇEK DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ	11
5 YER HAREKETİNİ ÖLÇEKLEME YÖNTEMLERİ	12
5.1 Yer Hareketinin Zaman Tanım Alanında Ölçeklenmesi	12
5.2 Tek Bir Deprem Kaydı İçin Genel Yöntem	12
5.3 Birden Çok Deprem Kaydı İçin Genel Yöntem	13
5.4 Yer Hareketinin Frekans Tanım Alanında Ölçeklenmesi	14
6 GERÇEK KAYITLARIN DBYBHY TASARIM SPEKTRUMUNA UYGUN SEÇİLMESİ VE ÖLÇEKLENMESİ	15
6.1 DBYBHY Tasarım Spektrumu	15
6.2 Elastik Spektral İvme Ölçekleme Katsayısı Tanımı	17
6.3 Ölçekleme Katsayıları İle İlgili Sınırlamalar	17

6.4 DBYBHY'ye Göre Kayıtların Seçilme Kriterleri	17
6.5 Veri Bankası	18
6.6 Gerçek Deprem Kayıtlarını Seçmek ve Ölçeklemek İçin Uygulanan Yöntem	18
6.7 Kayıtların Etkin Süresinin Belirlenmesi	20
6.8 Ölçekleme Sonuçlarının Yorumlanması	21
7 ANALİTİK ÇALIŞMA	26
7.1 Zaman Tanım Alanı Analizlerinde Kullanılan Deprem Kayıtları ve Ölçeklendirme Katsayıları	26
7.1.1 Yerel Zemin Sınıfı Z2 İçin Kullanılan Deprem Kayıtları ve Ölçeklendirme Katsayıları	26
7.1.2 Yerel Zemin Sınıfı Z4 İçin Kullanılan Deprem Kayıtları ve Ölçeklendirme Katsayıları	31
7.2 Doğrusal Analiz	36
7.2.1 Doğrusal Analiz Model Parametreleri	36
7.2.2 Z2 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri x-Yönünde Yapılan Doğrusal Analiz	42
7.2.3 Z2 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri y-Yönünde Yapılan Doğrusal Analiz	47

7.2.4 Z4 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri x-Yönünde Yapılan Doğrusal Analiz	52
7.2.5 Z4 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri y-Yönünde Yapılan Doğrusal Analiz	57
7.3 Doğrusal Olmayan Analiz	62
7.3.1 Doğrusal Olmayan Analiz Model Parametreleri	62
7.3.2 Z2 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri x-Yönünde Yapılan Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları	67
7.3.3 Z2 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri y-Yönünde Yapılan Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları	71
7.3.4 Z4 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri x-Yönünde Yapılan Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları	75
7.3.5 Z4 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri y-Yönünde Yapılan Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları	79
8 SONUÇLAR	84
KAYNAKLAR DİZİNİ	85
ÖZGEÇMİŞ	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

DBYBHY	: Türk Deprem Yönetmeliği
$A(T)$	: Elastik spektral ivme katsayısı
AI	: Arias yoğunluğu
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
$a(t)$	: t anında deprem kaydındaki ivme genlikleri değerleri
fark	: Ölçeklenmiş ve hedef spektrum genlikleri arasındaki farkın karesinin entegrasyonu
g	: Yer çekimi ivmesi
I	: Bina önem katsayısı
K	: Kaydın tepki spektrumu çizdirilirken kullanılan periyot adım (ΔT) sayısı
N	: Deprem kaydı adedi
$S(T)$	: Spektrum katsayısı
S_a^{hedef}	: Hedef ivme davranış spektrumu
$S_a^{gerçek}$	: Kullanılacak gerçek deprem kaydının ivme spektrumu
T_S	: Kaydın toplam süresi

T	: Salınımın periyodu
T_A	: Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı
T_B	: Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırı
T_1	: Birinci (hakim) periyodu
$Z1$	: DBYBHY’de yer alan yerel zemin sınıfları
$Z2$	: DBYBHY’de yer alan yerel zemin sınıfları
$Z3$	: DBYBHY’de yer alan yerel zemin sınıfları
$Z4$	: DBYBHY’de yer alan yerel zemin sınıfları
α	: Doğrusal ölçekleme katsayısı
α_{AT}	: Spektral ivme katsayısı $A(T)$ ’ye ait ölçekleme katsayı
α_{ST}	: Spektrum katsayısı $S(T)$ ’ye ait spektrum ölçekleme katsayı
ΔT	: Periyot adım miktarı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Doğrultu Atımlı Fay	7
3.2. Normal Atımlı Fay	7
3.3. Ters Atımlı Fay	8
3.4. Verev (Oblik) Atımlı Fay	8
6.1. DBYBHY tasarım ivme spektrumlarının 4 farklı yerel zemin sınıfları için gösterimi [6]	15
6.2. DBYBHY tasarım ivme spektrumlarının 4 farklı deprem bölgesi ve değişik yerel zemin sınıfları için gösterimi [6].	16
6.3. DBYBHY özel tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumları (Yerel Zemin Sınıfı Z1)[6]	22
6.4. DBYBHY özel tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumları (Yerel Zemin Sınıfı Z2)[6]	22
6.5. DBYBHY özel tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumları (Yerel Zemin Sınıfı Z3)[6]	23
6.6. DBYBHY özel tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumları (Yerel Zemin Sınıfı Z4)[6]	23
7.1. Landers depremi 21081 Amboy istasyonu ABY090 bileşeni ivme kaydı.	26

7.2. Landers depremi 31075 Baker Fire Station istasyonu BAK140 bileşeni ivme kaydı.	27
7.3. Superstition Hills(B) depremi 11369 Westmorland Fire istasyonu B-WSM090 bileşeni ivme kaydı.	27
7.4. Northridge depremi 90066 El Monte Fairview istasyonu FAI095 bileşeni ivme kaydı.	28
7.5. Imperial Valley depremi 5060 Brawley Airport istasyonu H-BRA315 bileşeni ivme kaydı.	28
7.6. Imperial Valley depremi 5061 Calipatria Fire Station istasyonu H-CAL315 bileşeni ivme kaydı.	29
7.7. Imperial Valley depremi 952 El Centro Array #5 istasyonu H-E05140 bileşeni ivme kaydı.	29
7.8. Imperial Valley depremi 931 El Centro Array #12 istasyonu H-E12140 bileşeni ivme kaydı.	30
7.9. Imperial Valley depremi 931 El Centro Array #12 istasyonu H-E12230 bileşeni ivme kaydı.	30
7.10. Northridge depremi 24612 LA Pico & Sontaus istasyonu PIC090 bileşeni ivme kaydı.	31
7.11. Taiwan SMART1(45) depremi 61 SMART1 I07 istasyonu 45I07NS bileşeni ivme kaydı.	31
7.12. Taiwan SMART1(45) depremi 68 SMART1 O12 istasyonu 45O12EW bileşeni ivme kaydı.	32

7.13. Superstitin Hills(B) depremi 5210 Wildlife Liquef. Array istasyonu B-IVW360 bileşeni ivme kaydı.	32
7.14. Kocaeli, Türkiye depremi Bursa Tofaş istasyonu BUR000 bileşeni ivme kaydı.	33
7.15. Landers depremi 90078 Compton Castigate istasyonu CAS270 bileşeni ivme kaydı.	33
7.16. Landers depremi 90002 Fountain Valley Euclid istasyonu EUC292 bileşeni ivme kaydı.	34
7.17. Imperial Valley depremi 5028 El Centro Array #7 istasyonu H-E07230 bileşeni ivme kaydı.	34
7.18. Landers depremi 90080 LB Orange Av. İstasyonu OR2010 bileşeni ivme kaydı.	35
7.19. Landers depremi 90023 LA W 70th St. istasyonu W70000 bileşeni ivme kaydı.	35
7.20. Landers depremi 90083 Huntington Bch Waikiki istasyonu WAI290 bileşeni ivme kaydı.	36
7.21. Doğrusal analiz modeli 3d görünüşü	37
7.22. Doğrusal analiz modeli tipik kat planı	37
7.23. Doğrusal analiz modeli “C-C” kesiti	38
7.24. Tasarım ivme spektrumu (Z2, 1. Deprem bölgesi)	41
7.25. Tasarım ivme spektrumu (Z4, 1. Deprem bölgesi)	41

7.26. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	43
7.27. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	43
7.28. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	45
7.29. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	46
7.30. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	48
7.31. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	48
7.32. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	50
7.33. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	51
7.34. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	53
7.35. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	53
7.36. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	55

7.37. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	56
7.38. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	58
7.39. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	58
7.40. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	60
7.41. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	61
7.42. Doğrusal olmayan analiz modeli 3d görünüşü	63
7.43. Doğrusal olmayan analiz modeli tipik kat planı	63
7.44. Doğrusal olmayan analiz modeli “C-C” kesit görünüşü	64
7.45. Tasarım ivme spektrumu (Z2, 1. Deprem bölgesi)	67
7.46. Tasarım ivme spektrumu (Z4, 1. Deprem bölgesi)	67
7.47. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	68
7.48. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	69
7.49. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	70

7.50. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz y-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	71
7.51. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	72
7.52. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	73
7.53. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	74
7.54. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz y-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	75
7.55. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	76
7.56. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	77
7.57. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	78
7.58. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz y-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	79
7.59. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	80
7.60. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması	81

7.61. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	82
7.62. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması	83

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
6.1. Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z1 olan bölgelerde kullanılabilir deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (α_{ST})	24
6.2. Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z2 olan bölgelerde kullanılabilir deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (α_{ST})	24
6.3. Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z3 olan bölgelerde kullanılabilir deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (α_{ST})	25
6.4. Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z4 olan bölgelerde kullanılabilir deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (α_{ST})	25
7.1. Doğrusal analiz modeli kolon özellikleri.	39
7.2. Modal etkin kütleler.	40
7.3. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri	42
7.4. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri oranı	44
7.5. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu göreceli kat ötelemeleri	45
7.6. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu göreceli kat ötelemeleri oranı	46
7.7. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri	47
7.8. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri oranı	49

7-9 Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu görelî kat ötelemeleri	50
7.10. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu görelî kat ötelemeleri oranı	51
7.11. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz kat ötelemeleri	52
7.12. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri oranı	54
7.13. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu görelî kat ötelemeleri	55
7.14. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu görelî kat ötelemeleri oranı	56
7.15. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri	57
7.16. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri oranı	59
7.17. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu görelî kat ötelemeleri	60
7.18. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu görelî kat ötelemeleri oranı	61
7.19. Doğrusal olmayan analiz modeli kolon özellikleri	65
7.20. Modal etkin kütleler	66
7.21. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları	68
7.22. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu görelî kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları	70
7.23. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları	72

7-24 Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu görelî kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları	73
7.25. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları	76
7.26. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu görelî kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları	78
7.27. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları	80
7.28. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu görelî kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları	82

1 GİRİŞ

Geleneksel olarak, yapılara etkiyen sismik yüklerin hesabı “Mod Birleştirme Yöntemi” ve “Eşdeğer Statik Deprem Yüğü Yöntemi” ile yapılmaktadır. Son dönemde yapısal analiz ve teknolojiideki gelişmelerle birlikte, zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi, yapıların tasarım ve analizinde kullanılmaya başlanmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan analizlerin gerçekleştirilmesinde en önemli konu, uygun sismik kayıtların seçilmesi ve bunların ölçeklenmesidir.

Deprem kayıtlarının elde edilebileceğı üç farklı kaynaktan bahsedilebilir. Bunlar; yapay yollar kullanılarak oluşturulan tasarım ivme spektrumu uyumlu kayıtlar (örneğin Abrahamson [1] tarafından geliştirilen RSPMATCH programı ile), kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş (simüle edilmiş) kayıtlar (örneğin Boore [2] tarafından geliştirilen SMSIM programı yardımı ile) ve gerçek depremlerden elde edilen kayıtlardır. Deprem esnasında alınan kayıtların sayısının gün geçtikçe artması ve bunlara erişimin gelişen veri transfer teknolojisi ile birlikte kolaylaşması zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda, gerçek kayıtları en çok tercih edilen seçenek haline getirmektedir.

Belirli bir bölgedeki tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek kuvvetli yer hareketi kaydının seçilebilmesi için kullanılan kriterler jeolojik ve sismolojik şartları içermelidir. Depremin büyüklüğü, faylanma tipi, çalışma alanının faya olan mesafesi, yırılma yönü, yerel zemin koşulları ve kaydın spektral içeriğı bu şartların en önemlilerini teşkil etmektedir.

Eşleştirme için kullanılacak kriterler belirlendikten sonra, gerçek kayıtlara uygulanacak gerekli ölçeklemelerin yapılması için yöntem belirlenmeli ve yeterli yaklaşıklığın sağlanıp sağlanamadığı kontrol edilmelidir. Doğrusal ölçekleme faktörünün elde edilmesinde spektral genlik kullanılacağı gibi, bazı özel çalışmalarda çevirim sayısını arttırmadan frekans içeriğini ve süreyi değiştiren zaman ekseninde

ölçekleme de yapılabilir [3]. Ölçekleme sonucunda elde edilecek kayıtlarda dikkat edilecek en önemli hususlardan bir tanesi gerçek kayıttaki genlik ve şiddet özelliklerinin korunmasıdır.

Bu çalışmada, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) [4] kuvvetli yer hareketi veri bankasında bulunan gerçek deprem kayıtlarının arasından depremin büyüklüğü, faylanma tipi ve yerel zemin koşulları gibi DBYBHY’de [5] belirtilen kıstasları sağlayan kayıtlar, 12 katlı bir yapının analizinde kullanılmak üzere seçilmiştir. Yapının, 1. derece deprem bölgesinde ($A_0 = 0.4$) inşa edildiği, bina önem katsayısının (I) 1.0 olduğu ve Z2 ve Z4 olmak üzere iki farklı zemin tipi üzerine oturtulduğu varsayılmıştır. Seçilen gerçek deprem kayıtları zaman ve frekans tanım alanında ölçekleme yöntemleri kullanılarak DBYBHY’de verilen hedef tasarım ivme spektrumuna uygun olarak ölçeklenmiştir. Elde edilen ölçeklenmiş kayıtlardan DBYBHY tasarım spektrumu ile en iyi eşleşen kayıtlar 12 katlı yapının zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde kullanılmıştır. Analizlerin sonucunda yapıda oluşan kat ötelemeleri ve görelî kat ötelemeleri elde edilmiştir. Analizlerde, DBYBHY’de önerildiği gibi üç yer hareketi kaydı kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınmıştır. Üç ve yedi kayıt kullanılarak elde edilen yapı tepki parametreleri karşılaştırılmıştır. Farklı yaklaşımların yapı sistemlerinin genel davranışı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

2 DEPREM KAYIT KAYNAKLARI

Üç çeşit deprem kaydından bahsetmek mümkündür: Yapay kayıtlar, benzeştirilmiş (simüle edilmiş) kayıtlar ve gerçek depremlerden elde edilen kayıtlar[6].

2.1 Yapay Olarak Üretilmiş Deprem Kayıtları

Geniş bir periyot aralığında, tepki spektrumu elastik tasarım spektrumuna tamamen benzeyen yapay kayıtlar üretilebilir. Sadeleştirilmiş tepki spektrumundan güç spektral yoğunluk fonksiyonu bulunur ve bu fonksiyon ile rastgele faz açıları birleştirilerek sinüzoidal sinyaller türetilir. Bu sinüzoidal hareketler toplanarak yapay kayıt elde edilmiş olur. Tasarım spektrumuyla eşleşmeyi iyileştirmek için iteratif bir yöntem kullanılır. Bu yöntemde, seçilen frekanslarda gerçek tepki spektrumu ve hedef tasarım spektrumu ordinatları arasındaki ölçekleme katsayısı hesaplanır ve güç spektral yoğunluk fonksiyonu bu ölçekleme katsayısının karesi ile ayarlanarak kayıt düzeltilir. Bu işlemler sonucunda yeni hareket elde edilmiş olur.

Tasarım spektrumuna uyumlu yapay kayıtların diğer özelliklerini öğrenmek için, beklenen depremle ilgili tepki spektrumunun yanında hareketin süresi gibi başka tamamlayıcı bilgilere de ihtiyaç vardır. Yapay kayıtları kullanmaktaki en büyük zorluk, çok sayıda kaydedilmiş hareketin ortalamasını simgeleyen tasarım spektrumuna uygun tek bir kayıt elde etmeye çalışmaktır [7]. Tasarım spektrumu, genellikle, pek çok sismik kaynağın etkisini eş zamanlı olarak göz önüne alan istatistiksel bir analizin sonucu olduğundan, farklı periyotlara karşı gelen spektrum ivme değerleri de değişik kaynaklarda oluşan depremlerden elde edilmiş olabilir [8][9]. Ayrıca, yapay kayıtlardaki temel problem, kuvvetli yer hareketindeki çevrim sayısının artması sonucunda, gerçeğe aykırı olacak kadar büyük miktarda enerjinin açığa çıkmasıdır.

2.2 Simüle Edilmiş (Benzeştirilmiş) Deprem Kayıtları

Bu tür kayıtlar yayılım ortamı ve zemin özelliklerini dikkate alan sismolojik kaynak modellerinden elde edilir. Buradaki en büyük zorluk uygun kaynak, yayılım ortamı ve zemin özelliklerinin tanımlanmasıdır. Kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş (simüle edilmiş) kayıtları elde etmekte kullanılan analizlerde, inceleme yapılacak alan için, senaryo depremi büyüklük ve mesafeye bağlı olarak tanımlanmış olması gerekir. Özellikle sismik tasarım yönetmelikleri kullanıldığı durumlarda, bu bilgilerin çoğu genellikle mevcut değildir [10].

2.3 Gerçek Depremlerden Elde Edilen Kayıtlar

Gerçek deprem kayıtları, yer sarsıntısının doğası ve belli başlı özellikleri (genliği, süresi, faz özellikleri ve frekans muhteviyatı) hakkında sağlıklı bilgiler içerir. Ayrıca, kayıtları etkileyen kaynak, yayılım ortamı ve zemin gibi bütün faktörleri de yansıtır. Bu yüzden sahanın sismolojik parametrelerini de göz önünde bulundurarak bu tür kayıtların seçilmesi diğer alternatiflere göre büyük üstünlük sağlar.

Mevcut olan kuvvetli yer hareketi kayıtlarının artması sebebiyle, depremlerde kaydedilmiş ivme kayıtlarının kullanılması ve ölçeklenmesi bu alandaki en güncel araştırma konularından biri haline gelmektedir. Sürekli artan kuvvetli yer hareketi veri tabanlarına rağmen, büyüklük, yırtılma mekanizması, kaynakla saha arasındaki mesafe ve zemin sınıfı gibi deprem parametrelerine bağlı pek çok kombinasyon oluşturulabileceğinden, bazı hallerde duruma uygun kayıt bulmada zorluklarla karşılaşılabilir [10].

3 İVME KAYITLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

3.1 Deprem Kaynağı

Yerküre kabuğunda bulunan faylarda biriken biçim değiştirme enerjisinin aniden boşalması sonucunda faylarda oluşan yırtıklar ve yer değiştirme hareketi *deprem* olarak adlandırılır. Yırtıklar fayın belli bir noktasından başlayarak fay yüzeyi boyunca hızlı bir biçimde yayılır. Depremın büyüklüğüne bağlı olarak fayda meydana gelen yırtık büyür.

Büyüklük (manyitüd), yırtılma mekanizması, odak noktası (hiposantr), dış merkez (episantr) ve odak derinliği gibi parametreler depremin doğasını belirler.

3.1.1 Büyüklük (Manyitüd)

Deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Enerjinin doğrudan ölçülme imkânı olmadığından, Richter tarafından 1930 yıllarında bulunan bir yöntemle depremlerin aletsel bir ölçüsü olan *Manyitüd (M)* tanımlanmıştır. Richter, episantrdan 100 km uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütme, özel periyodu 0,8 saniye ve %80 sönümü olan bir Wood-Anderson torsiyon Sismografi ile) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını bir depremin manyitüdü olarak tanımlamıştır.

Çeşitli büyüklük ölçütleri bulunmaktadır.

Yerel (Lokal) büyüklük (M_L); Richter tarafından depremleri ölçmek için önerilen ilk yöntemdir. Bu yöntemi, havuza atılan taş örneğine benzetecek olursak, taşın suya çarparken oluşturduğu ses dalgalarının suyun içerisine yerleştirilmiş bir

mikrofon ile dinlenmesine benzetilebilir. Ses kaydında oluşan en yüksek genlik değeri, uzaklık ile ölçeklenerek taşın büyüklüğü hakkında bilgi verecektir. Deprem büyüklüğünü bu yöntemle kestirirken de aynı ilke uygulanır. Bu yöntem küçük (büyüklüğü 6.0 dan az) ve yakın (uzaklığı 700 km de az) depremler için kullanılır. Doğru değerlerin bulunması için sismometrelerin çok iyi ayar edilmiş olması esastır.

Süreyle bağlı büyüklük (M_d); daha büyük depremlerin, sismometre üzerinde daha uzun bir süre için salınımlara yol açacağı ilkesinden hareket edilir. Deprem, sismometre üzerinde ne kadar uzun süreli titreşim oluşturduğu ölçülür ve deprem merkezinin uzaklığı ile ölçeklenir. Bu yöntem daha çok küçük ($M < 5.0$) ve yakın ($r < 300$ km) depremler için kullanılır.

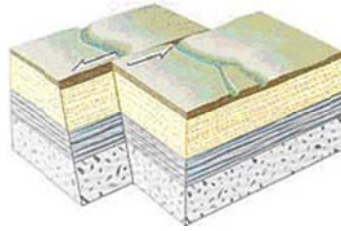
Yüzey dalgası büyüklüğü (M_s); büyük depremleri ($M > 6.0$) ölçmek için geliştirilmiştir. Havuz örneğine geri dönecek olursak, suyun yüzeyinde oluşan ve halkalar şeklinde merkezden çevreye yayılan dalgaların en yüksek genliğinin ölçülmesi esasına dayanır. Bu tür dalgalar yeryüzünde kaynaktan çok uzak mesafelere yayılabilirler. Diğer yöntemlerin aksine bu yöntemin güvenilirliği mesafe arttıkça daha da artar.

Cisim dalgası büyüklüğü (M_B); yüzey dalgası yöntemine benzer, tek farkı yüzeyden yayılan dalgalar yerine derinlerde ilerleyen dalgaların kullanılmasıdır. Yine havuz örneğindeki gibi, taşın suya çarpması ile oluşan ses dalgalarının (akustik dalga) uzak mesafelere yayılması esas alınmaktadır. Deprem için de durum benzerdir. Ancak yer kabuğu içerisinde sadece ses dalgası (P) değil, kesme dalgası (S) adı verilen bir başka dalga türü de üretilir. Bu iki dalga türünün tümüne *Cisim Dalgaları* adı verilmektedir. Sismometreler, bu her iki dalga türünü (Cisim Dalgaları) de kaydeder. Uzak mesafelere yayılan bu dalgaların en yüksek genliği odak noktasındaki deprem büyüklüğü hakkında bilgi verecektir.

3.1.2 Yırtılma Mekanizması

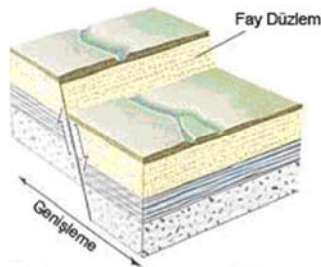
Sığ depremleri etkileyen etkenlerden biri de yırtılma mekanizmasıdır. Yırtılma mekanizmasına göre fay çeşitleri *doğrultu atımlı faylar*, *normal atımlı faylar*, *ters atımlı faylar* ve *verev (oblik) atımlı faylar* olarak çeşitlendirilebilir.

Doğrultu atımlı faylar; fay düzlemleri, yeryüzünde 90 dereceye yakın dik bir konumda olan ve yerin içine doğru hafifçe eğimlenen yalnızca yatay atımın oluşturduğu yanal atımlı faylardır. Bu faylar, atımlarına göre sağ ya da sol yönlü olabilirler. Kuzey Anadolu Fayı sağ, Doğu Anadolu Fayı ise sol yönlü doğrultu atımlı faylardır.



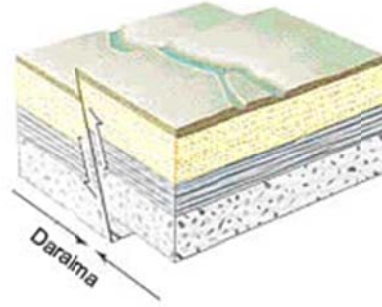
Şekil 3.1. Doğrultu Atımlı Fay

Normal atımlı faylar; fay düzleminin bir tarafındaki blok yükselirken diğer tarafındaki düşerek uzaklaşır. Burada hareket yine göreceli olarak gelişmektedir. Bir başka deyişle, bir blok yükselirken diğeri yerinde durabilir yâda bir taraf yerinde dururken diğer taraf düşebilir. Örneğin; 1970 Gediz ve 1995 Dinar depremi ile ilgili faylar bu türden normal atımlı faylardır.



Şekil 3.2. Normal Atımlı Fay

Ters atımlı faylar; düşey atımlı faylar olup, yalnızca fay düzlemi boyunca hareket eğim yönüne göre ters yönde olmakta ve bloklar birbirine göre yaklaşmaktadır. Örneğin; 1975 Lice depremi ile ilgili faylar ters atımlı faylardır.



Şekil 3.3. Ters Atımlı Fay

Verev (Oblik) atımlı faylar; fay düzlemi boyunca ortaya çıkan hareketin hem düşey hem de yatay yönde olduğu faylardır.



Şekil 3.4. Verev (Oblik) Atımlı Fay

3.1.3 Kaynak Yönlülüğü

Diğer önemli bir faktör de kaynak yönlülüğüdür. Fay yırtığının yönü depremin hissedildiği bölgedeki genlik ve süresini etkiler.

Deprem hissedildiği bölge, yırtılma doğrultusunda ise bu ileri yönlülük depremin hissedildiği bölge ile fayın yırtılma doğrultusu ters ise bu da ters yönlülük olarak adlandırılabilir.

3.1.4 Odak Derinliği

Depremde enerjinin açığa çıktığı noktanın yeryüzünden olan en kısa uzaklığı, depremin odak *derinliği olarak* adlandırılır. Bunlar sığ ve orta derin depremlerdir. Depremler odak derinliklerine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma tektonik depremler için geçerlidir. Orta ve derin depremler daha çok bir levhanın bir diğer levhanın altına girdiği bölgelerde olur. Derin depremler çok geniş alanlarda hissedilir, buna karşılık yaptıkları hasar azdır. Sığ depremler ise dar bir alanda hissedilirken bu alan içinde çok büyük hasar yapabilir.

3.2 Deprem Yayılım Yolu

Deprem kaynağından çıkan enerjinin, yeryüzündeki bir noktaya gelene kadar katettiği yol, *deprem yayılım yolu* olarak adlandırılabilir. Deprem yolunun yayılan dalgalara etkisi; dalga genliğinde zayıflama, farklı kaya çeşitlerine geldiğinde dalgaların yansıması ve kabuktaki ufak çaplı değişiklikler sonucunda dalgaların savrulması olarak sıralanabilir. Deprem yolunu belirleyen ana parametreler uzaklık ve zemin yapısıdır.

3.2.1 Uzaklık

Deprem odak noktası ile deprem bölgesi arasındaki uzaklık, deprem sırasında açığa çıkan sismik enerjinin ne kadarının deprem bölgesine taşınacağı ile ilgilidir. Deprem merkezinden uzaklaştıkça dalgaların yayılımları artacağı için genlikleri azalır.

Uzaklık çeşitli şekillerde ölçülebilir. En kolay ölçüm şekli, fayın noktasal olarak kabul edilip, hiposantr ile yüzey arasındaki uzaklığın ölçüldüğü *hiposantral*

uzaklıktır (r_{hyp}). Diğer ölçüm şekilleri, fay ile yüzeyin en kısa mesafesinin ölçüldüğü r_{rup} , sismojenik derinlikle yüzey arasındaki en kısa mesafenin ölçüldüğü r_{seis} ve deprem bölgesi ile fay arasındaki en kısa yatay uzaklık olan r_{jb} (“Joyner-Boore”) uzaklıkları olarak sıralanabilir. Bunların aralarından azalım ilişkilerinde en yaygın olarak kullanılanlar r_{jb} ve r_{rup} uzaklıklarıdır.

3.2.2 Yerkabuğunun Yapısı

Deprem yayılım yolunu etkileyen diğer bir parametre de yer kabuğunun yapısı ve onun gelen sismik enerjiyi iletme veya emme yeteneğidir. Sismik dalgalar yerkabuğuna ve mantoya doğru yayılırken, karşılaştıkları zemin tabakalarındaki sınırlar ve devamsızlıklar sonucunda kırılmalar ve yansımalar yaşar.

4 GERÇEK DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ

Gerçek deprem kayıtları, yer hareketinin belli özelliklerini temsil etmesi için genellikle ya tasarım spektrumuna veya büyüklük, mesafe ve zemin sınıfı gibi minimum parametreleri verilen deprem senaryosuna dayandırılarak seçilir. Sismik tasarım yönetmeliklerinde, uygun gerçek kayıtların nasıl seçileceği ile ilgili verilen yönlendirmeler çoğunlukla sismolojik parametreler yerine tepki spektrumuna uygunluğa odaklanır. Böylece kayıtlar en büyük yer ivmesi gibi kuvvetli yer hareketi parametrelerine göre bir tasarım tepki spektrumuna uyacak şekilde seçilir. Belirli bir bölge için seçilecek kayıtlar hem yapılan Sismik Tehlike Analizi sonucunda ortaya çıkan tepki spektrumuyla uyuşmalı hem de jeolojik ve sismolojik şartları sağlamalıdır[6].

Depremin büyüklüğü, yer hareketinin frekans içeriğini ve süresini güçlü bir şekilde etkilediği için uygun büyüklüğe sahip kayıtların seçilmesi çok önemlidir. Seçilecek kayıtların deprem büyüklüklerinin hedef olarak belirlenen büyüklüğe ± 0.25 yaklaşıklıkta olması istenir [11]. Özellikle faya yakın olan bölgelerde yapılacak olan çalışmalarda seçilecek kayıtların uygun fay-saha mesafesine sahip olması önemlidir. Çünkü yakın fay yer hareketlerinin özellikleri diğerlerine nazaran çok farklıdır. Diğer bir etken olan zemin koşullarının ise kuvvetli yer hareketinin özellikleri üzerinde çok önemli etkileri vardır. Yer hareketleri yumuşak zeminlerde büyütme uğramalarına rağmen içeriğindeki yüksek frekanslı hareketler azalır. Büyütmenin yer hareketi üzerindeki etkileri, genellikle kaydın ivme spektrumunun orta ve yüksek periyotlu bölgelerinde fark edilebilir.

5 YER HAREKETİNİ ÖLÇEKLEME YÖNTEMLERİ

Gerçek deprem kayıtları, verilen bir tasarım ivme spektrumuna uyumlu olarak zaman tanım alanında veya frekans tanım alanında ölçeklenebilir.

5.1 Yer Hareketinin Zaman Tanım Alanında Ölçeklenmesi

Bu yöntemde, yer hareketi kaydı aynı miktarda yukarı veya aşağı yönde ölçeklenerek (1'den büyük veya 1'den küçük ve sabit bir katsayı ile çarpılarak), istenilen periyot aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun eşleştirme yapılır. Bu işlem kaydın frekans içeriğini değiştirmez. Birden fazla deprem kaydı kullanılmak istendiğinde ise her bir kayıt için ayrı ayrı ölçekleme işlemi yapılabileceği gibi hedef tasarım ivme spektrumuna en iyi uyan kayıtların ortalaması da kullanılabilir.

5.2 Tek Bir Deprem Kaydı İçin Genel Yöntem

Bu yöntem, en küçük kareler tekniğini kullanarak, ölçeklenmiş hareketin davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasındaki farkın küçültülmesi esasına dayanır. Bu çalışmada önerilen metodoloji *fark* diye bahsedilen ölçeklenmiş ve hedef spektrum genlikleri arasındaki farkın karesinin, aşağıda verilen integralle tanımlanmasıdır[6]:

$$|Fark| = \int_{T_A}^{T_B} \left[\alpha S_a^{gerçek}(T) - S_a^{hedef}(T) \right]^2 dT \quad (5.1)$$

Fark miktarının küçülmesi için *fark* fonksiyonunun doğrusal ölçekleme katsayısına göre türevi sıfır olmalıdır:

$$\min |Fark| \Rightarrow \frac{d |Fark|}{d \alpha} = 0 \quad (5.2)$$

(5.1)'deki fark fonksiyonunun $d\alpha$ 'ya göre türevi alınıp sıfıra eşitlenir (5.2). (5.1)'deki integraller ayırık forma çevrilerek T_A 'dan ΔT artımlarla T_B 'ye kadar devam eden toplam haline dönüştürülür. Buradaki ΔT periyot adım miktarıdır. Böylece, (5.3) elde edilir:

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T) S_a^{hedef}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T))^2} \quad (5.3)$$

5.3 Birden Çok Deprem Kaydı İçin Genel Yöntem

Birden fazla deprem kaydı kullanarak ölçekleme yapılmak istenmesi durumunda uygulanabilecek yöntemler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

(a) Bütün kayıtlar için tek bir ölçekleme katsayısı kullanılarak N adet deprem kaydının ortalaması tasarım spektrumuna eşleştirilmeye çalışılır. Üretilen ortalama spektrum, tasarım spektrumu ile oldukça iyi eşleşse de, bütün kayıtlar aynı katsayı ile ölçeklenmiş olur.

(b) Tek bir kayıt için kullanılan yöntem, N adet kaydın her biri için tek tek uygulanır. Her bir hareket tek başına en iyi şekilde ölçeklenmiş olmasına rağmen sonuçta alınan ortalama tasarım spektrumu ile mükemmel şekilde eşleşmez.

(c) N adet kaydın spektrumunun ortalaması tasarım spektrumuna eşleştirilmeye çalışılır. N defa türev alınarak *fark* fonksiyonu minimize edilir. Elde edilen N adet doğrusal cebirsel denklem çözülerek N adet optimum ölçekleme

katsayısı bulunur. Bu yöntemde kayıtlar en optimum şekilde ölçeklenmiş olmasına rağmen çıkan ölçekleme katsayıları çok küçük veya çok büyük hatta negatif değerler alabilir[6].

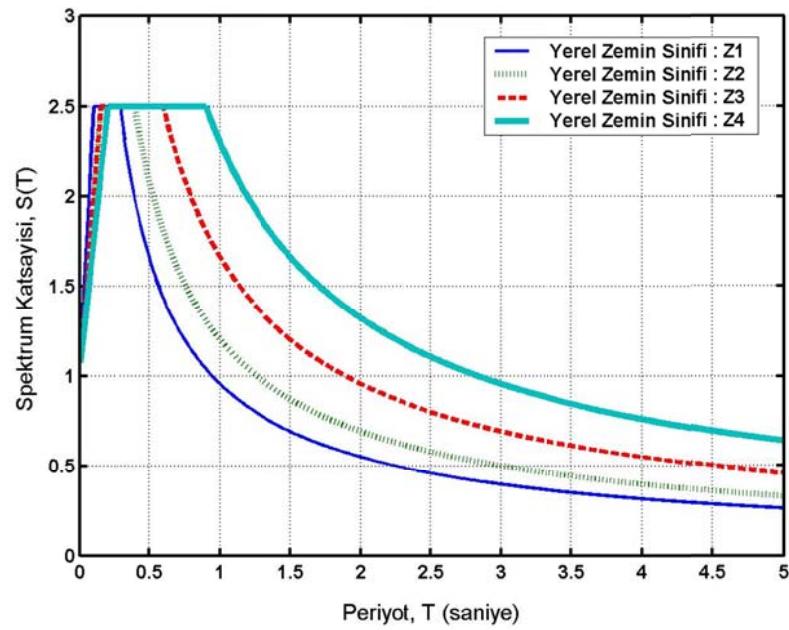
5.4 Yer Hareketinin Frekans Tanım Alanında Ölçeklenmesi

Bu yöntemde de, deprem esnasında kaydedilmiş ivme kayıtlarından tasarım ivme spektrumuna uyan kayıtlar türetilir. Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme esnasında deprem hareketi fiziksel özelliklerini yitirmediği için klasik yapay deprem kaydı üretme metotları ile karşılaştırıldığında daha etkili bir yöntemdir [12].

6 GERÇEK KAYITLARIN DBYBHY TASARIM SPEKTRUMUNA UYGUN SEÇİLMESİ VE ÖLÇEKLENMESİ

6.1 DBYBHY Tasarım Spektrumu

Türk yönetmeliğinde tasarıma esas deprem, aşılma olasılığı 50 yıllık süre için %10 (dönüş periyodu 475 yıl) olan yer hareketi olarak kabul edilmektedir. Bu hareketi göstermek için yerel zemin sınıflarına bağlı olarak % 5 sönüm oranındaki spektrum katsayıları, $S(T)$ tanımlanmıştır ve Şekil 6.1.'de gösterilmiştir[6].



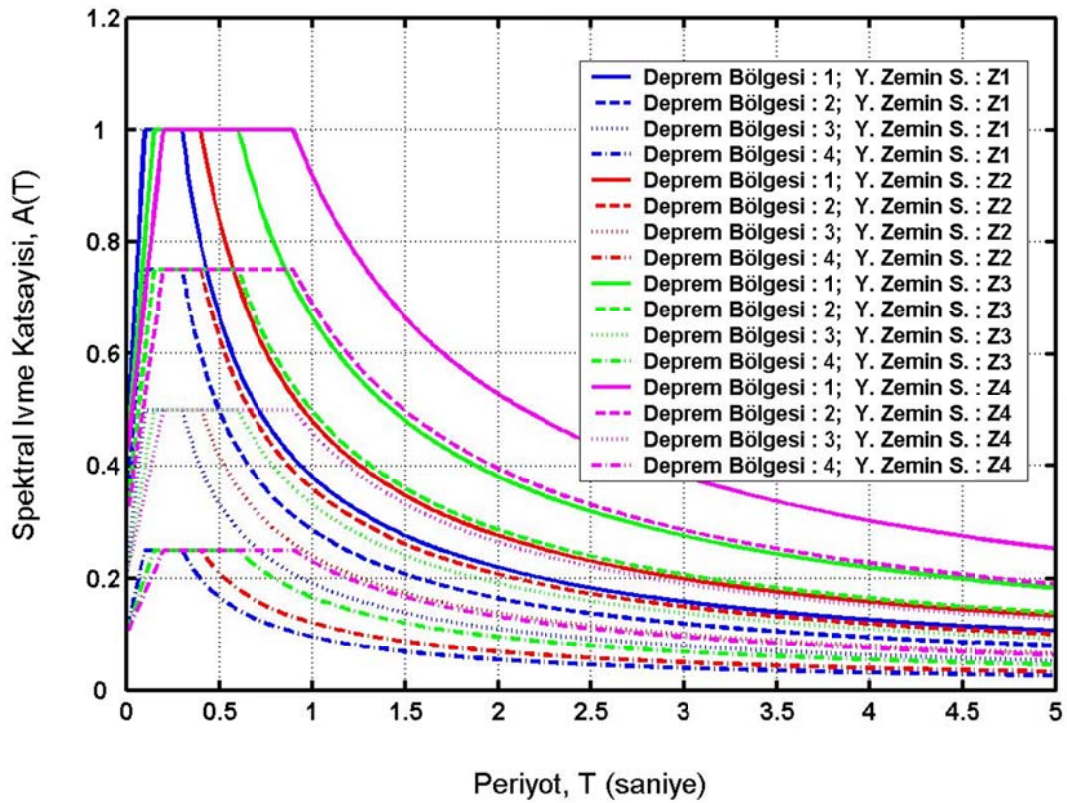
Şekil 6.1. DBYBHY tasarım ivme spektrumlarının 4 farklı yerel zemin sınıfları için gösterimi [6]

Yerel zemin sınıflarının tasarım spektrumu üzerinde yarattığı farklılık spektrum karakteristik periyotları (T_A, T_B) sayesinde yansıtılmaktadır. Yönetmelikte

yer alan dört zemin sınıfına karşı gelen karakteristik periyotlar Şekil 6.1. ile verilmektedir. Analizlerde kullanılacak elastik spektral ivme katsayısı, $A(T)$; yapının periyoduna karşı gelen spektrum katsayısı, $S(T)$, bölgedeki deprem tehlikesini gösteren etkin yer ivmesi katsayısı, A_0 , ve binanın kullanım türüne göre değişen bina önem katsayısı, I , çarpılarak bulunur:

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (6.1)$$

DBYBHY’de verilen zemin sınıfları ve deprem bölgeleri için çizilen elastik spektral ivme katsayıları Şekil 6.2. ile gösterilmiştir.



Şekil 6.2. DBYBHY tasarım ivme spektrumlarının 4 farklı deprem bölgesi ve değişik yerel zemin sınıfları için gösterimi [6].

Etkin Yer İvmesi Katsayısı, (A_0), mevcut faylar ve daha önceki depremlere ait kayıtlar göz önüne alınarak belirlenmiş ve Türkiye beş deprem bölgesine ayrılmıştır

[13]. Birinci bölge, tehlikesi en çok olan kısımları gösterirken, beşinci bölge deprem tehlikesinin bulunmadığı kabul edilen alanları kapsamaktadır. Bina önem katsayısı, I , ise binanın kullanım amacı veya türüne göre 1.0 ile 1.5 arasında değişmektedir.

6.2 Elastik Spektral İvme Ölçekleme Katsayısı Tanımı

DBYBHY’de [5] tanımlanan spektral ivme katsayısı $A(T)$ ’nin en önemli özelliği, etkin yer ivmesi katsayısı (A_0) ve bina önem katsayısının (I) spektrum katsayısı $S(T)$ ile lineer olarak çarpılmasıyla elde edilmesidir. Bu çalışmada, bu özellik kullanılarak sadece $S(T)$ için kayıtlar seçilip ölçekleme yapılmaktadır. Bu işlemde çıkan ölçekleme katsayısına α_{ST} ismi verilmektedir. Spektral ivme katsayısı $A(T)$ ’ye ait ölçekleme katsayısı, α_{AT} , $S(T)$ ’ye ait spektrum ölçekleme katsayısı α_{ST} , A_0 ve I çarpılarak elde edilir:

$$\alpha_{AT} = A_0 I \alpha_{ST} \quad (6.2)$$

6.3 Ölçekleme Katsayıları İle İlgili Sınırlamalar

Gerçek deprem kayıtlarının genliğine yapılacak ölçekleme miktarları, çıkan hareketin kullanılacağı problemin türüne göre belirli limitleri aşmaması önerilir. Yapılan çalışmalarda [14], [15] yapıların doğrusal elastik analizlerinde üst limit olarak 4’ün kabul edilebileceği fakat doğrusal elastik olmayan analizlerde ölçekleme katsayısının (α_{AT}) 0.5 ile 2 arasında sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir. Sıvılaşma için ise 2’den büyük ölçekleme katsayısı (α_{AT}) kullanılmaması tavsiye edilir.

6.4 DBYBHY’ye Göre Kayıtların Seçilme Kriterleri

Deprem yönetmeliğinde, bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan deprem hesabı için yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketi kayıtlarının kullanımına

izin verilmektedir. Kullanılacak deprem kayıtlarının aşağıda verilen özellikleri taşıması istenmektedir:

- Deprem kaydının kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Kullanılacak deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_0g 'den daha küçük olmayacaktır.
- Kullanılacak ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyodu T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, yönetmelikte tanımlanan elastik spektral ivme değerlerinin %90'ından daha az olmayacaktır.
- Zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır.

6.5 Veri Bankası

Bu çalışmada, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi[4], kuvvetli yer hareketi veri bankasında bulunan deprem kayıtları kullanılmaktadır. Burada, dünyanın çeşitli yerlerinde aktif tektonik faaliyet gösteren bölgelerde meydana gelen 92 sığ kabuksal depremden alınan 4 062 kayıt mevcuttur.

6.6 Gerçek Deprem Kayıtlarını Seçmek ve Ölçeklemek İçin Uygulanan Yöntem

Zaman tanım alanında yapılacak hesaplamalarda kullanılacak kayıtları elde etmek için uygulanan yöntem aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- PEER veri bankasında bulunan kayıtların büyüklük, faylanma mekanizması, mesafe ve zemin koşulları gibi özellikleri listelendi.
- Tam Artımsal Metot (Piecewise Exact Method) [16] kullanılarak, tek serbestlik dereceli doğrusal bir sistemin %5 sönüme sahip olacak şekilde tepki spektrumunu hesaplayan MatLab Programı hazırlandı ve kayıtların yatay bileşenlerinin her biri için tepki spektrumları oluşturuldu.
- Kayıtların tepki spektrumları zemin türüne göre gruplandırıldı ve ilgili zemin tipine ait tasarım spektrumu kullanılarak Denklem 3'den her bir kaydın ölçekleme katsayısı hesaplandı. (Ölçekleme yöntemi olarak “Tek Bir Deprem Kaydı İçin Genel Yöntem” başlığı altında verilen bölümdeki metodoloji kullanıldı.)
- Ölçekleme katsayıları α_{ST} , 20'den büyük ve 1/20'den küçük olan kayıtlar elendi.
- Ölçekleme katsayısı ile çarpılan kayıtlar için MatLab Programı kullanılarak tepki spektrumları oluşturuldu.
- Bu tepki spektrumlarının içinden süre ve genlikleri bakımından DBYBHY'de verilen şartları sağlamayan kayıtlar elendi.
- Her bir kayıt için tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş kayda ait tepki spektrumunun genlikleri arasındaki farklar, $T_A=0.01-T_B=5$ saniye periyot aralığında, (6.3)'te tanımlanan “Toplam Göreceli Hata” formülü ile hesaplandı [6]:

$$|Toplam\ Göreceli\ Hata| = \sum_{T_A}^{T_B} \left| \left[(\alpha S_a^{gerçek}(T) - S_a^{hedef}(T)) / S_a^{hedef}(T) \right] \right| \quad (6.3)$$

Bulunan “Toplam Göreceli Hata” (6.4)'e yerleştirilerek hata miktarı yüzde olarak bulundu:

$$|Oransal\ Göreceli\ Hata\ (%)| = \frac{1}{k} |Toplam\ Göreceli\ Hata| \times 100 \quad (6.4)$$

Burada;

k , kaydın tepki spektrumu çizdirilirken kullanılan periyot adım (ΔT) sayısıdır.

$$k = (T_B - T_A) / \Delta T \quad (6.5)$$

- Zemin türlerine göre gruplanmış kayıtların içinden ölçekleme katsayıları (α_{ST}) ve “Oransal Göreceli Hataları (%)” en küçük olan ilk 50 kayıt alındı ve bunlardan tasarım spektrumuyla en iyi eşleşen 10 adet kayıt gözle seçildi.

6.7 Kayıtların Etkin Süresinin Belirlenmesi

Sismik moment veya depremin büyüklüğünün fonksiyonu olan yer hareketinin süresi, fay kırığının fay yüzeyi boyunca yayılması için gereken zaman ile ilişkilidir. Depremin süresini belirlemek için, ölçülen büyüklüğe göre değişiklik gösteren, “Zarf Süre (Bracketed Duration)”, “Düzenli Süre (Uniform Duration)” ve “Anlamlı Süre (Significant Duration)” gibi pek çok adlandırma yapılmıştır [17]. “Zarf Süre (Bracketed Duration)” belirli bir eşik ivme değerinin (genellikle 0.05 g) ilk ve son aşılması arasındaki geçen süre olarak tanımlanır [18]. İvme kaydındaki belirli miktardaki enerjinin boşalması için geçen süreyi gösteren “Anlamlı Süre’nin (Significant Duration)” hesabında referans olarak kullanılan büyüklük, doğal olarak, ivme kaydındaki enerji miktarını (hasar potansiyeli) gösteren Arias yoğunluğu (AI)’dur:

$$AI = \frac{\pi}{2g} \int_0^T a^2(t) dt \quad (6.6)$$

Burada $a(t)$, t anında deprem kaydındaki ivme genlikleri değerleri, T kaydın toplam süresidir.

Arias Yoğunluğu’nun (AI) [19] zamanla değişimini (artışını) yüzde olarak gösteren eğri “Husid Plot” olarak adlandırılır. Bu eğri üzerinden Arias Yoğunluğu’nun (AI) %5 ve %95 oluşumu arasında geçen süre “Anlamlı Süre (Significant Duration)” olarak tanımlanır [20].

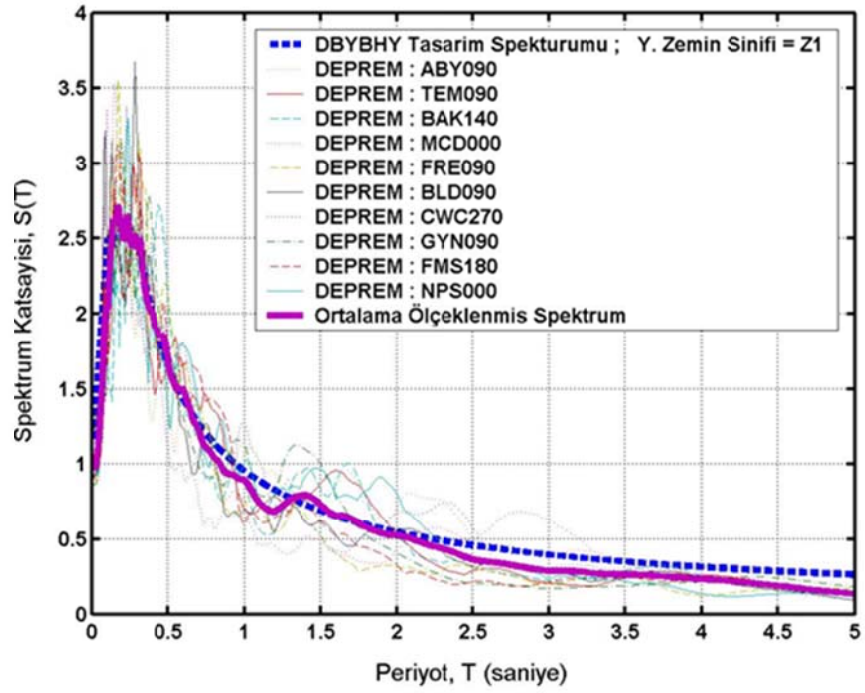
Bu çalışmada, yönetmelikte alt sınırı verilen deprem kaydının kuvvetli yer hareketi kısmının süresini belirlemek için hem “Zarf Süre (Bracketed Duration)” hem de Anlamlı Süre (significant duration)” hesaplanmıştır [6].

6.8 Ölçekleme Sonuçlarının Yorumlanması

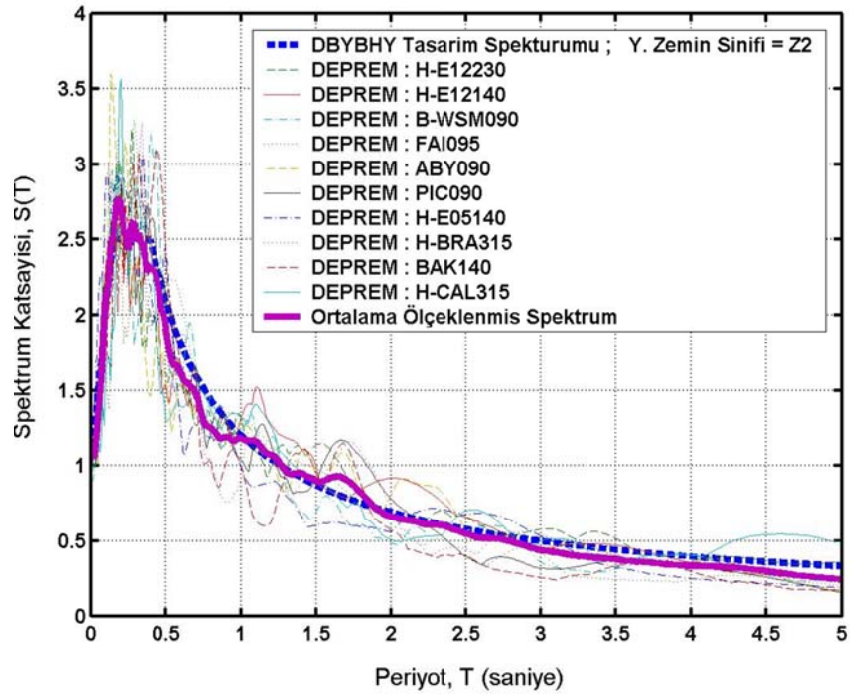
DBYBHY’de yer alan zemin sınıfları için tanımlanan spektrum katsayılarının $S(T)$ her birine 0.01 ve 5 saniyelik periyot aralığında en iyi uyum gösteren 10 adet gerçek deprem kaydı seçilmiş ve bu kayıtlara ait tepki spektrumları tasarım spektrumları ile birlikte Şekil 6.3, Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’da sırasıyla Z1, Z2, Z3 ve Z4 için gösterilmiştir. Şekillerde spektrumları çizilen deprem kayıtlarına ait detaylar, ölçekleme katsayıları ve hata oranları ile birlikte Tablo 6.1, Tablo 6.2, Tablo 6.3 ve Tablo 6.4’de verilmiştir[6].

Tablo 6.1, Tablo 6.2, Tablo 6.3 ve Tablo 6.4’de verilen ölçekleme katsayıları $S(T)$ ’ye ait spektrum ölçekleme katsayıları olan α_{ST} ’lerdir. Bu tablolarda yer alan kayıtlarla ölçekleme yapmak için kullanılması gereken katsayı (6.1)’den elde edilen spektral ivme katsayısı $A(T)$ ’ye ait ölçekleme katsayı, α_{AT} , olması gerektiğine dikkat edilmelidir.

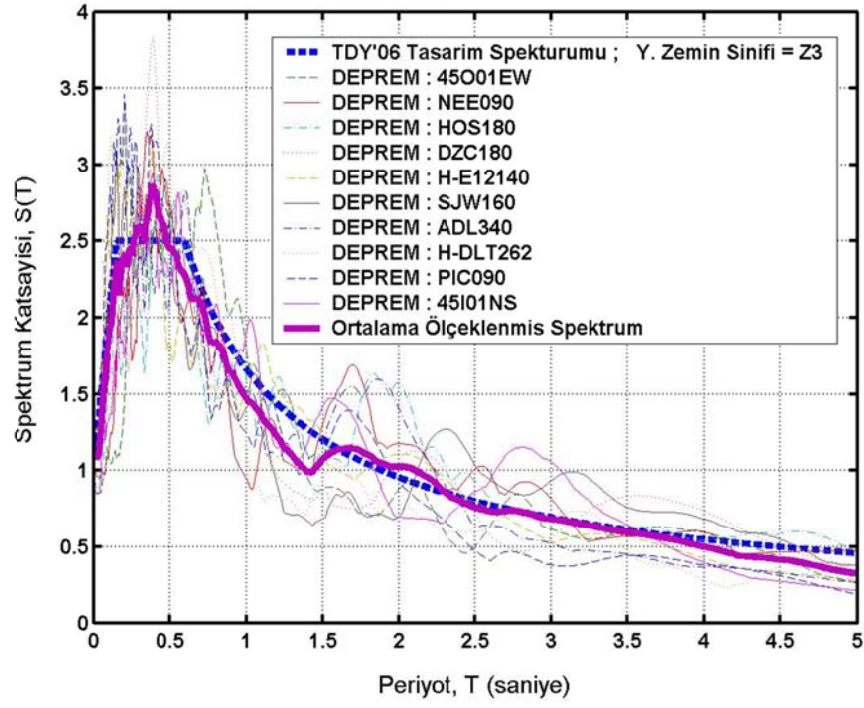
Türkiye’de genel fay yapısı doğrultu atımlı (strike-slip) olduğundan ölçekleme yapmak için genellikle bu tür fayların oluşturduğu deprem kayıtları seçilmiştir. Fakat diğer fay türlerine ait her zemin cinsi için de en az iki tane kayıt ölçeklenmiştir. Yakın fay bölgesinde yer hareketlerinin özellikleri diğerlerine nazaran çok farklı olduğu için kayıtların hem yakın fay hem de uzak fay bölgelerini kapsayacak şekilde seçilmesine özen gösterilmiştir. Ölçekleme yapılırken kaydın her iki bileşeninin tepki spektrumu ayrı ayrı ele alınmakta ve ayrı ayrı ölçekleme katsayısı hesaplanmaktadır. Kayıtlar seçilirken her bir kayda ait tek bir bileşen (N-S veya E-W) seçilmiş olmasına dikkat edilmiştir. Fakat daha iyi uyum sağlayan kayıtların bulunamadığı durumlarda her iki yatay bileşenin de kullanıldığı durumlar olmuştur [6].



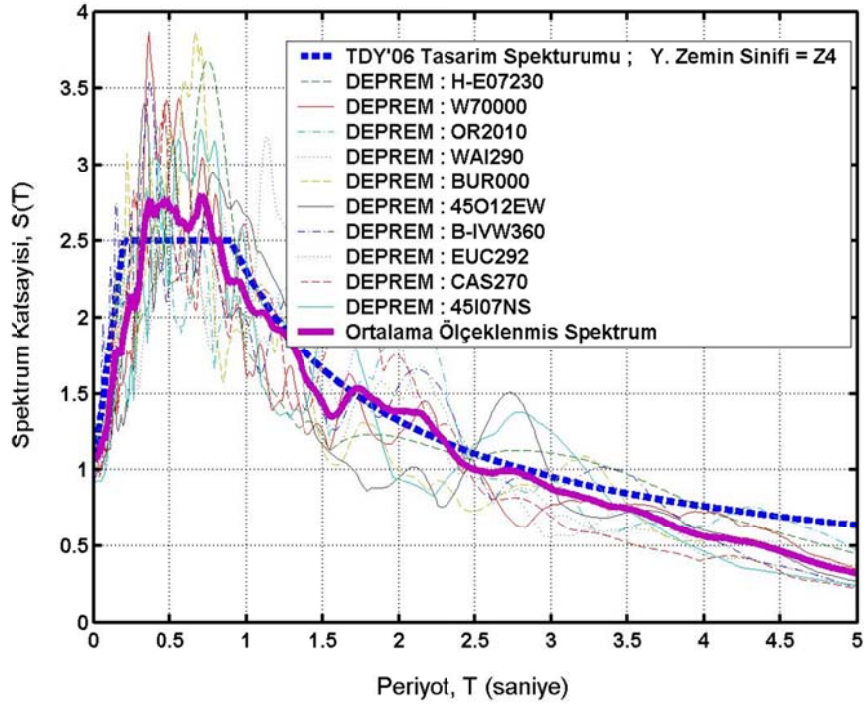
Şekil 6.3. DBYBHY özel tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumları (Yerel Zemin Sınıfı Z1)[6]



Şekil 6.4. DBYBHY özel tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumları (Yerel Zemin Sınıfı Z2)[6]



Şekil 6.5. DBYBHY özel tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumları (Yerel Zemin Sınıfı Z3)[6]



Şekil 6.6. DBYBHY özel tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının tepki spektrumları (Yerel Zemin Sınıfı Z4)[6]

Tablo 6-1 Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z1 olan bölgelerde kullanılabilecek deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (α_{ST})

Yerel Zemin Sınıfı : Z1											
Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kırgına En Yakın Mesafe	Kayıt Süresi	Anımlı Süre	Zarf Süre	Faylanma Mekanizması	Ölçekleme Katsayısı (α_{ST})	Oransal Göreceli Hata (%)
P0856	Landers	28.06.1992	21081 Amboy	ABY090	69.2	50	25.2	32.8	SS	5.08	17.29
P0969	Northridge	17.01.1994	24611 LA - Temple & Hope	TEM090	32.3	40	14.6	20.5	RN	6.46	27.17
P0859	Landers	28.06.1992	32075 Baker Fire Station	BAK140	88.5	50	19.9	30.9	SS	7.86	26.45
P1108	Kocaeli, Turkey	17.08.1999	Mecidiyekoy	MCD000	62.3	44	16.3	23.9	SS	19.98	27.96
P0740	Loma Prieta	18.10.1989	57064 Fremont - Mission San Jose	FRE090	43	39.9	16.7	20.1	RO	8.07	34.56
P0903	Northridge	17.01.1994	24157 LA - Baldwin Hills	BLD090	31.3	40	16.6	17.9	RN	4.29	23.87
P0988	Northridge	17.01.1995	90009 N. Hollywood - Coldwater Can	CWC270	14.6	21.9	16.4	18.4	RN	3.36	24.84
P1100	Kocaeli, Turkey	17.08.1999	Goynuk	GYN090	35.5	25.5	10.4	20.8	SS	7.21	30.96
P0763	Loma Prieta	18.10.1989	1686 Fremont - Emerson Court	FMS180	43.4	39.7	17.9	22.3	RO	6.45	31.73
P0818	Landers	28.06.1992	5070 North Palm Springs	NPS000	24.2	70	36.3	43.1	SS	6.54	31.2

Tablo 6-2 Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z2 olan bölgelerde kullanılabilecek deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (α_{ST})

Yerel Zemin Sınıfı : Z2											
Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kırgına En Yakın Mesafe	Kayıt Süresi	Anımlı Süre	Zarf Süre	Faylanma Mekanizması	Ölçekleme Katsayısı (α_{ST})	Oransal Göreceli Hata (%)
P0017	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12230	18.2	39	19.4	27.8	SS	8.31	10.68
P0012	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12140	18.2	39	19.1	23.4	SS	7.01	14.65
P0730	Superstn Hills(B)	24.11.1987	11369 Westmorland Fire Sta	B-WSM090	13.3	40	19.6	32.5	SS	5.1	15.87
P0898	Northridge	17.01.1994	90066 El Monte - Fairview Av	FAI095	47.4	35	20.9	24.6	RN	8.99	16.87
P0856	Landers	28.06.1992	21081 Amboy	ABY090	69.2	50	25.2	35.5	SS	5.76	16.07
P0967	Northridge	17.01.1994	24612 LA - Pico & Sentous	PIC090	32.7	40	20.2	25.1	RN	9.34	20.81
P0003	Imperial Valley	15.10.1979	952 El Centro Array #5	H-E05140	1	39.3	8.2	10.4	SS	2.39	22.97
P0020	Imperial Valley	15.10.1980	5060 Brawley Airport	H-BRA315	8.5	37.8	14	12.2	SS	4.58	22.7
P0859	Landers	28.06.1992	32075 Baker Fire Station	BAK140	88.5	50	19.9	31	SS	8.97	29.35
P0051	Imperial Valley	15.10.1979	5061 Calipatria Fire Sta	H-CAL315	23.8	39.5	23.3	28	SS	12.14	17.25

Tablo 6-3 Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z3 olan bölgelerde kullanılabilecek deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (α_{ST})

Yerel Zemin Sınıfı : Z3											
Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kırgına En Yakın Mesafe	Kayıt Süresi	Anlamlı Süre	Zarf Süre	Faylanma Mekanizması	Ölçekleme Katsayısı (α_{ST})	Oransal Göreceli Hata (%)
P0164	Taiwan SMART1(45)	14.11.1986	30 SMART1 001	45001EW	39	44	21.9	31.4	RN	6.6	16.55
P0989	Northridge	17.01.1994	24586 Neenach - Sacatara Ck	NEE090	53.2	48	26.2	35.5	RN	16.92	15.9
P0876	Landers	28.06.1992	23542 San Bernardino-E & Hospitalit	HOS180	80.5	120	38.5	52.2	SS	9.85	13.9
P1096	Kocaeli, Turkey	17.08.1999	Duzce	DZC180	12.7	27.2	11.7	14.7	SS	3.53	21.36
P0012	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12140	18.2	39	19	28.7	SS	8.46	16.6
P0778	Loma Prieta	18.10.1989	47179 Salinas - John & Work	SIW160	32.6	39.9	21.4	32.5	RO	13.72	23.33
P0752	Loma Prieta	18.10.1990	1652 Anderson Dam (L Abut)	ADL340	21.4	39	12.7	16.2	RO	14.82	24.02
P0013	Imperial Valley	15.10.1979	6605 Delta	H-DL T262	43.6	99.9	51	80.8	SS	4.46	23.14
P0967	Northridge	17.01.1994	24612 LA - Pico & Sentous	PIC090	32.7	40	20.2	28.2	RN	11.16	27.64
P0105	Taiwan SMART1(45)	14.11.1986	62 SMART1 I01	45101NS	39	44	21.6	30.7	RN	5.97	24.45

Tablo 6-4 Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z4 olan bölgelerde kullanılabilecek deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (α_{ST})

Yerel Zemin Sınıfı : Z4											
Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kırgına En Yakın Mesafe	Kayıt Süresi	Anlamlı Süre	Zarf Süre	Faylanma Mekanizması	Ölçekleme Katsayısı (α_{ST})	Oransal Göreceli Hata (%)
P0175	Imperial Valley	15.10.1979	5028 El Centro Array #7	H-E07230	0.6	36.8	4.8	8.3	SS	2.69	15.17
P0843	Landers	28.06.1992	90023 LA - W 70th St	W70000	167.8	48	24.5	35.6	SS	19.02	18.07
P0872	Landers	28.06.1993	90080 LB - Orange Av	OR2010	164.5	52.7	27.6	33.6	SS	19.67	15.77
P0869	Landers	28.06.1994	90083 Huntington Bch - Waikiki	WAI290	153.3	42.1	22.4	28.5	SS	16.41	21.77
P1093	Kocaeli, Turkey	17.08.1999	Bursa Tofas	BURO00	62.7	138.5	41	57.2	SS	11.63	21.92
P0225	Taiwan SMART1(45)	14.11.1986	68 SMART1 O12	45O12EW	39	40	23.3	31.3	RN	6.93	24.41
P0722	Superstitt Hills(B)	24.11.1987	5210 Wildlife Liquef. Array	B-IVW360	24.4	44	28.7	35.7	SS	4.5	19.42
P0832	Landers	28.06.1992	90002 Fountain Valley - Euclid	EUC292	148.8	52.4	26.2	38.5	SS	16.16	26.1
P0864	Landers	28.06.1992	90078 Compton - Castlegate	CAS270	161.2	46.3	21.7	28.2	SS	14.15	28.22
P0226	Taiwan SMART1(45)	14.11.1986	61 SMART1 I07	45I07NS	39	44	21.4	29.5	RN	7.4	27.31

7 ANALİTİK ÇALIŞMA

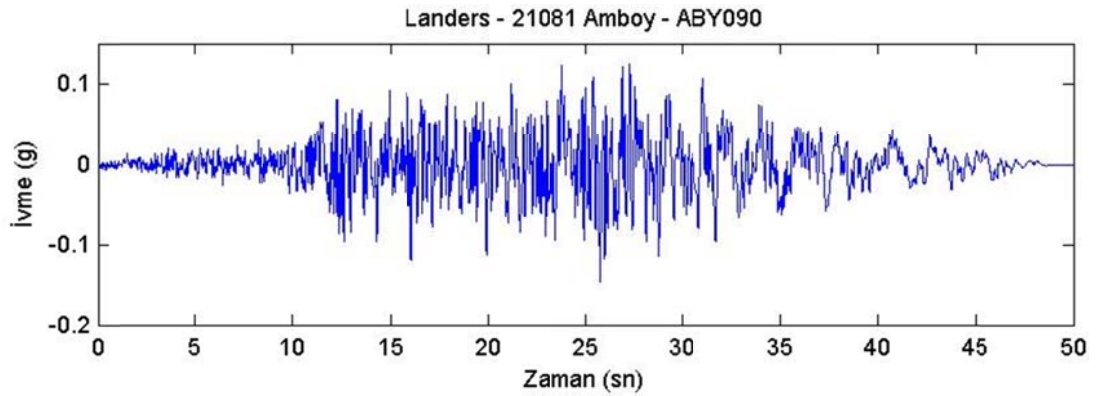
Bu çalışmada 12 katlı iş binasının analizleri SAP2000 programı kullanılarak yapılmıştır.

7.1 Zaman Tanım Alanı Analizlerinde Kullanılan Deprem Kayıtları ve Ölçeklendirme Katsayıları

Zaman tanım alanında yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerde kullanılan deprem kayıtları ve ölçeklendirme katsayıları Şekil 7.1 ile Şekil 7.20 arasında gösterilmiştir.

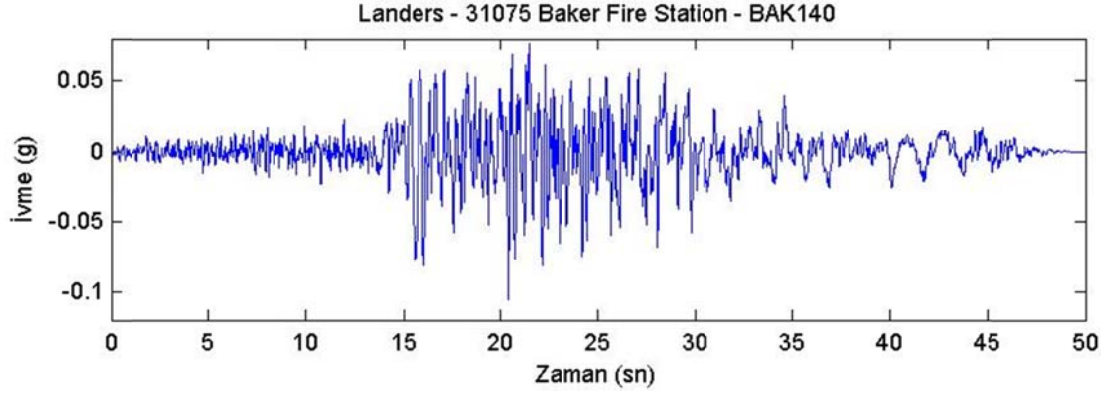
7.1.1 Yerel Zemin Sınıfı Z2 İçin Kullanılan Deprem Kayıtları ve Ölçeklendirme Katsayıları

Analizlerde kullanılan kuvvetli yer hareketi kayıtları Şekil 7.1 ile Şekil 7.10 arasında gösterilmiştir.



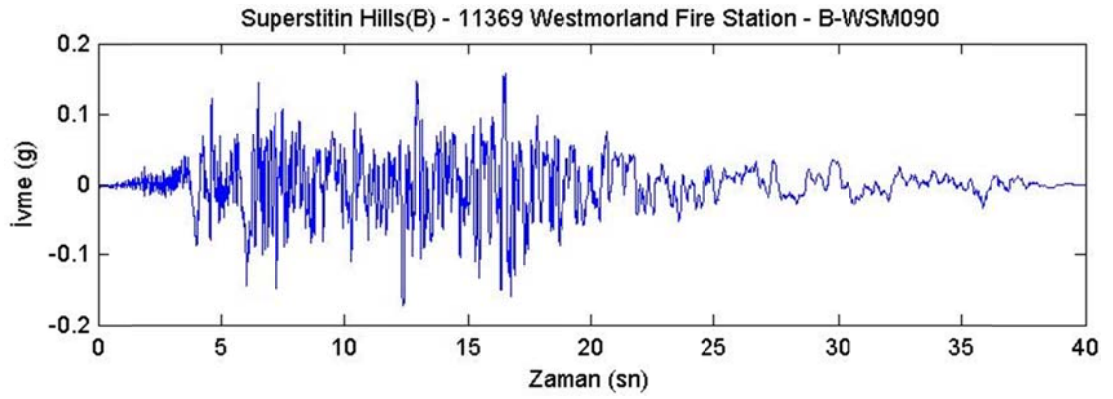
Şekil 7.1. Landers depremi 21081 Amboy istasyonu ABY090 bileşeni ivme kaydı.

$$\text{Ölçekleme katsayısı } (\alpha_{ST}) = 5.76$$



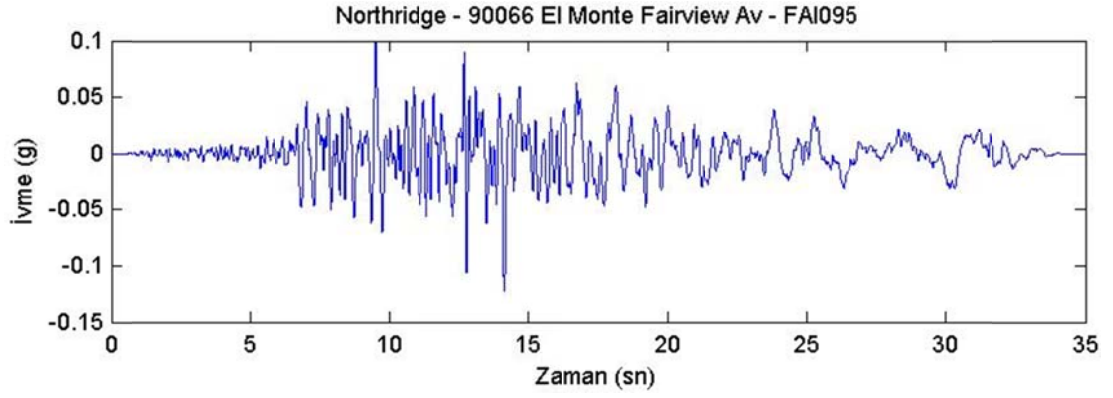
Şekil 7.2. Landers depremi 31075 Baker Fire Station istasyonu BAK140 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 8.97



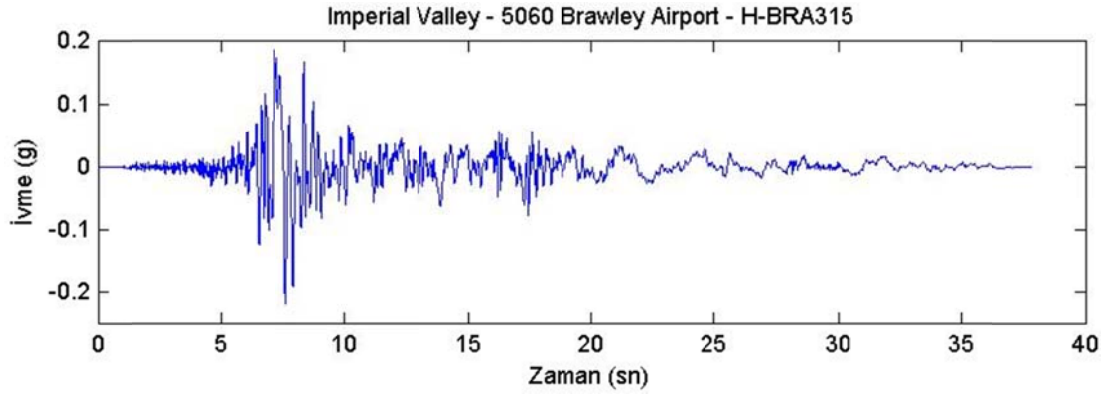
Şekil 7.3. Superstitin Hills(B) depremi 11369 Westmorland Fire istasyonu B-WSM090 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 5.10



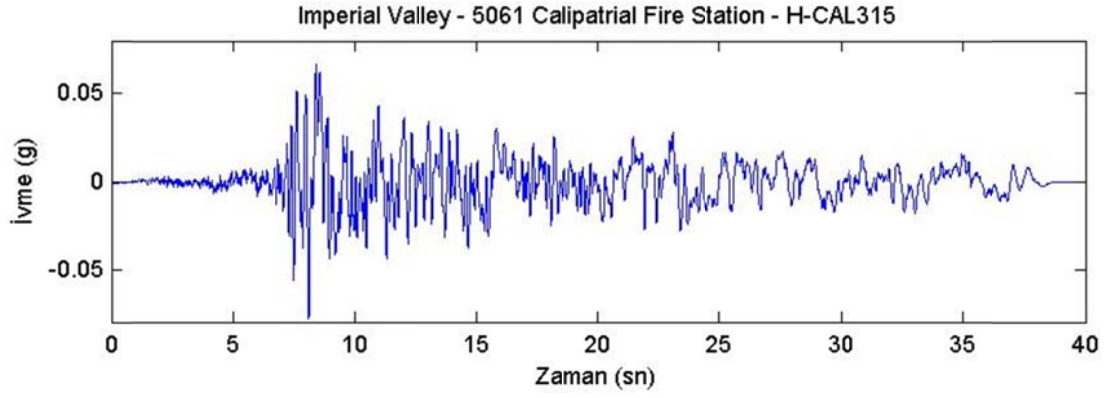
Şekil 7.4. Nortrige depremi 90066 El Monte Fairview istasyonu FAI095 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 8.99



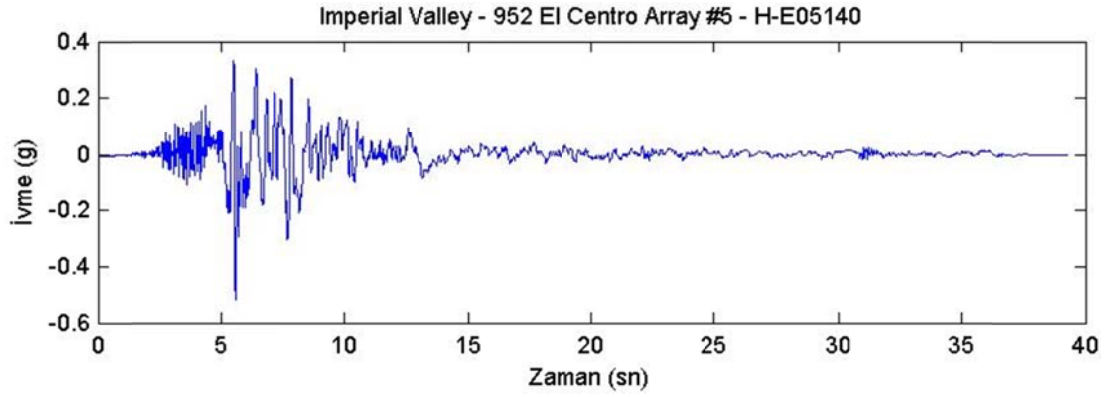
Şekil 7.5. Imperial Valley depremi 5060 Brawle Airport istasyonu H-BRA315 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 4.58



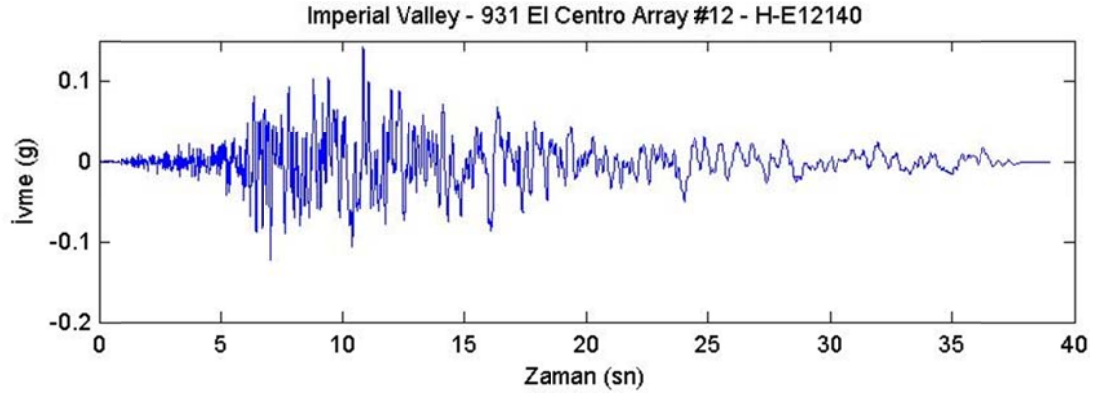
Şekil 7.6. Imperial Valley depremi 5061 Calipatrial Fire Station istasyonu H-CAL315 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 12.14



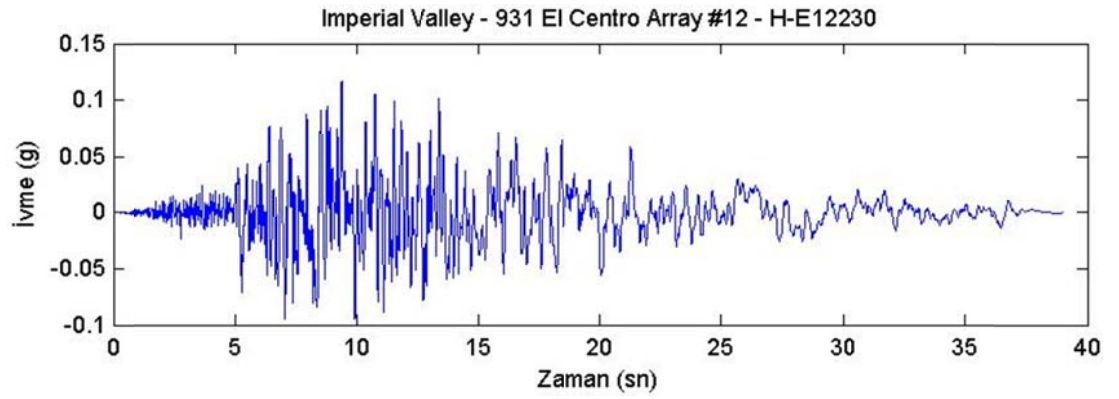
Şekil 7.7. Imperial Valley depremi 952 El Centro Array #5 istasyonu H-E05140 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 2.39



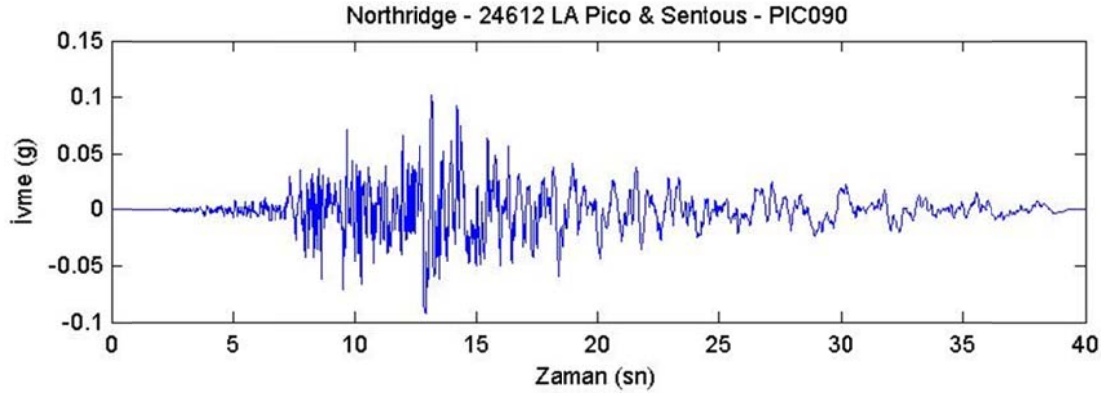
Şekil 7.8. Imperial Valley depremi 931 El Centro Array #12 istasyonu H-E12140 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 7.01



Şekil 7.9. Imperial Valley depremi 931 El Centro Array #12 istasyonu H-E12230 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 8.31

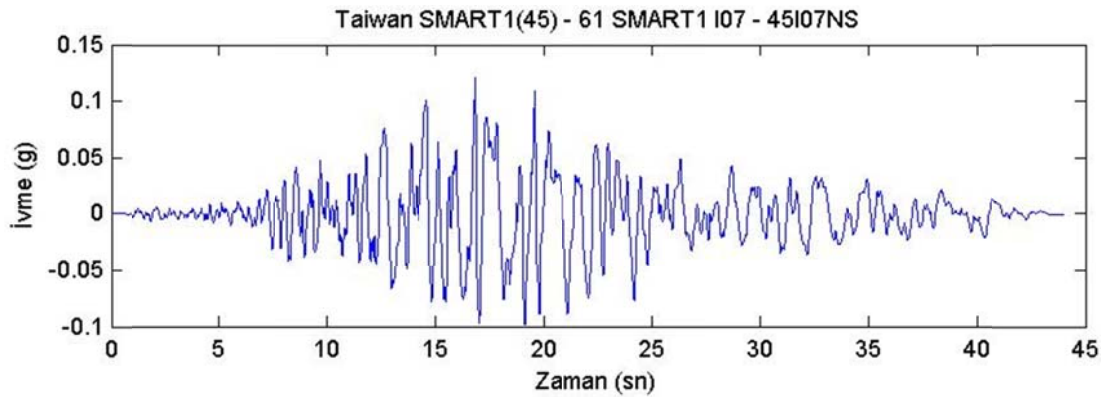


Şekil 7.10. Northridge depremi 24612 LA Pico & Sentous istasyonu PIC090 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 9.34

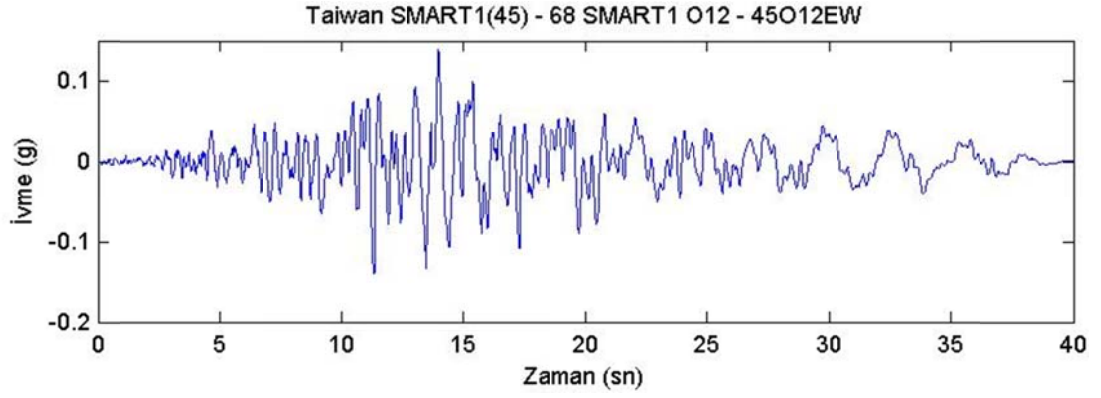
7.1.2 Yerel Zemin Sınıfı Z4 İçin Kullanılan Deprem Kayıtları ve Ölçeklendirme Katsayıları

Analizlerde kullanılan kuvvetli yer hareketi kayıtları Şekil 7.11 ile Şekil 7.20 arasında gösterilmiştir.



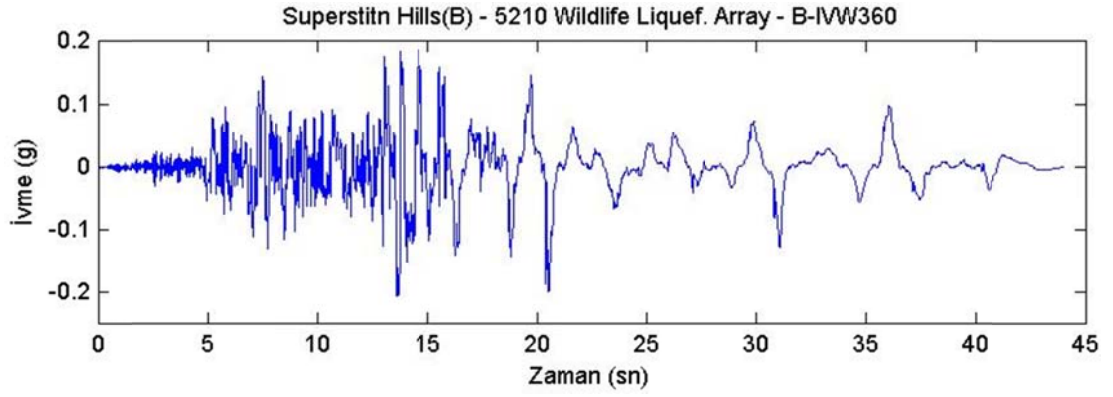
Şekil 7.11. Taiwan SMART1(45) depremi 61 SMART1 I07 istasyonu 45I07NS bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 7.40



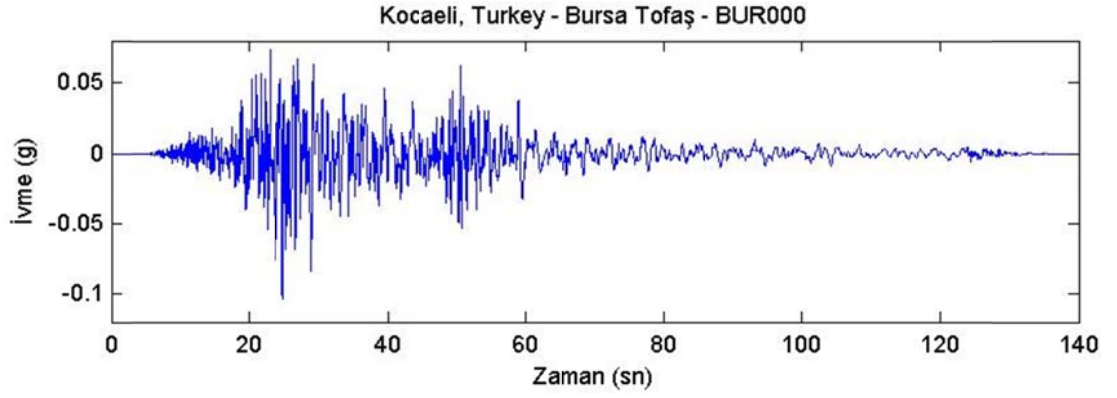
Şekil 7.12. Taiwan SMART1(45) depremi 68 SMART1 O12 istasyonu 45O12EW bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 6.39



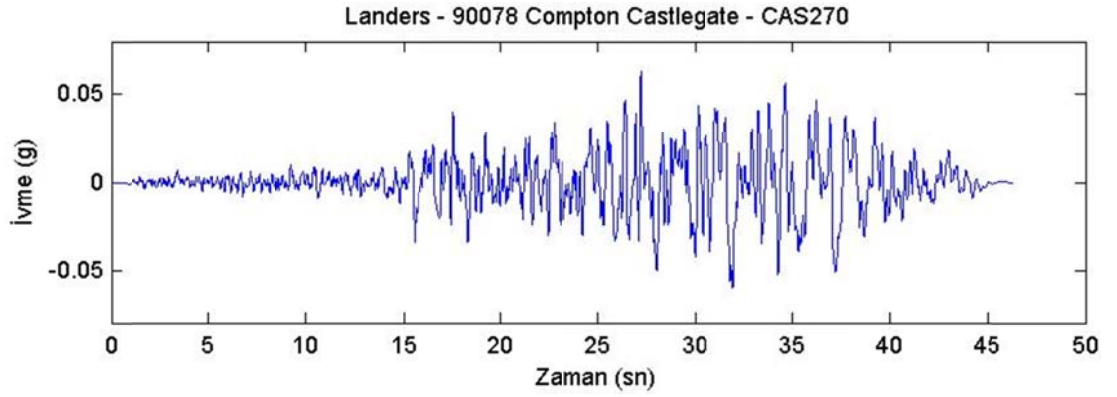
Şekil 7.13. Superstition Hills(B) depremi 5210 Wildlife Liquef. Array istasyonu B-IVW360 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 4.50



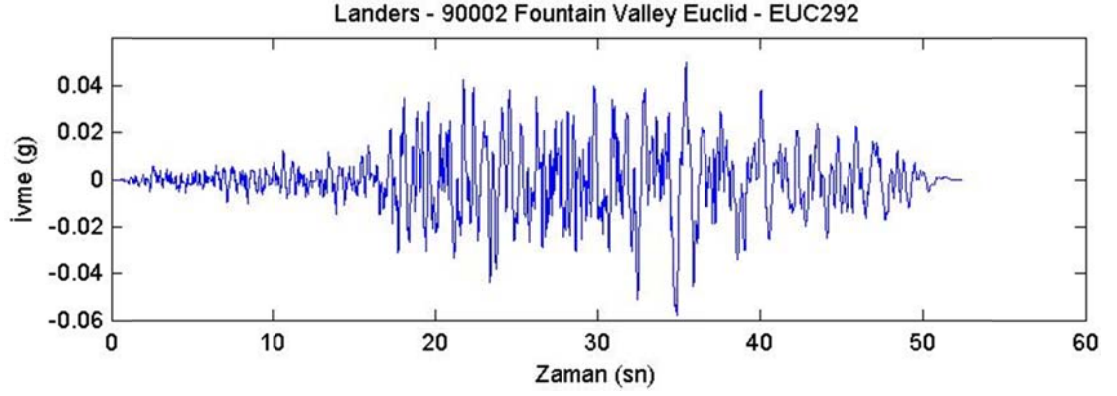
Şekil 7.14. Kocaeli, Türkiye depremi Bursa Tofaş istasyonu BUR000 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 11.63



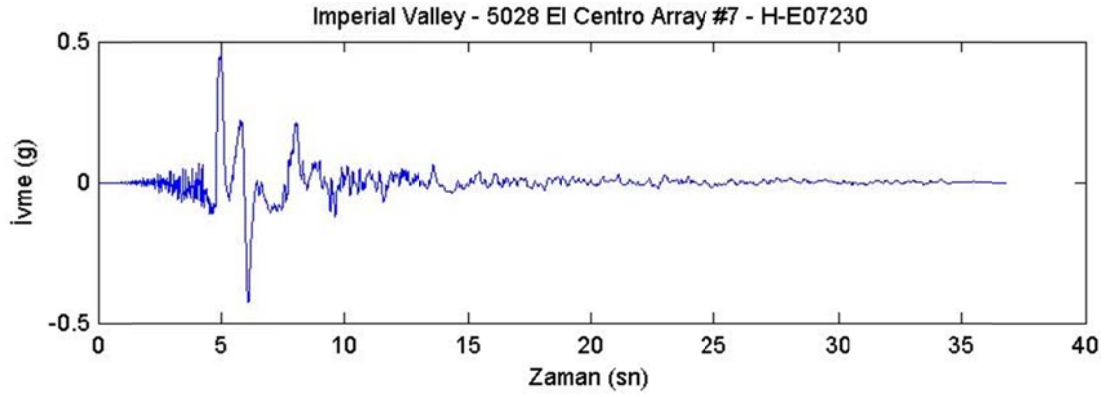
Şekil 7.15. Landers depremi 90078 Compton Castigate istasyonu CAS270 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 14.15



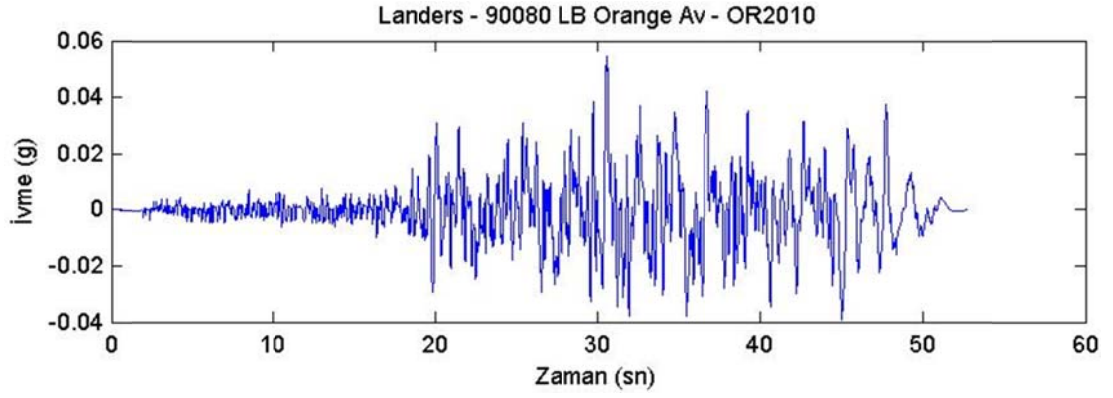
Şekil 7.16. Landers depremi 90002 Fountain Valley Euclid istasyonu EUC292 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 16.16



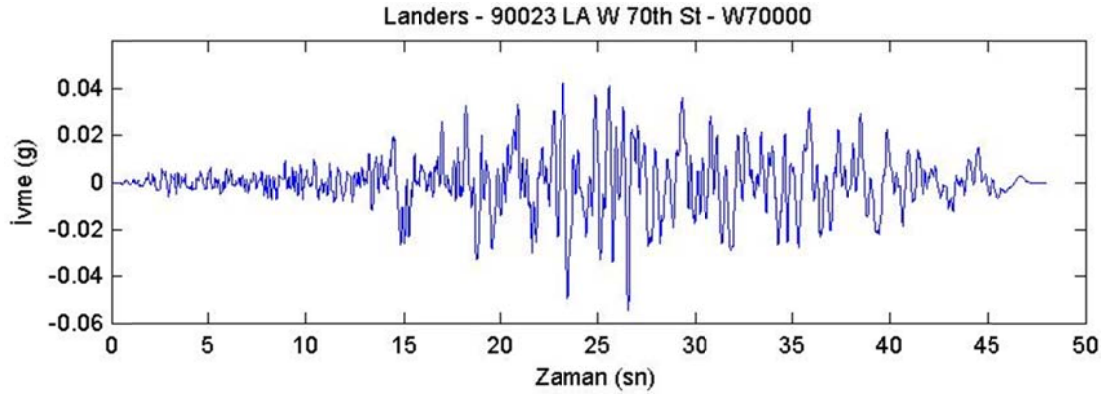
Şekil 7.17. Imperial Valley depremi 5028 El Centro Array #7 istasyonu H-E07230 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 2.69



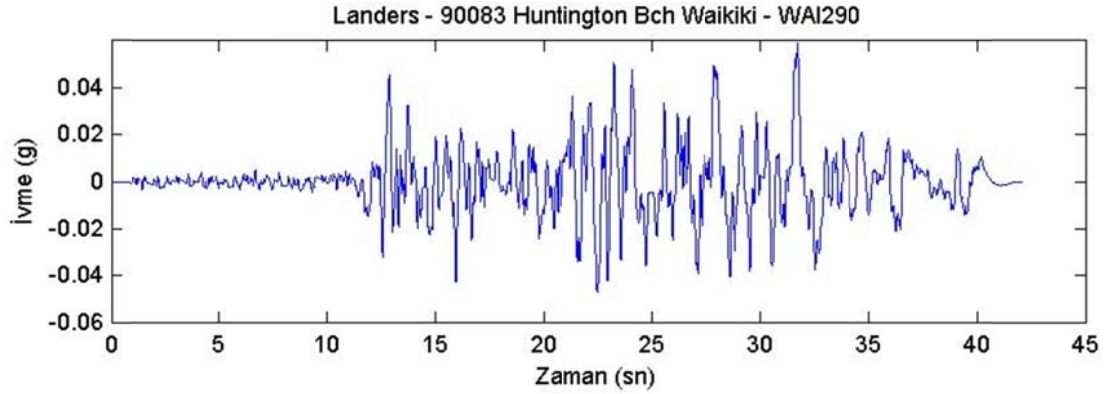
Şekil 7.18. Landers depremi 90080 LB Orange Av. İstasyonu OR2010 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 19.67



Şekil 7.19. Landers depremi 90023 LA W 70th St. istasyonu W70000 bileşeni ivme kaydı.

Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 19.02



Şekil 7.20. Landers depremi 90083 Huntington Bch Waikiki istasyonu WAI290 bileşeni ivme kaydı.

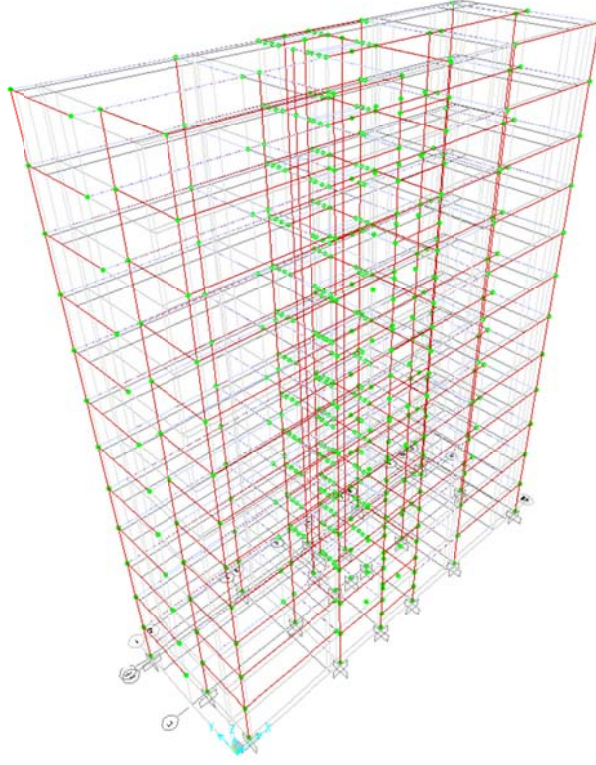
Ölçekleme katsayısı (α_{ST}) = 16.41

7.2 Doğrusal Analiz

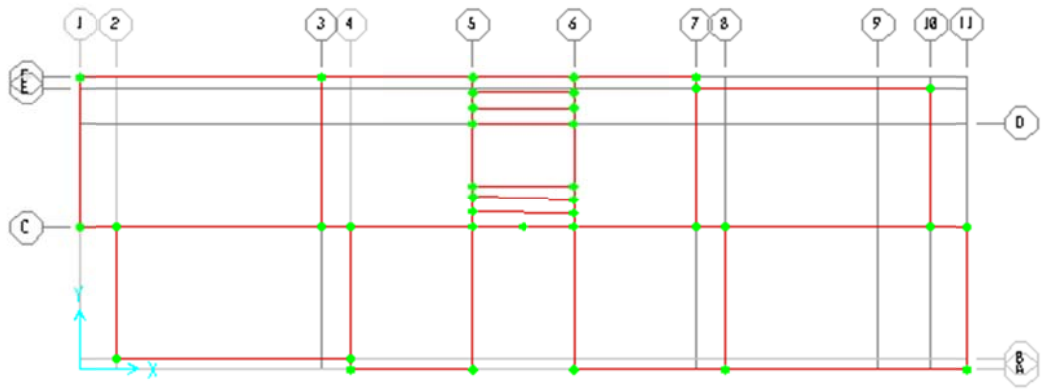
Doğrusal olan analizde kullanılan model özellikleri, yapının bulunduğu zemin bölgesi ve deprem bölgesi bilgileri aşağıda verilmiştir.

7.2.1 Doğrusal Analiz Model Parametreleri

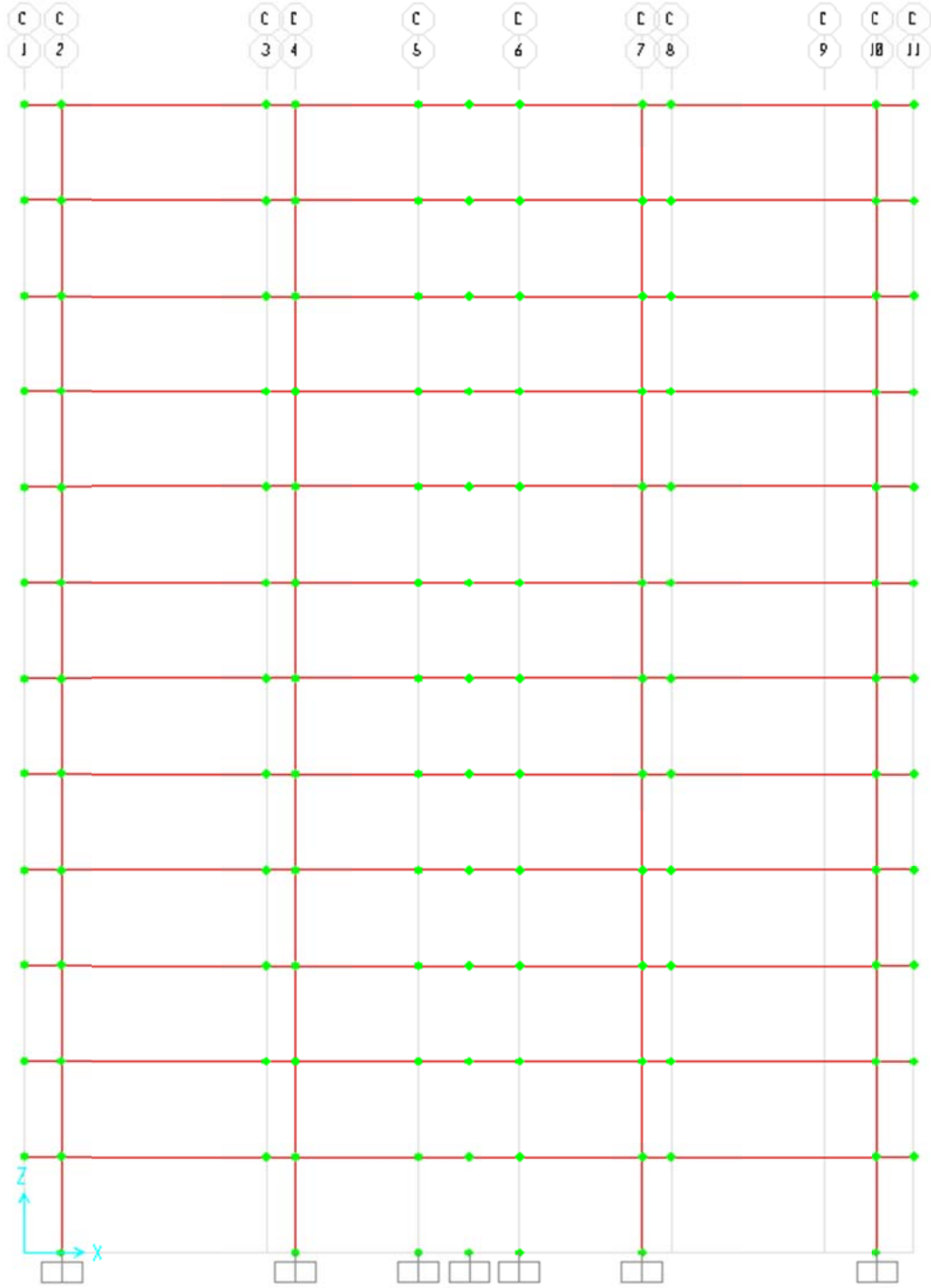
SAP2000 programı kullanılarak yapılan doğrusal analizde kat yüksekliği 3.00 m olan, 12 katlı iş binası kullanılmış olup, 3 boyutlu görünüşü (Şekil 7.21), tipik kat planı (Şekil 7.22) ve kesit görünüşü (Şekil 7.23) aşağıda verilmiştir.



Şekil 7.21. Doğrusal analiz modeli 3d görünüşü



Şekil 7.22. Doğrusal analiz modeli tipik kat planı



Şekil 7.23. Doğrusal analiz modeli “C-C” kesiti

Yapı elemanlarının özellikleri;

- Beton sınıfı: C25
- Döşeme kalınlığı: 12 cm
- Kirişlerin boyutları: 50x30 cm
- Kirişlerin donatıları: Üst donatı %0.8, alt donatı her iki uçta %0.4
- Ölü yük: 1,75 kN/m²
- Hareketli yük: 3,00 kN/m²
- Kolonların özellikleri Tablo 7.1 ile verilmiştir.

Tablo 7.1. Doğrusal analiz modeli kolon özellikleri.

Aks	Kolon Boyutları (cm)	Kolon Donatıları (mm)
A-4	30x150	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
A-5	30x150	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
A-6	30x150	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
A-8	30x150	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
A-11	L175x125	Boyuna Donatı 32Φ20, Etriye Φ10/15
B-2	25x200	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
C-2	L175x125	Boyuna Donatı 32Φ20, Etriye Φ10/15
C-4	35x100	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
C-7	35x100	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
C-10	L175x125	Boyuna Donatı 32Φ20, Etriye Φ10/15
D-5 D-6	30x320	Boyuna Donatı 34Φ20, Etriye Φ10/15
E-10	25x150	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
F-1	L175x125	Boyuna Donatı 32Φ20, Etriye Φ10/15
F-3	30x150	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
F-5 F-6	40x100	Boyuna Donatı 14Φ20, Etriye Φ10/15
F-7	30x150	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15

Modelin SAP2000 ile hesaplanan modal etkin kütleleri Tablo 7.2 ile verilmiştir.

Tablo 7.2. Modal etkin kütleler.

Modal Etkin Kütleler							
Adım	Periyot	UX	UY	ΣUX	ΣUY	RZ	ΣRZ
1	1.170771	0.02617	0.68834	0.02617	0.68834	0.44624	0.44624
2	1.038333	0.28295	0.02863	0.30912	0.71697	0.00248	0.44872
3	0.956033	0.40863	0.00517	0.71775	0.72214	0.27807	0.72679
4	0.580993	0.00074	0.0025	0.71849	0.72465	0.00226	0.72905
5	0.390215	1.44E-05	1.39E-05	0.71851	0.72466	4.89E-05	0.7291
6	0.330862	0.00675	0.1207	0.72525	0.84536	0.08459	0.81369
7	0.311888	0.01682	0.00899	0.74208	0.85436	0.00145	0.81515
8	0.289093	0.05517	0.00088	0.79724	0.85523	0.02517	0.84032
9	0.28311	0.00345	2.65E-05	0.80069	0.85526	0.00227	0.84259
10	0.277276	0.02598	0.0011	0.82667	0.85636	0.00924	0.85183
11	0.243556	0.02204	6.99E-05	0.84871	0.85643	0.00291	0.85474
12	0.238885	7.95E-05	0.00054	0.84879	0.85698	0.00027	0.85501

Ayrı parametreler kullanılarak 2 adet doğrusal analiz yapılmıştır.

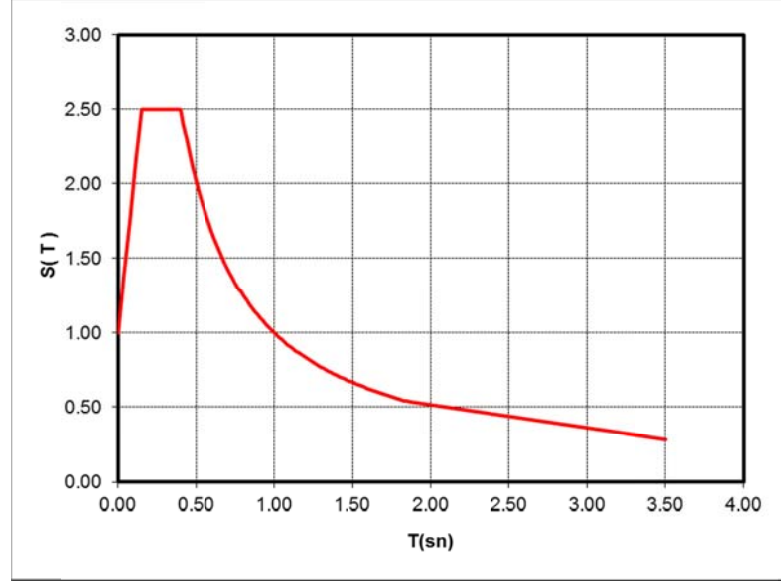
Birinci analiz parametreleri:

- Yerel zemin sınıfı Z2 ($T_A = 0.15$, $T_B = 0.40$)
- Deprem bölgesi ($A_0 = 0.40$)
- Bina önem katsayısı ($I = 1.00$)

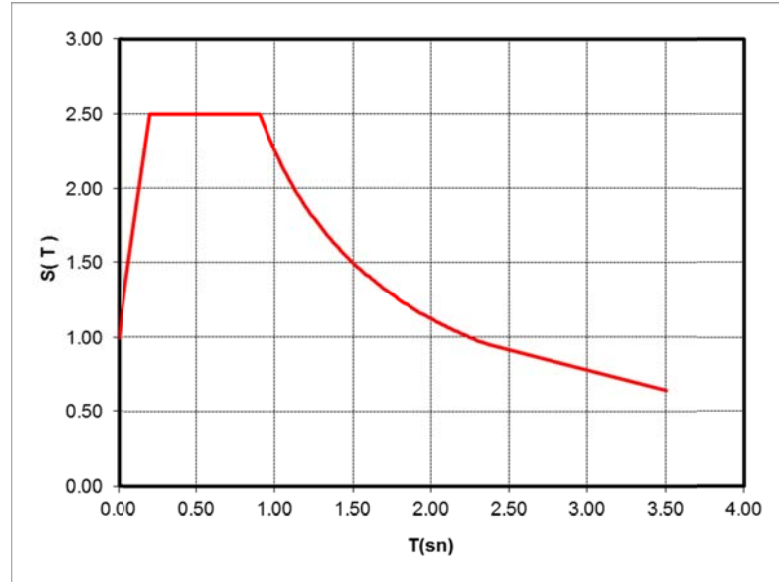
İkinci analiz parametreleri:

- Yerel zemin sınıfı Z4 ($T_A = 0.20$, $T_B = 0.90$)
- Deprem bölgesi ($A_0 = 0.40$)
- Bina önem katsayısı ($I = 1.00$)

Spektral analizde kullanılan spektrumlar Şekil 7.24 ve Şekil 7.25 ile gösterilmiştir.



Şekil 7.24. Tasarım ivme spektrumu (Z2, 1. Deprem bölgesi)



Şekil 7.25. Tasarım ivme spektrumu (Z4, 1. Deprem bölgesi)

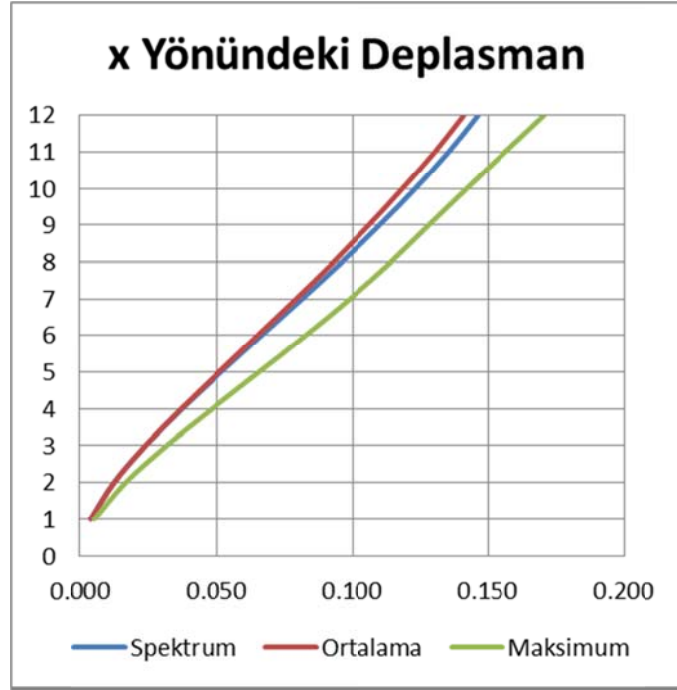
7.2.2 Z2 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri x-Yönünde Yapılan Doğrusal Analiz

Yapılan doğrusal spektral analiz ve zaman tanım alanındaki doğrusal analizin sonuçları ve karşılaştırmaları aşağıda verilmiştir.

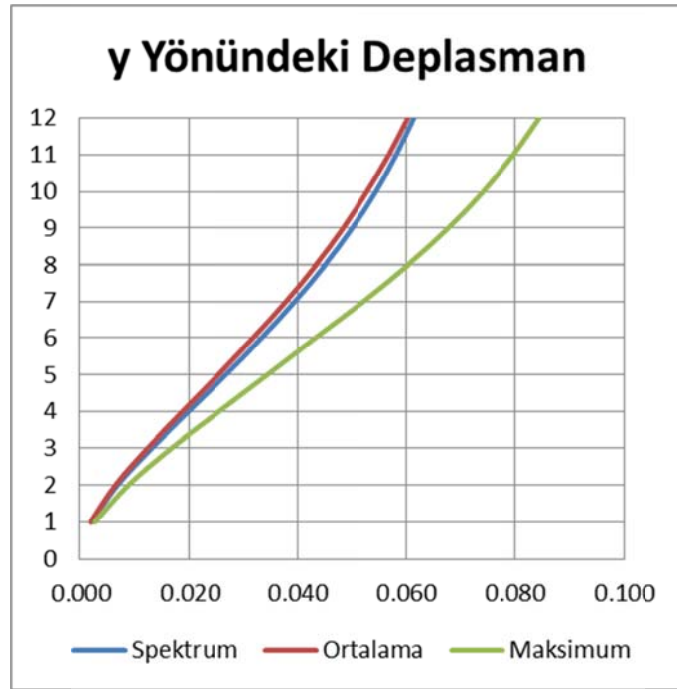
Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7.3 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.26, Şekil 7.27 ve Tablo 7.4 ile gösterilmiştir.

Tablo 7.3. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri

Kat	Spektral Analiz		Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1	0.003820	0.002067	0.003865	0.001949	0.005219	0.002698
2	0.012335	0.006817	0.012383	0.006438	0.016583	0.008803
3	0.023815	0.013011	0.023775	0.012285	0.031487	0.016622
4	0.037151	0.019808	0.036854	0.018728	0.048220	0.025436
5	0.051560	0.026666	0.050791	0.025294	0.065575	0.034348
6	0.066470	0.033256	0.065058	0.031689	0.082710	0.043175
7	0.081430	0.039399	0.079260	0.037794	0.099057	0.052057
8	0.096075	0.044994	0.093069	0.043334	0.114272	0.060306
9	0.110104	0.049984	0.106166	0.048338	0.128194	0.067715
10	0.123279	0.054341	0.118561	0.052684	0.142207	0.074166
11	0.135513	0.058087	0.130460	0.056724	0.156422	0.079675
12	0.146338	0.061338	0.141059	0.060230	0.170688	0.084406



Şekil 7.26. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 7.27. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması

Tablo 7.4. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri oranı

Kat	Ortalama/Spektrum Oranı		Maksimum/Spektrum Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1	1.011780	0.942912	1.366230	1.305273
2	1.003891	0.944404	1.344386	1.291330
3	0.998320	0.944201	1.322150	1.277534
4	0.992006	0.945477	1.297946	1.284128
5	0.985085	0.948549	1.271819	1.288082
6	0.978757	0.952881	1.244321	1.298262
7	0.973351	0.959263	1.216468	1.321277
8	0.968712	0.963106	1.189404	1.340312
9	0.964234	0.967069	1.164299	1.354734
10	0.961729	0.969507	1.153538	1.364826
11	0.962712	0.976535	1.154295	1.371649
12	0.963926	0.981936	1.166396	1.376080
Ortalama	0.980375	0.957987	1.240938	1.322791

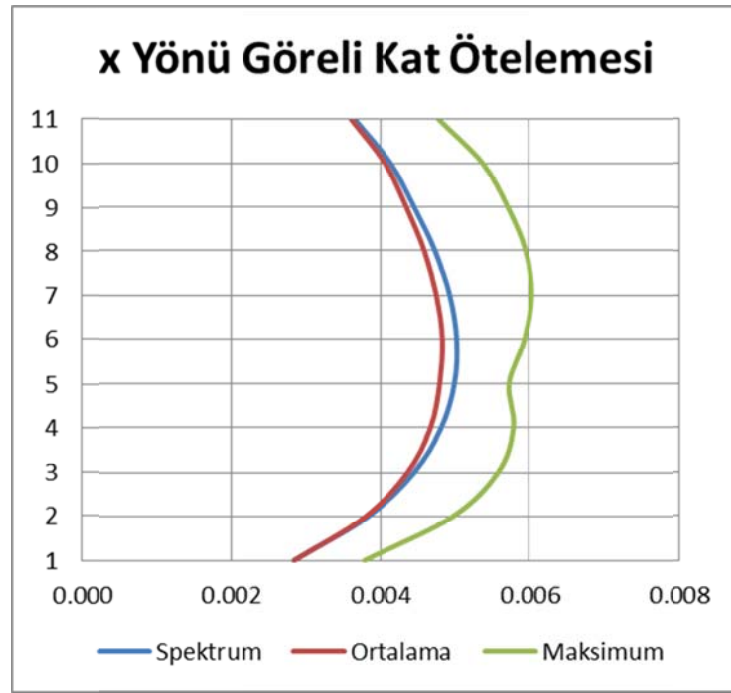
Spektral analiz yöntemi ile 7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.4 ile de görüldüğü gibi %2 ile %5 arasında fark çıkmıştır.

Spektral analiz yöntemi ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.4 ile de görüldüğü gibi %24 ile %32 arasında fark çıkmıştır.

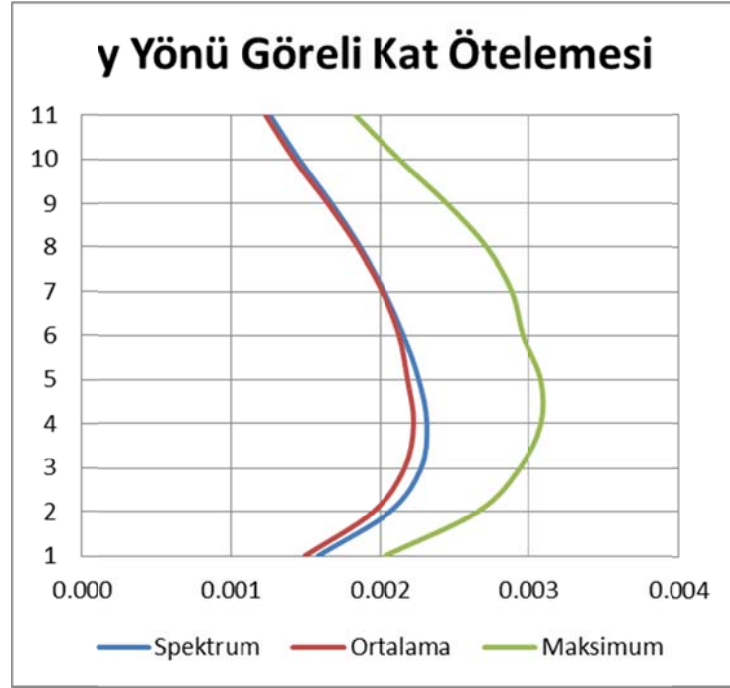
Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu göreceli kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7.5 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.28, Şekil 7.29 ve Tablo 7.6 ile gösterilmiştir

Tablo 7.5. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu görel kat ötelemeleri

Kat	Spektral Analiz		Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1-2	0.002839	0.001584	0.002843	0.001496	0.003788	0.002035
2-3	0.003829	0.002067	0.003798	0.001955	0.004968	0.002656
3-4	0.004451	0.002277	0.004364	0.002166	0.005578	0.002938
4-5	0.004816	0.002316	0.004672	0.002227	0.005785	0.003082
5-6	0.004993	0.002261	0.004795	0.002186	0.005725	0.003080
6-7	0.005023	0.002160	0.004831	0.002130	0.005934	0.002961
7-8	0.004930	0.002030	0.004752	0.002016	0.006029	0.002884
8-9	0.004734	0.001869	0.004589	0.001851	0.005951	0.002717
9-10	0.004451	0.001673	0.004346	0.001648	0.005709	0.002449
10-11	0.004134	0.001456	0.004059	0.001424	0.005370	0.002128
11-12	0.003654	0.001265	0.003605	0.001234	0.004780	0.001836



Şekil 7.28. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yöntündeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 7.29. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması

Tablo 7.6. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu görel kat ötelemeleri oranı

Kat	Ortalama/Spektrum Oranı		Maksimum/Spektrum Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1-2	1.001526	0.944655	1.334155	1.284722
2-3	0.991817	0.945824	1.297467	1.284747
3-4	0.980454	0.951391	1.253127	1.290483
4-5	0.970100	0.961854	1.201204	1.330934
5-6	0.960347	0.966686	1.146462	1.361881
6-7	0.961709	0.986265	1.181366	1.370679
7-8	0.963897	0.993267	1.222906	1.421087
8-9	0.969300	0.990546	1.257006	1.453978
9-10	0.976412	0.985057	1.282537	1.463837
10-11	0.982018	0.978027	1.299008	1.461433
11-12	0.986680	0.976015	1.308184	1.451502
Ortalama	0.976751	0.970871	1.253038	1.379571

Spektral analiz yöntemi ile 7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.6 ile de görüldüğü gibi %2 ila %3 arasında fark çıkmıştır.

Spektral analiz yöntemi ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.6 ile de görüldüğü gibi %25 ila %38 arasında fark çıkmıştır.

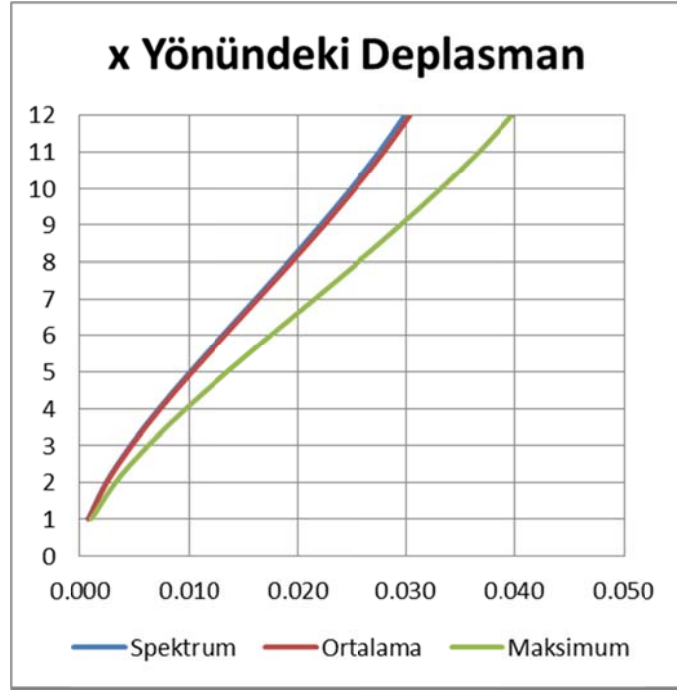
7.2.3 Z2 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri y-Yönünde Yapılan Doğrusal Analiz

Yapılan doğrusal spektral analiz ve zaman tanım alanındaki doğrusal analizin sonuçları ve karşılaştırmaları aşağıda verilmiştir.

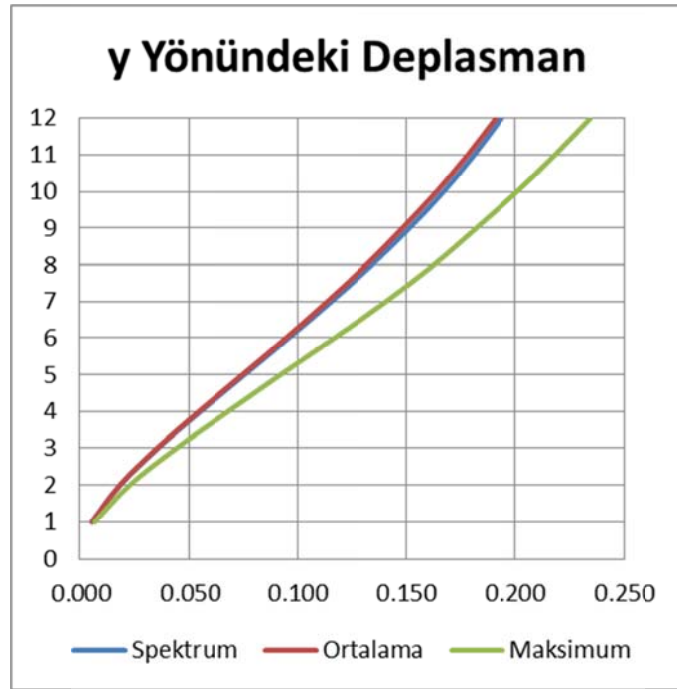
Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7.7 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.30, Şekil 7.31 ve Tablo 7.8 ile gösterilmiştir.

Tablo 7.7. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri

Kat	Spektral Analiz		Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1	0.000737	0.005388	0.000757	0.005390	0.001016	0.006657
2	0.002364	0.018224	0.002422	0.018093	0.003212	0.022591
3	0.004571	0.035441	0.004671	0.035011	0.006168	0.043906
4	0.007169	0.054939	0.007309	0.054240	0.009638	0.067723
5	0.010021	0.075314	0.010201	0.074369	0.013442	0.091941
6	0.013018	0.095652	0.013230	0.094438	0.017439	0.116734
7	0.016072	0.115361	0.016309	0.113481	0.021507	0.140635
8	0.019105	0.134037	0.019402	0.131570	0.025545	0.162614
9	0.022053	0.151365	0.022399	0.148194	0.029464	0.182228
10	0.024860	0.167109	0.025242	0.163925	0.033186	0.200947
11	0.027494	0.181186	0.027927	0.178230	0.036662	0.218312
12	0.029848	0.193852	0.030335	0.191228	0.039739	0.234522



Şekil 7.30. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 7.31. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması

Tablo 7.8. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri oranı

Kat	Ortalama/Spektrum Oranı		Maksimum/Spektrum Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1	1.027137	1.000371	1.378562	1.235523
2	1.024535	0.992812	1.358714	1.239629
3	1.021877	0.987867	1.349377	1.238848
4	1.019529	0.987277	1.344399	1.232694
5	1.017962	0.987453	1.341383	1.220769
6	1.016285	0.987308	1.339607	1.220403
7	1.014746	0.983703	1.338166	1.219086
8	1.015546	0.981595	1.337085	1.213202
9	1.015689	0.979051	1.336054	1.203898
10	1.015366	0.980947	1.334916	1.202491
11	1.015749	0.983685	1.333455	1.204905
12	1.016316	0.986464	1.331379	1.209799
Ortalama	1.018395	0.986544	1.343591	1.220104

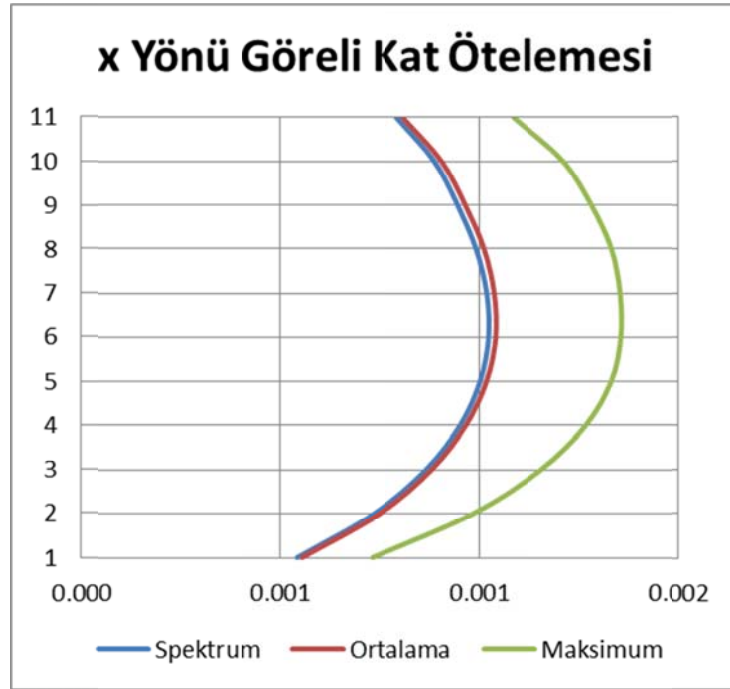
Spektral analiz yöntemi ile 7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.8 ile de görüldüğü gibi %1 ile %2 arasında fark çıkmıştır.

Spektral analiz yöntemi ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.8 ile de görüldüğü gibi %22 ile %34 arasında fark çıkmıştır.

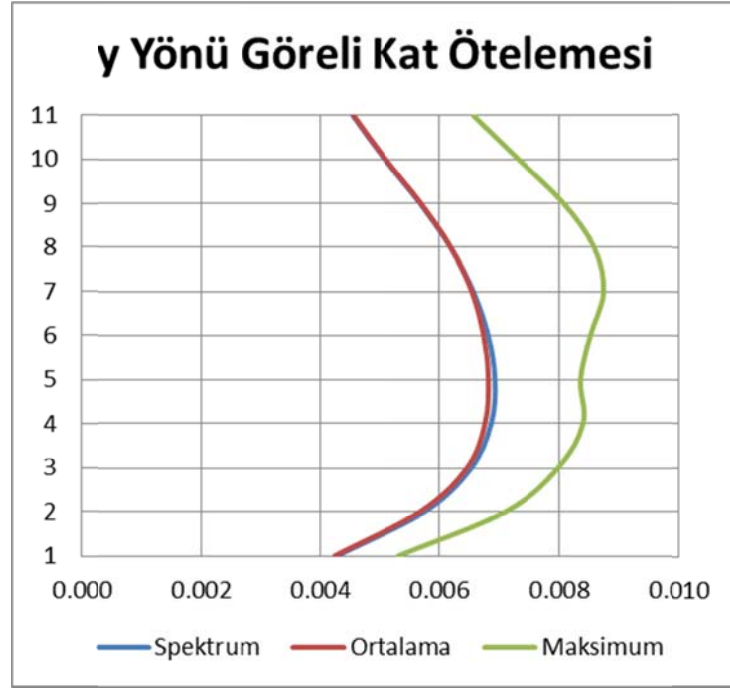
Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu görelî kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7-9 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.32, Şekil 7.33 ve Tablo 7.10 ile gösterilmiştir

Tablo 7-9 Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu görel kat ötelemeleri

Kat	Spektral Analiz		Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1-2	0.000543	0.004280	0.000555	0.004240	0.000732	0.005311
2-3	0.000736	0.005747	0.000750	0.005673	0.000985	0.007105
3-4	0.000867	0.006527	0.000881	0.006458	0.001157	0.007983
4-5	0.000953	0.006864	0.000967	0.006760	0.001268	0.008404
5-6	0.001003	0.006926	0.001019	0.006817	0.001332	0.008360
6-7	0.001024	0.006814	0.001042	0.006739	0.001356	0.008522
7-8	0.001020	0.006567	0.001039	0.006542	0.001354	0.008744
8-9	0.000993	0.006186	0.001013	0.006189	0.001333	0.008589
9-10	0.000947	0.005674	0.000966	0.005687	0.001282	0.008078
10-11	0.000888	0.005081	0.000906	0.005092	0.001211	0.007324
11-12	0.000793	0.004539	0.000808	0.004553	0.001087	0.006563



Şekil 7.32. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 7.33. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması

Tablo 7.10. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu görel kat ötelemeleri oranı

Kat	Ortalama/Spektrum Oranı		Maksimum/Spektrum Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1-2	1.022099	0.990576	1.348066	1.240966
2-3	1.018560	0.987066	1.338162	1.236239
3-4	1.015757	0.989327	1.333590	1.223011
4-5	1.015040	0.984897	1.330885	1.224359
5-6	1.015947	0.984167	1.327907	1.206988
6-7	1.017572	0.988944	1.323788	1.250660
7-8	1.018301	0.996142	1.327778	1.331557
8-9	1.020141	1.000485	1.342061	1.388458
9-10	1.020423	1.002232	1.354577	1.423662
10-11	1.020270	1.002231	1.364114	1.441514
11-12	1.019344	1.002937	1.371741	1.445807
Ortalama	1.018496	0.993546	1.342061	1.310293

Spektral analiz yöntemi ile 7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında

Tablo 7.10 ile de görüldüğü gibi %1 ile %2 arasında fark çıkmıştır.

Spektral analiz yöntemi ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında

Tablo 7.10 ile de görüldüğü gibi %31 ile %34 arasında fark çıkmıştır.

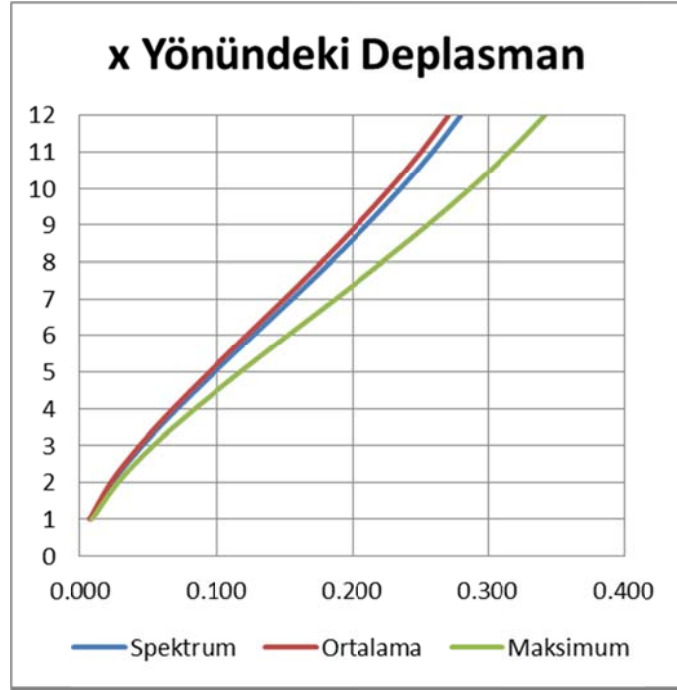
7.2.4 Z4 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri x-Yönünde Yapılan Doğrusal Analiz

Yapılan doğrusal spektral analiz ve zaman tanım alanındaki doğrusal analizin sonuçları ve karşılaştırmaları aşağıda verilmiştir.

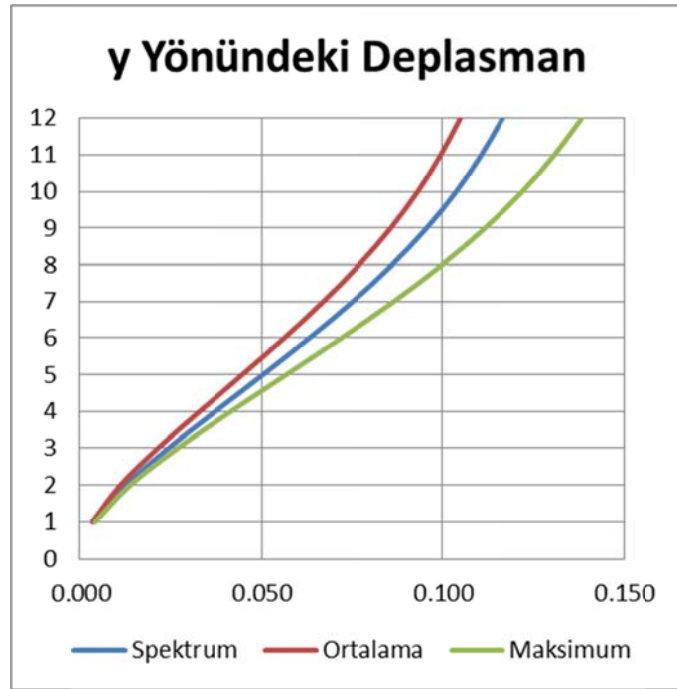
Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7.11 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.34, Şekil 7.35 ve Tablo 7.12 ile gösterilmiştir.

Tablo 7.11. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz kat ötelemeleri

Kat	Spektral Analiz		Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1	0.007211	0.003792	0.006911	0.003301	0.008653	0.004084
2	0.023345	0.012578	0.022331	0.011012	0.027492	0.013736
3	0.045183	0.024172	0.04325	0.021259	0.053155	0.026693
4	0.070644	0.037081	0.067679	0.03275	0.083777	0.041399
5	0.098244	0.050292	0.094306	0.044588	0.117256	0.056761
6	0.126864	0.06313	0.122001	0.056147	0.152216	0.071992
7	0.155608	0.075141	0.149886	0.066981	0.187525	0.086505
8	0.183734	0.086024	0.177226	0.076899	0.222234	0.099859
9	0.210639	0.095596	0.203417	0.085646	0.255561	0.111755
10	0.235854	0.103792	0.227988	0.093135	0.286899	0.122048
11	0.259221	0.110705	0.250779	0.099463	0.316046	0.130803
12	0.279862	0.116611	0.27094	0.104875	0.341932	0.138357



Şekil 7.34. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 7.35. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması

Tablo 7.12. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri oranı

Kat	Ortalama/Spektrum Oranı		Maksimum/Spektrum Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1	0.958397	0.870517	1.199972	1.077004
2	0.956565	0.875497	1.177640	1.092066
3	0.957218	0.879489	1.176438	1.104294
4	0.958029	0.883202	1.185904	1.116448
5	0.959916	0.886582	1.193518	1.128629
6	0.961668	0.889387	1.199836	1.140377
7	0.963228	0.891404	1.205112	1.151236
8	0.964579	0.893925	1.209542	1.160827
9	0.965714	0.895916	1.213265	1.169034
10	0.966649	0.897323	1.216426	1.175890
11	0.967433	0.898451	1.219214	1.181546
12	0.968120	0.899358	1.221788	1.186483
Ortalama	0.962293	0.888421	1.201555	1.140319

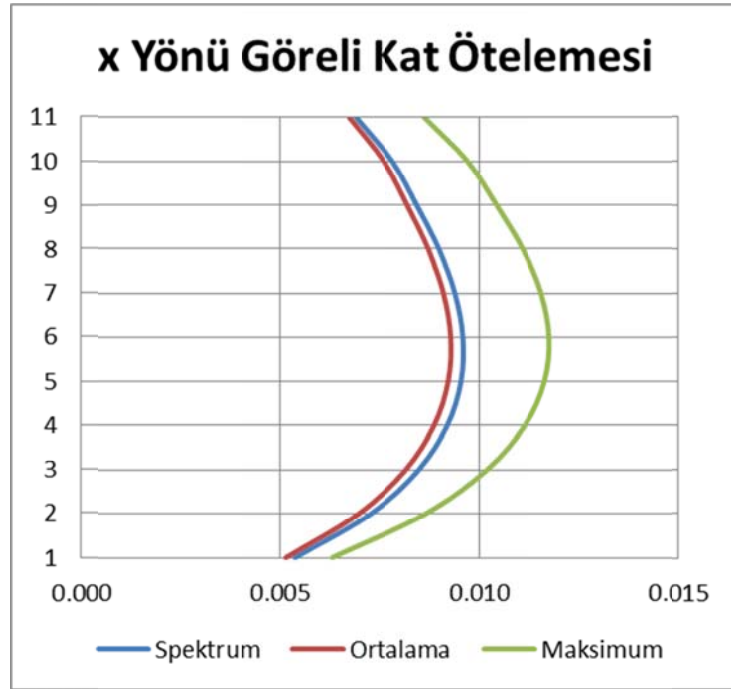
Spektral analiz yöntemi ile 7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.12 ile de görüldüğü gibi %4 ile %11 arasında fark çıkmıştır.

Spektral analiz yöntemi ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.12 ile de görüldüğü gibi %14 ile %20 arasında fark çıkmıştır.

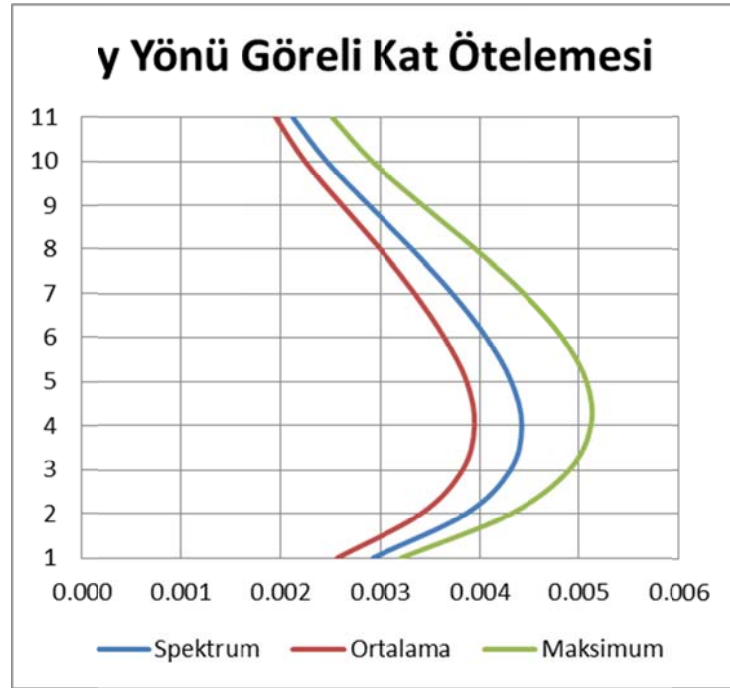
Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu görelî kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7.13 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.36, Şekil 7.37 ve Tablo 7.14 ile gösterilmiştir.

Tablo 7.13. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu göreli kat ötelemeleri

Kat	Spektral Analiz		Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1-2	0.005379	0.002929	0.005146	0.002571	0.006311	0.003217
2-3	0.007281	0.003867	0.006977	0.003416	0.008663	0.004319
3-4	0.008491	0.004310	0.008162	0.003830	0.010207	0.004902
4-5	0.009207	0.004423	0.008876	0.003950	0.011160	0.005121
5-6	0.009553	0.004319	0.009232	0.003872	0.011653	0.005077
6-7	0.009601	0.004073	0.009295	0.003651	0.011770	0.004837
7-8	0.009402	0.003731	0.009114	0.003353	0.011570	0.004452
8-9	0.009000	0.003326	0.008730	0.003004	0.011109	0.003965
9-10	0.008438	0.002888	0.008197	0.002619	0.010446	0.003431
10-11	0.007821	0.002461	0.007608	0.002244	0.009716	0.002918
11-12	0.006909	0.002123	0.006735	0.001952	0.008629	0.002518



Şekil 7.36. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 7.37. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması

Tablo 7.14. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu görel kat ötelemeleri oranı

Kat	Ortalama/Spektrum Oranı		Maksimum/Spektrum Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1-2	0.956743	0.877560	1.173401	1.098316
2-3	0.958293	0.883286	1.189763	1.116973
3-4	0.961252	0.888708	1.202183	1.137355
4-5	0.963978	0.892984	1.212041	1.157736
5-6	0.966329	0.896581	1.219819	1.175504
6-7	0.968128	0.896391	1.225879	1.187659
7-8	0.969333	0.898696	1.230554	1.193050
8-9	0.970073	0.903097	1.234379	1.192103
9-10	0.971399	0.906741	1.237971	1.188019
10-11	0.972850	0.911689	1.242307	1.185832
11-12	0.974862	0.919755	1.248963	1.186244
Ortalama	0.966658	0.897772	1.219751	1.165345

Spektral analiz yöntemi ile 7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.14 ile de görüldüğü gibi %3 ile %10 arasında fark çıkmıştır.

Spektral analiz yöntemi ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.14 ile de görüldüğü gibi %16 ile %22 arasında fark çıkmıştır.

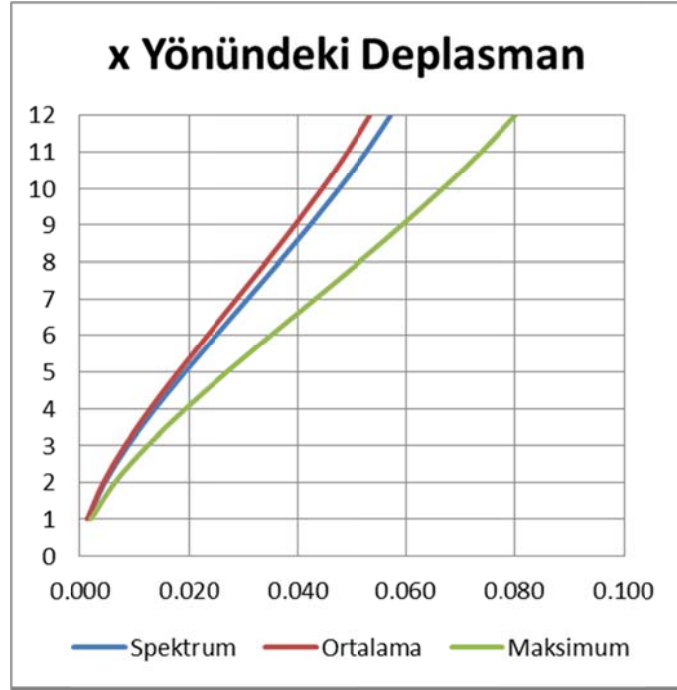
7.2.5 Z4 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri y-Yönünde Yapılan Doğrusal Analiz

Yapılan doğrusal spektral analiz ve zaman tanım alanındaki doğrusal analizin sonuçları ve karşılaştırmaları aşağıda verilmiştir.

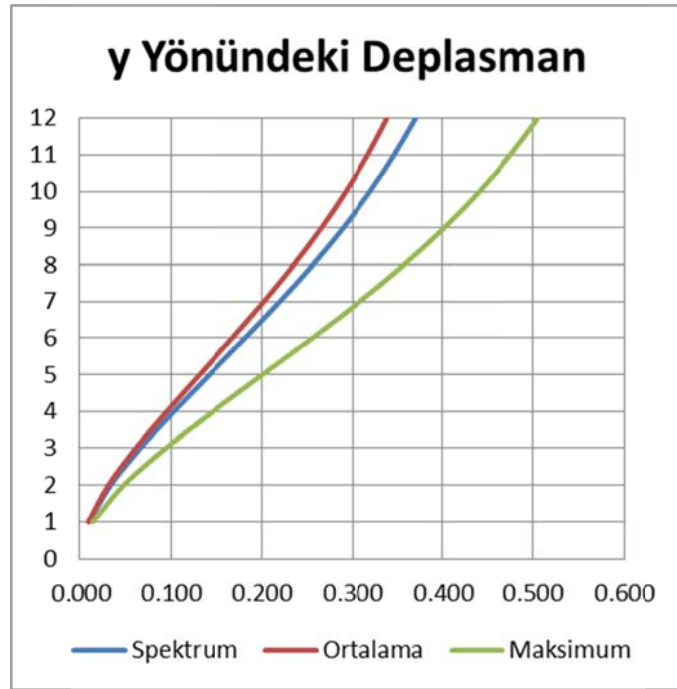
Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7.15 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.38, Şekil 7.39 ve Tablo 7.16 ile gösterilmiştir.

Tablo 7.15. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri

Kat	Spektral Analiz		Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1	0.00139	0.009819	0.001318	0.009105	0.001964	0.014001
2	0.004475	0.033475	0.00422	0.031011	0.006319	0.047718
3	0.008676	0.065633	0.008157	0.060747	0.012235	0.093445
4	0.013638	0.102597	0.012794	0.094843	0.01921	0.145757
5	0.0191	0.141775	0.017887	0.130825	0.026875	0.200767
6	0.024853	0.181301	0.023238	0.167114	0.034934	0.255642
7	0.030718	0.21979	0.028693	0.202242	0.043141	0.308305
8	0.036543	0.256182	0.034133	0.235161	0.051288	0.357265
9	0.042197	0.289675	0.039415	0.265506	0.059198	0.401545
10	0.047572	0.319751	0.04443	0.29286	0.066722	0.440691
11	0.052605	0.346326	0.049119	0.317037	0.073774	0.474892
12	0.057098	0.370017	0.05329	0.3385	0.080075	0.505232



Şekil 7.38. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 7.39. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması

Tablo 7.16. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu kat ötelemeleri oranı

Kat	Ortalama/Spektrum Oranı		Maksimum/Spektrum Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1	0.948201	0.927284	1.412950	1.425909
2	0.943017	0.926393	1.412067	1.425482
3	0.940180	0.925556	1.410212	1.423750
4	0.938114	0.924423	1.408564	1.420675
5	0.936492	0.922765	1.407068	1.416096
6	0.935018	0.921749	1.405625	1.410042
7	0.934078	0.920160	1.404421	1.402725
8	0.934050	0.917945	1.403497	1.394575
9	0.934071	0.916565	1.402896	1.386191
10	0.933953	0.915900	1.402548	1.378232
11	0.933733	0.915429	1.402414	1.371228
12	0.933308	0.914823	1.402413	1.365429
Ortalama	0.937018	0.920749	1.406223	1.401695

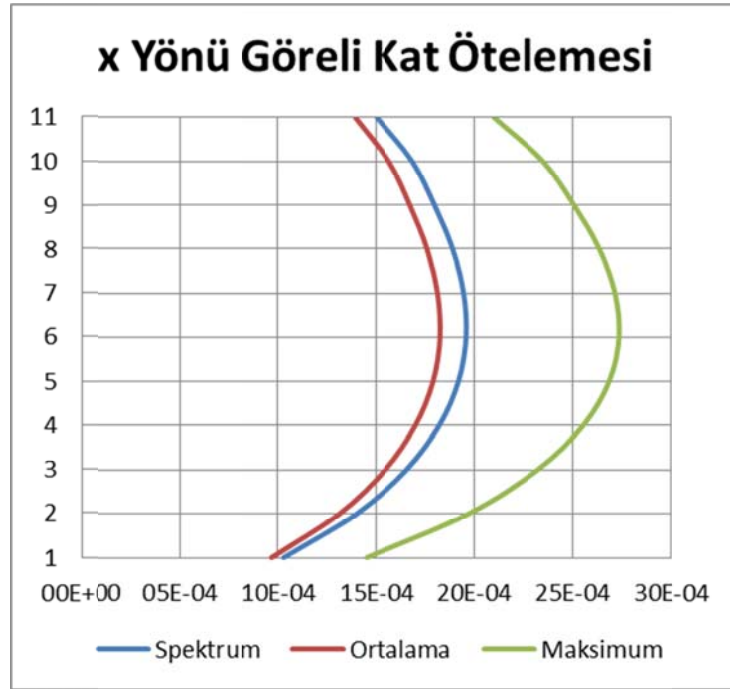
Spektral analiz yöntemi ile 7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.16 ile de görüldüğü gibi %8 ile %9 arasında fark çıkmıştır.

Spektral analiz yöntemi ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.16 ile de görüldüğü gibi %40 ile %41 arasında fark çıkmıştır.

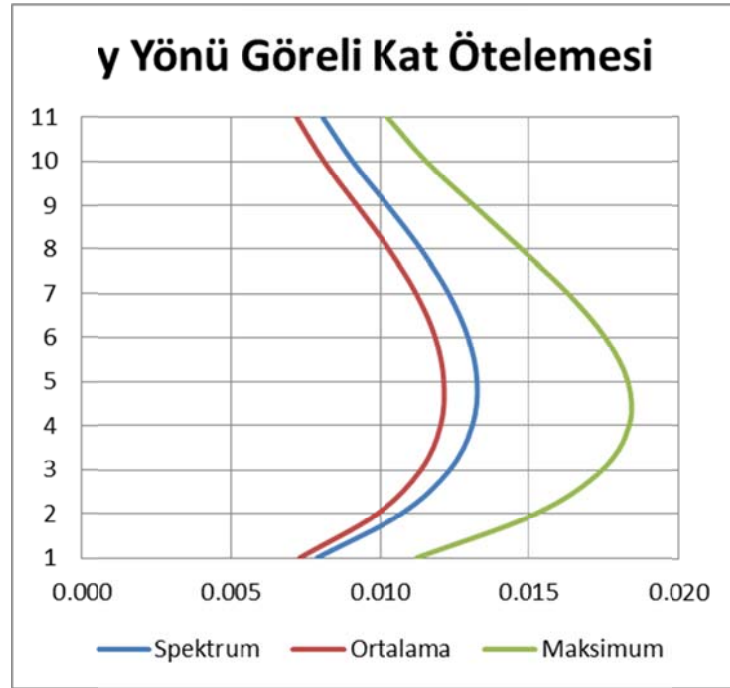
Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu göreceli kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7.17 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.40, Şekil 7.41 ve Tablo 7.18 ile gösterilmiştir.

Tablo 7.17. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu göreli kat ötelemeleri

Kat	Spektral Analiz		Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1-2	0.001029	0.007886	0.000967	0.007302	0.001452	0.011239
2-3	0.001401	0.010724	0.001313	0.009912	0.001972	0.015242
3-4	0.001655	0.012337	0.001547	0.011374	0.002325	0.017437
4-5	0.001822	0.013099	0.001701	0.012038	0.002555	0.018337
5-6	0.001920	0.013254	0.001791	0.012144	0.002686	0.018292
6-7	0.001959	0.012959	0.001826	0.011865	0.002736	0.017554
7-8	0.001947	0.012312	0.001814	0.011224	0.002716	0.016320
8-9	0.001891	0.011383	0.001761	0.010305	0.002637	0.014760
9-10	0.001798	0.010257	0.001672	0.009222	0.002508	0.013149
10-11	0.001684	0.009073	0.001564	0.008114	0.002351	0.011553
11-12	0.001503	0.008074	0.001393	0.007205	0.002100	0.010256



Şekil 7.40. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz x-yönündeki göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 7.41. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz y-yönündeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması

Tablo 7.18. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal analiz sonucu görel kat ötelemeleri oranı

Kat	Ortalama/Spektrum Oranı		Maksimum/Spektrum Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1-2	0.940071	0.925987	1.410755	1.425184
2-3	0.937188	0.924311	1.407566	1.421373
3-4	0.934542	0.921944	1.404834	1.413379
4-5	0.933236	0.919027	1.401866	1.399852
5-6	0.932986	0.916254	1.399132	1.380052
6-7	0.932437	0.915554	1.396698	1.354580
7-8	0.931849	0.911629	1.395034	1.325572
8-9	0.931077	0.905271	1.394324	1.296633
9-10	0.930108	0.899097	1.394883	1.281880
10-11	0.928741	0.894335	1.395883	1.273385
11-12	0.926813	0.892334	1.397427	1.270239
Ortalama	0.932641	0.911431	1.399855	1.349284

Spektral analiz yöntemi ile 7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.18 ile de görüldüğü gibi %7 ile %9 arasında fark çıkmıştır.

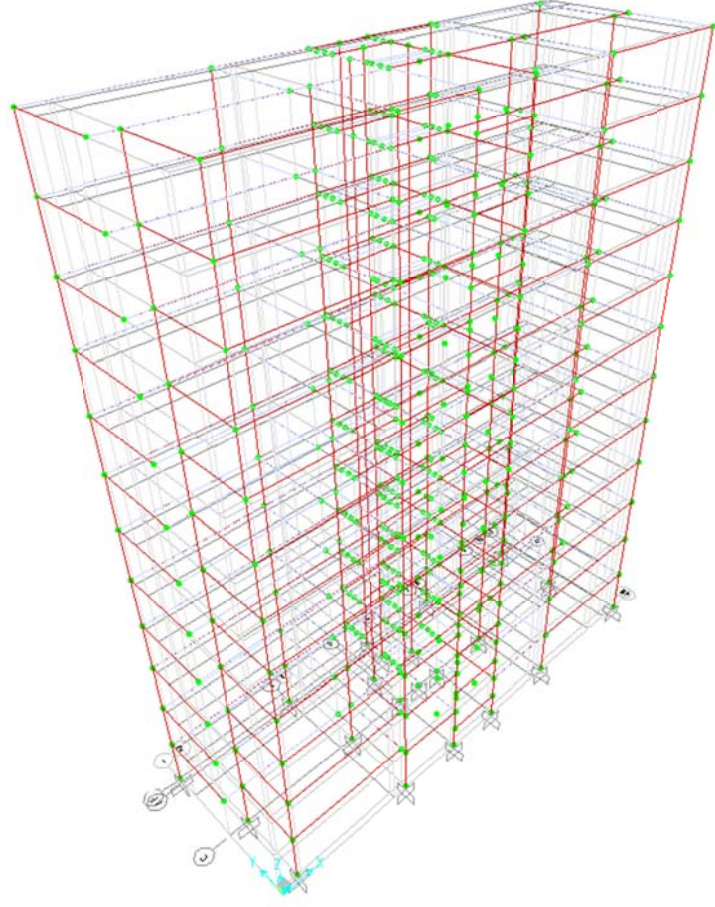
Spektral analiz yöntemi ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.18 ile de görüldüğü gibi %34 ile %40 arasında fark çıkmıştır.

7.3 Doğrusal Olmayan Analiz

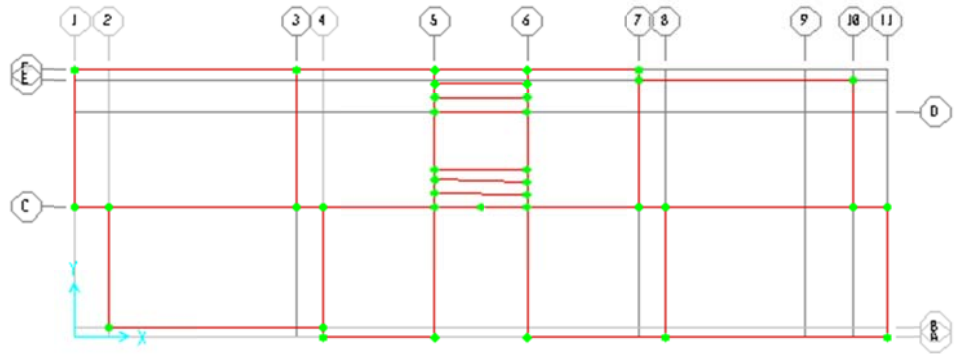
Doğrusal olmayan analizde kullanılan model özellikleri, yapının bulunduğu zemin bölgesi ve deprem bölgesi bilgileri aşağıda verilmiştir.

7.3.1 Doğrusal Olmayan Analiz Model Parametreleri

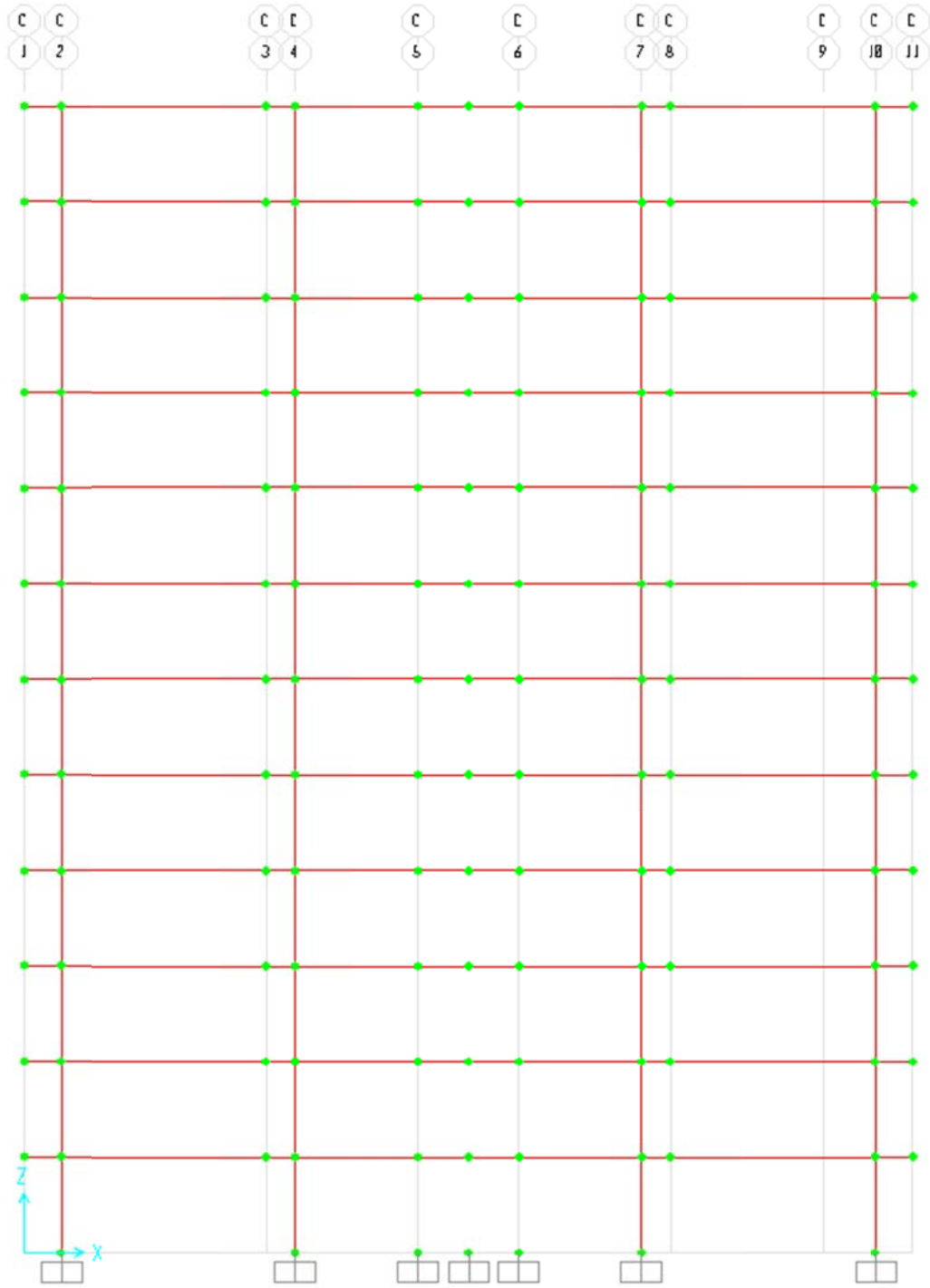
Doğrusal olmayan analizde kat yüksekliği 3.00 m olan, 12 katlı iş binası kullanılmış olup, 3 boyutlu görünüşü (Şekil 7.42), tipik kat planı (Şekil 7.43) ve kesti görünüşü (Şekil 7.44) aşağıda verilmiştir.



Şekil 7.42. Doğrusal olmayan analiz modeli 3d görünüşü



Şekil 7.43. Doğrusal olmayan analiz modeli tipik kat planı



Şekil 7.44. Doğrusal olmayan analiz modeli “C-C” kesit görünüşü

Yapı elemanlarının özellikleri;

- Beton sınıfı: C25
- Döşeme kalınlığı: 12 cm
- Kirişlerin boyutları: 50x30 cm
- Kirişlerin donatıları: Üst donatı %0.8, alt donatı her iki uçta %0.4
- Ölü yük: 1,75 kN/m²
- Hareketli yük: 3,00 kN/m²
- Kolonların özellikleri Tablo 7.19 ile verilmiştir.

Tablo 7.19. Doğrusal olmayan analiz modeli kolon özellikleri

Aks	Kolon Boyutları (cm)	Kolon Donatıları (mm)
A-4	30x150	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
A-5	30x150	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
A-6	30x150	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
A-8	30x150	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
A-11	L175x125	Boyuna Donatı 32Φ20, Etriye Φ10/15
B-2	25x200	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
C-2	L175x125	Boyuna Donatı 32Φ20, Etriye Φ10/15
C-4	35x100	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
C-7	35x100	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
C-10	L175x125	Boyuna Donatı 32Φ20, Etriye Φ10/15
D-5 D-6	30x320	Boyuna Donatı 34Φ20, Etriye Φ10/15
E-10	25x150	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
F-1	L175x125	Boyuna Donatı 32Φ20, Etriye Φ10/15
F-3	30x150	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15
F-5 F-6	40x100	Boyuna Donatı 14Φ20, Etriye Φ10/15
F-7	30x150	Boyuna Donatı 18Φ20, Etriye Φ10/15

Modelin SAP2000 ile hesaplanan modal etkin kütleleri Tablo 7.20 ile verilmiştir.

Tablo 7.20. Modal etkin kütleler

Modal Etkin Kütleler							
Adım	Periyot	UX	UY	ΣUX	ΣUY	RZ	ΣRZ
1	1.170771	0.02617	0.68834	0.02617	0.68834	0.44624	0.44624
2	1.038333	0.28295	0.02863	0.30912	0.71697	0.00248	0.44872
3	0.956033	0.40863	0.00517	0.71775	0.72214	0.27807	0.72679
4	0.580993	0.00074	0.0025	0.71849	0.72465	0.00226	0.72905
5	0.390215	1.44E-05	1.39E-05	0.71851	0.72466	4.89E-05	0.7291
6	0.330862	0.00675	0.1207	0.72525	0.84536	0.08459	0.81369
7	0.311888	0.01682	0.00899	0.74208	0.85436	0.00145	0.81515
8	0.289093	0.05517	0.00088	0.79724	0.85523	0.02517	0.84032
9	0.28311	0.00345	2.65E-05	0.80069	0.85526	0.00227	0.84259
10	0.277276	0.02598	0.0011	0.82667	0.85636	0.00924	0.85183
11	0.243556	0.02204	6.99E-05	0.84871	0.85643	0.00291	0.85474
12	0.238885	7.95E-05	0.00054	0.84879	0.85698	0.00027	0.85501

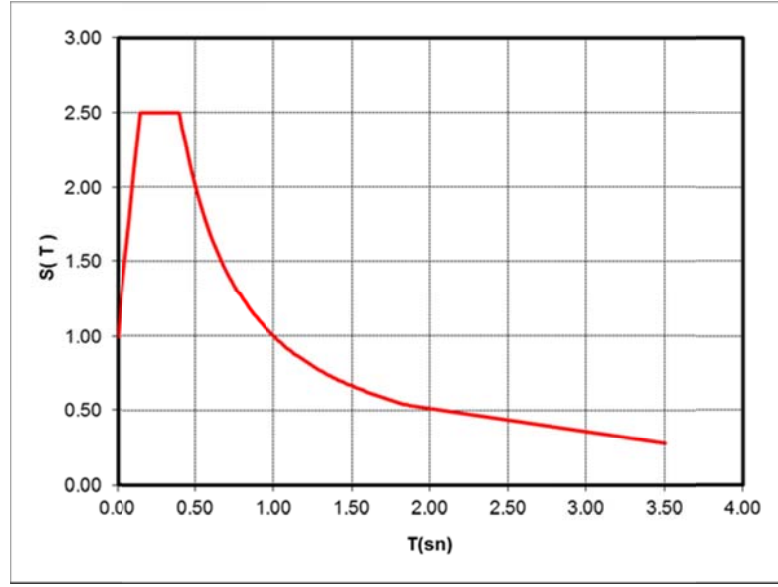
Ayrı parametreler kullanılarak 2 adet doğrusal analiz yapılmıştır.

Birinci analiz parametreleri:

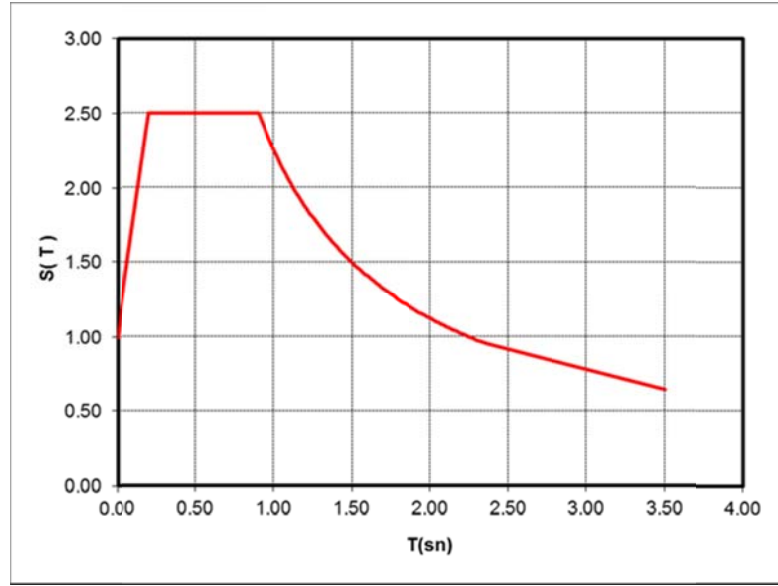
- Yerel zemin sınıfı Z2 ($T_A = 0.15$, $T_B = 0.40$)
- Deprem bölgesi ($A_0 = 0.40$)
- Bina önem katsayısı ($I = 1.00$)

İkinci analiz parametreleri:

- Yerel zemin sınıfı Z4 ($T_A = 0.20$, $T_B = 0.90$)
- Deprem bölgesi ($A_0 = 0.40$)
- Bina önem katsayısı ($I = 1.00$)



Şekil 7.45. Tasarım ivme spektrumu (Z2, 1. Deprem bölgesi)



Şekil 7.46. Tasarım ivme spektrumu (Z4, 1. Deprem bölgesi)

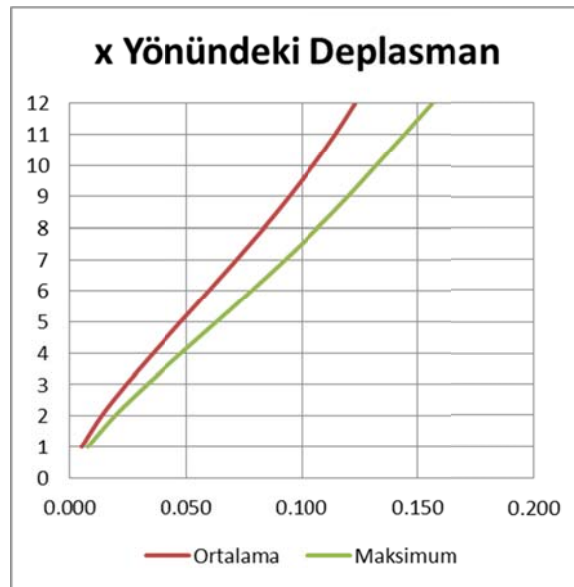
7.3.2 Z2 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri x-Yönünde Yapılan Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz ve zaman tanım alanındaki doğrusal olmayan analizin sonuçları ve karşılaştırmaları aşağıda verilmiştir.

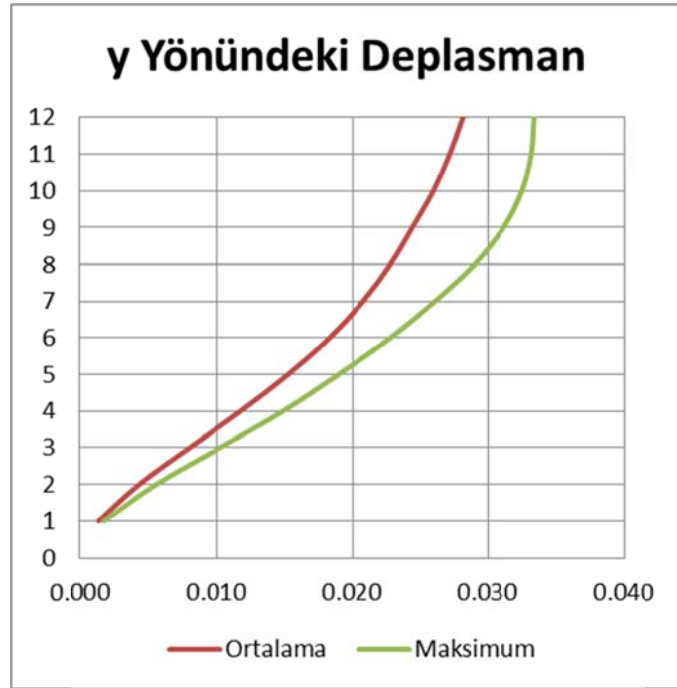
Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7.21 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.47 ve Şekil 7.48 ile gösterilmiştir.

Tablo 7.21. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları

Kat	Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum		Maksimum/Ortalama Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1	0.004955	0.001345	0.007532	0.001741	1.520081	1.294424
2	0.013476	0.004303	0.019176	0.005556	1.422974	1.291192
3	0.024041	0.007979	0.032983	0.010225	1.371948	1.281489
4	0.035601	0.011759	0.047829	0.014882	1.343473	1.265584
5	0.047556	0.015254	0.063034	0.018970	1.325469	1.243608
6	0.059776	0.018302	0.078156	0.022802	1.307481	1.245875
7	0.071844	0.020800	0.092865	0.026102	1.292592	1.254904
8	0.083531	0.022809	0.106908	0.029027	1.279860	1.272612
9	0.094650	0.024433	0.120112	0.031165	1.269012	1.275529
10	0.105058	0.025988	0.132371	0.032526	1.259980	1.251578
11	0.114741	0.027186	0.144659	0.033211	1.260744	1.221621
12	0.123332	0.028160	0.156569	0.033415	1.269492	1.186612
Ortalama					1.326926	1.257086



Şekil 7.47. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması



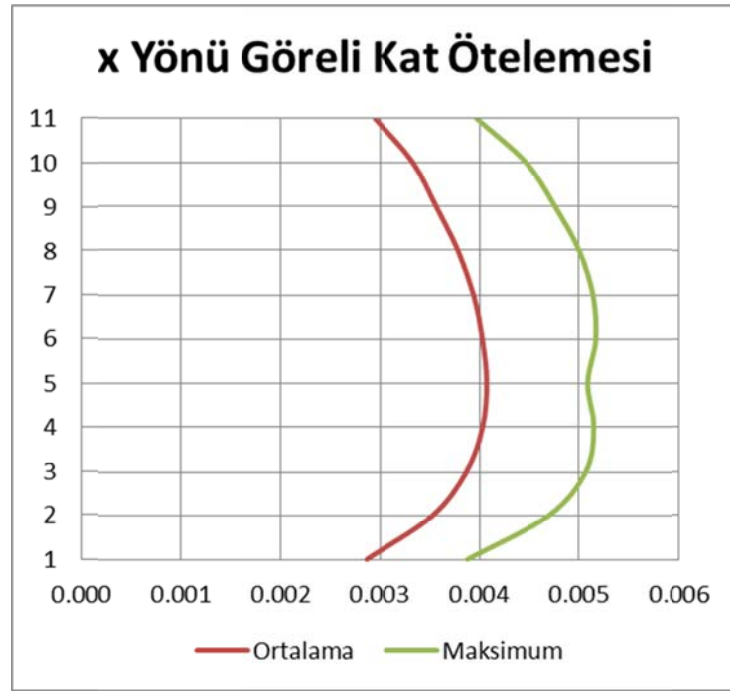
Şekil 7.48. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması

7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.21 ile de görüldüğü gibi %25 ile %33 arasında fark çıkmıştır.

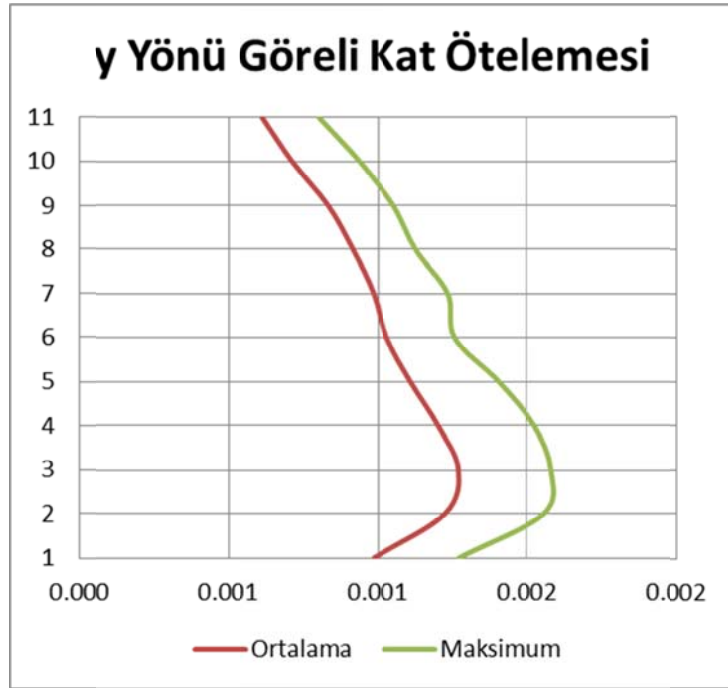
Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu görelî kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7.22. ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.49 ve Şekil 7.50 ile gösterilmiştir.

Tablo 7.22. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu görelî kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları

Kat	Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum		Maksimum/Ortalama Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1-2	0.002865	0.000986	0.003882	0.001272	1.354857	1.289723
2-3	0.003525	0.001225	0.004694	0.001556	1.331600	1.270476
3-4	0.003868	0.001270	0.005066	0.001580	1.309608	1.244357
4-5	0.004032	0.001202	0.005148	0.001524	1.276763	1.268516
5-6	0.004073	0.001109	0.005087	0.001405	1.248854	1.267208
6-7	0.004032	0.001029	0.005168	0.001257	1.281935	1.221503
7-8	0.003943	0.000986	0.005141	0.001234	1.303745	1.252283
8-9	0.003784	0.000916	0.005002	0.001126	1.321765	1.229622
9-10	0.003565	0.000832	0.004760	0.001051	1.335110	1.263221
10-11	0.003329	0.000712	0.004467	0.000937	1.341879	1.317096
11-12	0.002949	0.000611	0.003970	0.000801	1.346484	1.310796
Ortalama					1.313873	1.266800



Şekil 7.49. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 7.50. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz y-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması

7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.22 ile de görüldüğü gibi %26 ile %32 arasında fark çıkmıştır.

7.3.3 Z2 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri y-Yönünde Yapılan Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

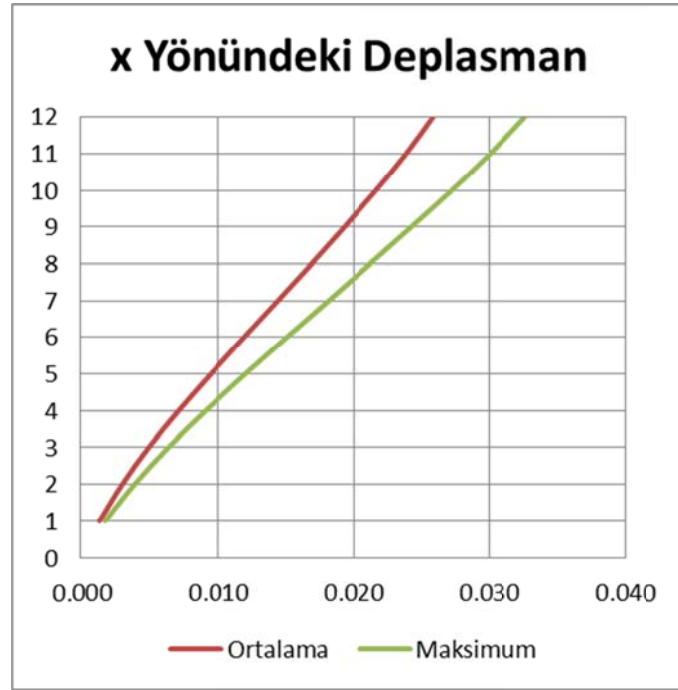
Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz ve zaman tanım alanındaki doğrusal olmayan analizin sonuçları ve karşılaştırmaları aşağıda verilmiştir.

Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu kat ötelemeleri aşağıda

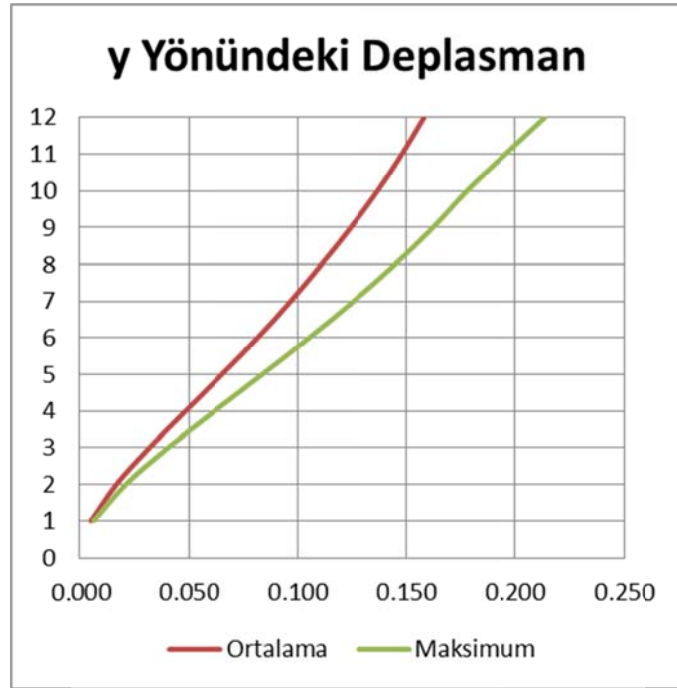
Tablo 7.23 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.51 ve Şekil 7.52 ile gösterilmiştir.

Tablo 7.23. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları

Kat	Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum		Maksimum/Ortalama Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1	0.001342	0.004946	0.001749	0.006177	1.303279	1.248888
2	0.002994	0.016505	0.003892	0.020794	1.299933	1.259861
3	0.004918	0.031549	0.006349	0.040046	1.290972	1.269327
4	0.007108	0.048027	0.009088	0.061425	1.278559	1.278968
5	0.009470	0.064834	0.012030	0.083381	1.270327	1.286069
6	0.011934	0.081262	0.015086	0.104961	1.264119	1.291637
7	0.014435	0.096542	0.018176	0.125553	1.259162	1.300501
8	0.016910	0.110760	0.021235	0.144737	1.255766	1.306762
9	0.019335	0.124275	0.024281	0.162245	1.255806	1.305532
10	0.021676	0.136729	0.027263	0.177948	1.257751	1.301465
11	0.023906	0.147991	0.030098	0.195684	1.259014	1.322270
12	0.025881	0.158091	0.032629	0.213759	1.260732	1.352126
Ortalama					1.271285	1.293617



Şekil 7.51. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 7.52. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması

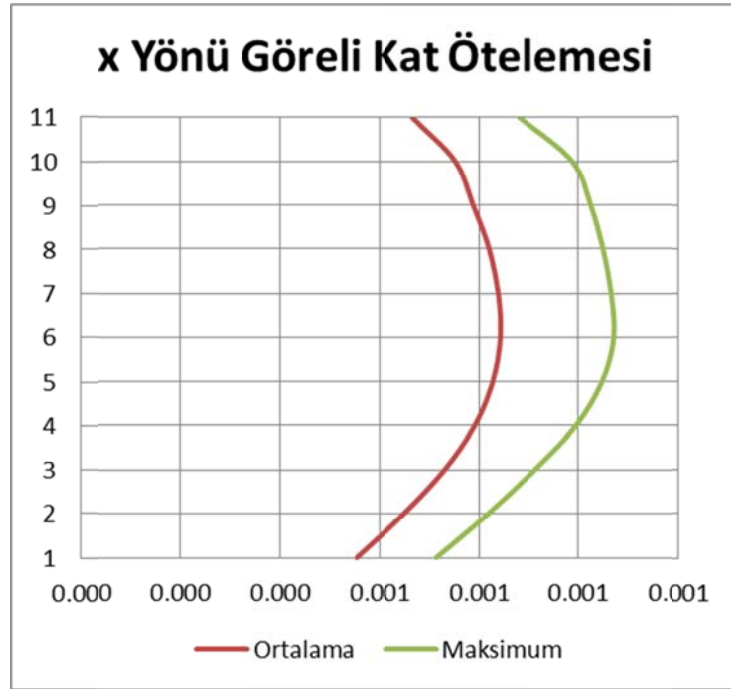
7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında

Tablo 7.23 ile de görüldüğü gibi %27 ile %29 arasında fark çıkmıştır.

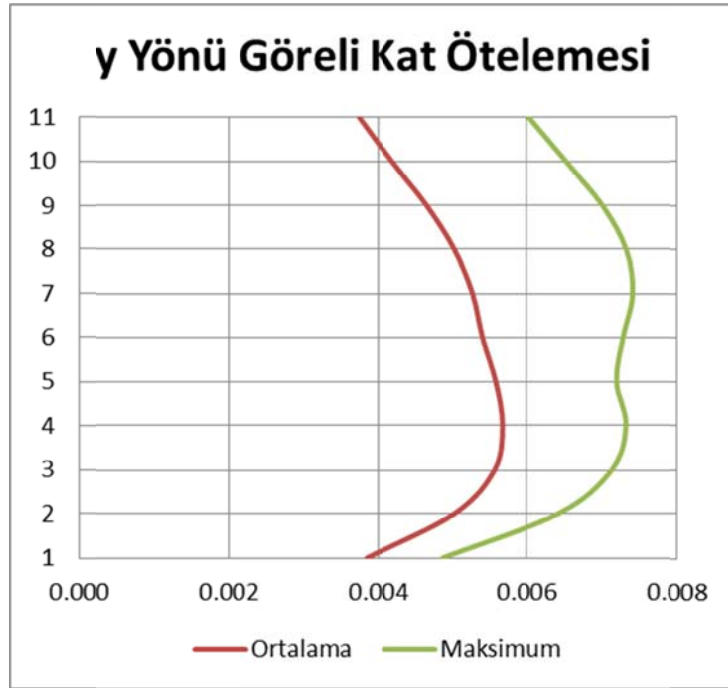
Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu görel kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7.24 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.53 ve Şekil 7.54 ile gösterilmiştir.

Tablo 7-24 Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu görelî kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları

Kat	Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum		Maksimum/Ortalama Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1-2	0.000554	0.003853	0.000714	0.004872	1.288635	1.264556
2-3	0.000649	0.005025	0.000819	0.006417	1.261941	1.277166
3-4	0.000731	0.005563	0.000913	0.007126	1.248405	1.281100
4-5	0.000792	0.005670	0.000995	0.007319	1.256734	1.290829
5-6	0.000828	0.005580	0.001048	0.007193	1.264789	1.289068
6-7	0.000843	0.005403	0.001071	0.007279	1.269565	1.347131
7-8	0.000839	0.005269	0.001066	0.007409	1.269658	1.406086
8-9	0.000821	0.005025	0.001049	0.007323	1.278116	1.457283
9-10	0.000789	0.004652	0.001025	0.007006	1.299239	1.505983
10-11	0.000752	0.004185	0.000987	0.006519	1.312362	1.557626
11-12	0.000666	0.003748	0.000882	0.006025	1.324324	1.607667
Ortalama					1.279434	1.389500



Şekil 7.53. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 7.54. Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz y-yönündeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması

7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.24 ile de görüldüğü gibi %28 ile %40 arasında fark çıkmıştır.

7.3.4 Z4 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri x-Yönünde Yapılan Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz ve zaman tanım alanındaki doğrusal olmayan analizin sonuçları ve karşılaştırmaları aşağıda verilmiştir.

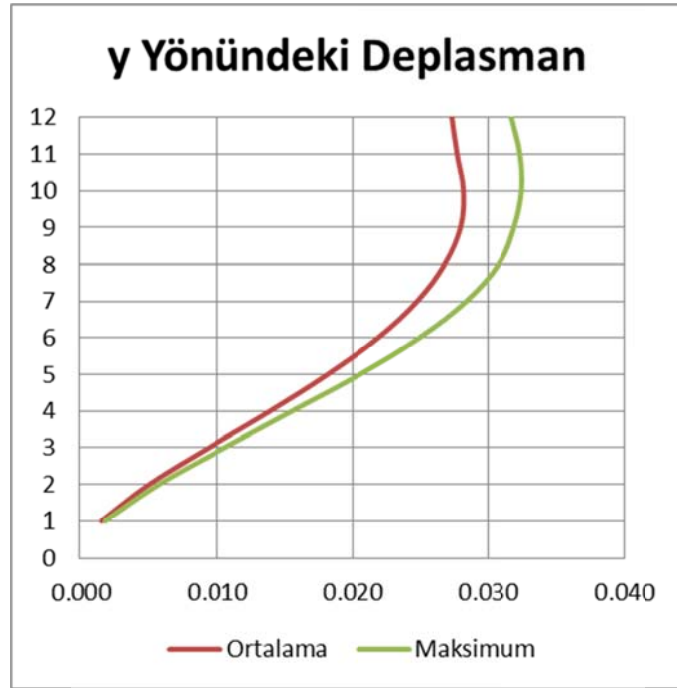
Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7.25 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.55 ve Şekil 7.56 ile gösterilmiştir.

Tablo 7.25. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları

Kat	Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum		Maksimum/Ortalama Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1	0.008407	0.001574	0.010810	0.001823	1.285833	1.158196
2	0.023272	0.005050	0.029920	0.005757	1.285665	1.140000
3	0.041751	0.009397	0.053206	0.010560	1.274365	1.123763
4	0.062128	0.013930	0.078529	0.015551	1.263987	1.116368
5	0.083316	0.018167	0.104596	0.020550	1.255413	1.131172
6	0.104718	0.021892	0.130627	0.024939	1.247417	1.139183
7	0.125904	0.024798	0.156108	0.028427	1.239897	1.146342
8	0.146379	0.026809	0.180650	0.030799	1.234125	1.148831
9	0.165848	0.027985	0.203936	0.031922	1.229656	1.140683
10	0.184089	0.028201	0.225735	0.032484	1.226228	1.151874
11	0.201109	0.027729	0.246090	0.032369	1.223665	1.167334
12	0.216127	0.027338	0.264077	0.031739	1.221860	1.160985
Ortalama					1.249009	1.143727



Şekil 7.55. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması



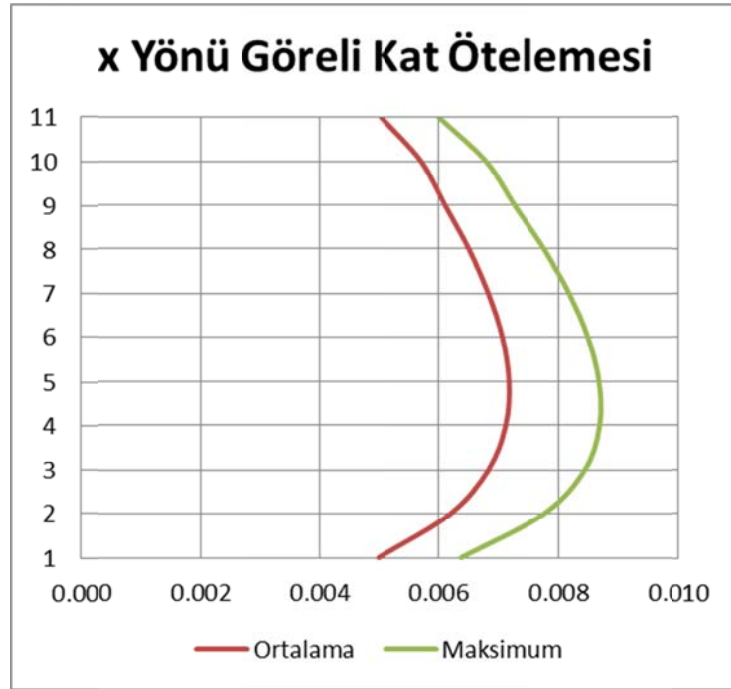
Şekil 7.56. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması

7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.25 ile de görüldüğü gibi %14 ile %25 arasında fark çıkmıştır.

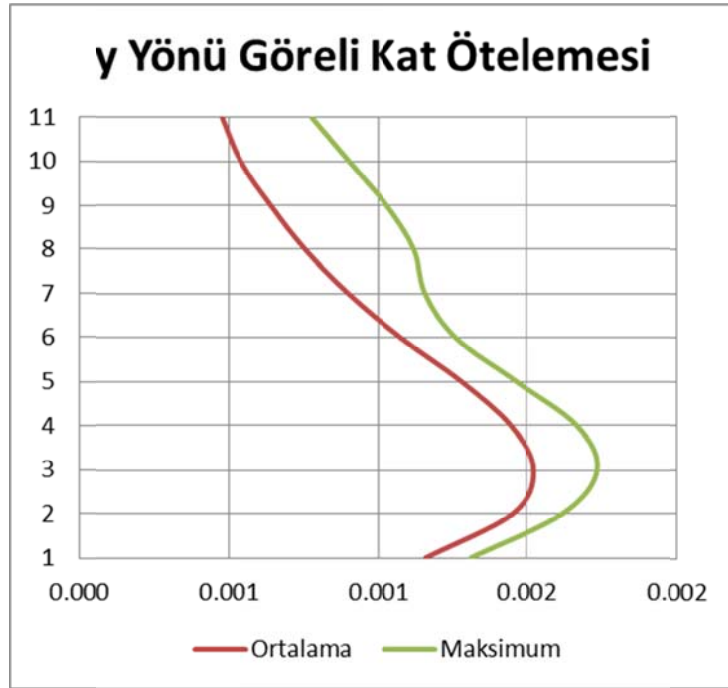
Z2 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu görelî kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7.26 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.57 ve Şekil 7.58 ile gösterilmiştir.

Tablo 7.26. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu görelî kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları

Kat	Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum		Maksimum/Ortalama Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1-2	0.004983	0.001160	0.006370	0.001311	1.278432	1.130460
2-3	0.006190	0.001452	0.007762	0.001619	1.253904	1.114784
3-4	0.006827	0.001523	0.008441	0.001734	1.236403	1.138573
4-5	0.007117	0.001445	0.008689	0.001666	1.220776	1.152906
5-6	0.007172	0.001281	0.008677	0.001465	1.209834	1.143898
6-7	0.007062	0.001077	0.008494	0.001261	1.202728	1.170792
7-8	0.006828	0.000901	0.008181	0.001158	1.198047	1.285133
8-9	0.006501	0.000756	0.007762	0.001121	1.194031	1.482363
9-10	0.006100	0.000640	0.007266	0.001029	1.191267	1.607813
10-11	0.005697	0.000539	0.006785	0.000902	1.191047	1.675124
11-12	0.005029	0.000477	0.005996	0.000777	1.192139	1.630769
Ortalama					1.215328	1.321147



Şekil 7.57. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 7.58. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz y-yönündeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması

7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.26 ile de görüldüğü gibi %21 ile %32 arasında fark çıkmıştır.

7.3.5 Z4 Bölgesinde Deprem Kuvvetleri y-Yönünde Yapılan Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz ve zaman tanım alanındaki doğrusal olmayan analizin sonuçları ve karşılaştırmaları aşağıda verilmiştir.

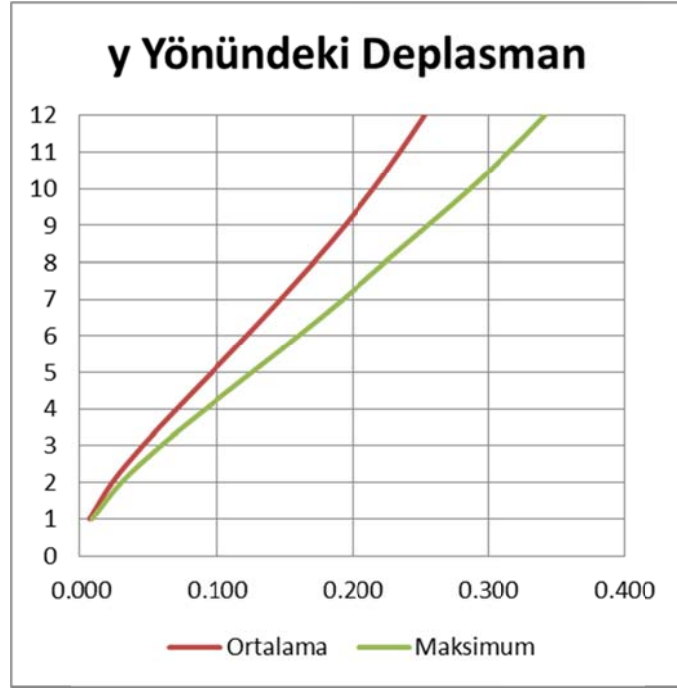
Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7.27 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.59 ve Şekil 7.60 ile gösterilmiştir.

Tablo 7.27. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları

Kat	Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum		Maksimum/Ortalama Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1	0.001867	0.006907	0.002516	0.008783	1.347616	1.271609
2	0.004389	0.023416	0.006142	0.030042	1.399408	1.282969
3	0.007460	0.045499	0.010498	0.058798	1.407239	1.292292
4	0.010940	0.070369	0.015357	0.091531	1.403748	1.300729
5	0.014688	0.096150	0.020506	0.125825	1.396106	1.308632
6	0.018564	0.121940	0.025778	0.160030	1.388602	1.312367
7	0.022461	0.147112	0.031032	0.193022	1.381595	1.312075
8	0.026340	0.171337	0.036161	0.224008	1.372855	1.307412
9	0.030105	0.194449	0.041087	0.255707	1.364790	1.315034
10	0.033711	0.215598	0.045764	0.286895	1.357539	1.330694
11	0.037168	0.235125	0.050193	0.315519	1.350436	1.341920
12	0.040249	0.253295	0.054168	0.341995	1.345822	1.350185
Ortalama					1.376313	1.310493



Şekil 7.59. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması



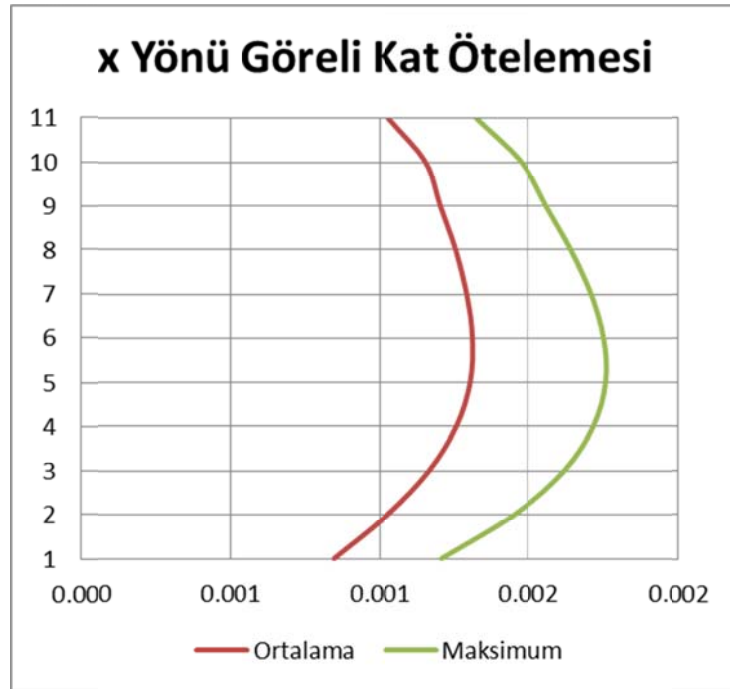
Şekil 7.60. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz y-yönündeki kat ötelemelerinin karşılaştırılması

7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.27 ile de görüldüğü gibi %31 ile %38 arasında fark çıkmıştır.

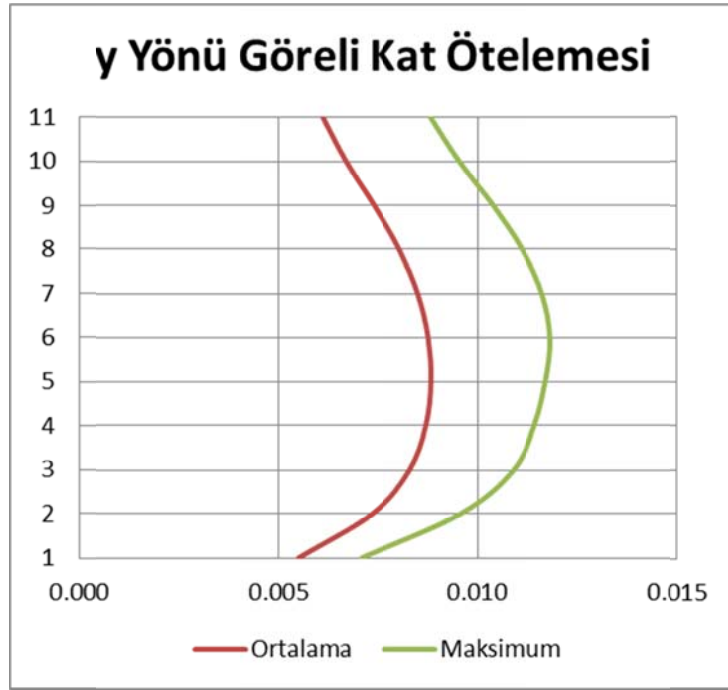
Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu görelî kat ötelemeleri aşağıda Tablo 7.28 ile verilmiş olup, kıyaslamaları Şekil 7.61 ve Şekil 7.62 ile gösterilmiştir.

Tablo 7.28. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu görelî kat ötelemeleri ve birbirine göre oranları

Kat	Zaman Tanım Alanında Ortalama		Zaman Tanım Alanında Maksimum		Maksimum/Spektrum Oranı	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
1-2	0.000847	0.005503	0.001209	0.007086	1.426997	1.287722
2-3	0.001027	0.007361	0.001452	0.009585	1.413827	1.302178
3-4	0.001167	0.008295	0.001620	0.010911	1.388286	1.315371
4-5	0.001258	0.008706	0.001716	0.011431	1.364335	1.312991
5-6	0.001304	0.008835	0.001757	0.011712	1.347304	1.325687
6-7	0.001312	0.008766	0.001751	0.011830	1.334604	1.349570
7-8	0.001293	0.008505	0.001710	0.011627	1.322165	1.367171
8-9	0.001256	0.008038	0.001642	0.011131	1.307325	1.384813
9-10	0.001205	0.007400	0.001559	0.010396	1.294134	1.404928
10-11	0.001155	0.006693	0.001476	0.009542	1.277842	1.425548
11-12	0.001031	0.006112	0.001325	0.008825	1.285576	1.443857
Ortalama					1.342036	1.356349



Şekil 7.61. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 7.62. Z4 bölgesinde yapılan doğrusal olmayan analiz x-yönündeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması

7 veya daha fazla deprem kaydının ortalaması alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap ile 3 veya daha fazla deprem kaydının maksimum değeri alınarak hesaplanan zaman tanım alanındaki hesap arasında Tablo 7.28 ile de görüldüğü gibi %34 ile %36 arasında fark çıkmıştır.

8 SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen bilgiler ışığında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Doğrusal olan spektral analiz ve zaman tanım alanındaki analiz sonuçları karşılaştırıldığı zaman, spektral analiz ve en az 7 deprem kaydının ortalama değeri kullanılarak yapılan zaman tanım alanındaki analizin arasında %1 ile %5 arasında fark görülmüştür. Fakat spektral analiz ile en az 3 deprem kaydının maksimum değeri kullanılarak yapılan analiz arasında %30'lara varan artımlar görülmüştür.

Doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analizde, doğrusal olan analizlerin sonuçları ışığında en az 7 deprem kaydının ortalama değeri kullanılarak yapılan analiz ve en az 3 deprem kaydının maksimum değeri kullanılarak yapılan analizlerin sonuçları karşılaştırıldığında, en az 3 deprem kaydı kullanılarak bulunan sonuçlar en az 7 deprem kaydı kullanılarak bulunan sonuçlardan %25 fazla çıkmıştır.

Bunlara dayanarak en az 3 adet deprem kaydının maksimum değerinin kullanıldığı analizler konservatif tasarımlara sebep olmaktadır. Bu yüzden en az 7 deprem kaydının ortalama değerleri kullanılarak yapılan zaman tanım alanındaki analizin kullanılması daha doğru olacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Abrahamson, N. A., Non-Stationary Spectral Matching Program RSPMATCH, User Manual, July 16, 1993.
- [2] Boore, D. M., SMSIM – Fortran Programs for Simulating Ground Motions from Earthquakes: Version 2.0 – A Revision of OFR 96-80-A, USGS Open File Report OF 00-509, 2000.
- [3] Kramer, S. L., Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, 1996.
- [4] Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, PEER Strong Motion Database, <http://peer.berkeley.edu/smcat/>, 2006.
- [5] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, <http://www.deprem.gov.tr>, 2007.
- [6] Fahjan Y. “Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi” IMO Dergi, 2008
- [7] Naeim, F., Kelly, J. M., Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice, John Wiley & Sons, 1999.
- [8] Reiter, L., Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights, Columbia University Press, 1990.
- [9] Bommer, J. J., Scott, S. G., Sarma, S. K., Hazard-Consistent Earthquake Scenarios, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 19, 219-231, 2000.
- [10] Bommer, J. J., Acevedo, A. B., Douglas, J., The Selection and Scaling of Real Earthquake Accelerograms for Use in Seismic Design and Assessment, Proceedings of ACI International Conference on Seismic Bridge Design and Retrofit, American Concrete Institute, 2003.
- [11] Stewart, J. P., Chiou, S. J., Bray, J. D., Graves, R. W., Somerville, P. G., Abrahamson, N. A., Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design, PEER Report 2001/09, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 2001.
- [12] Nikolaou, A. S., A GIS Platform for Earthquake Risk Analysis, Ph.D. Dissertation, State University of New York at Buffalo, 1998.
- [13] Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, <http://www.deprem.gov.tr>, 2006.
- [14] Vanmarcke, E. H., State-of-the-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States: Representation of Earthquake Ground Motions – Scaled Accelerograms and Equivalent Response Spectra, Miscellaneous Paper S-73-1, Report 14, US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 1979.
- [15] Krinitzsky, E. L., Chang F. K., Specifying Peak Motions for Design Earthquakes, State-of the-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States, Report 7, Miscellaneous Paper S-73-1, US Army Corps of Engineers, 1977.

- [16] Aydinoglu, M. N., Fahjan, Y. M., A Unified Formulation of the Piecewise Exact Method for Inelastic Seismic Demand Analysis including the P-Delta Effect, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32, 6, 871-890, 2003.
- [17] Bommer, J. J., Martínez-Pereira, A., The Effective Duration of Earthquake Strong Motion, *Journal of Earthquake Engineering*, 3, 127-172, 1999.
- [18] Bolt, B. A., Duration of Strong Motion, *Proceedings 4th World Conference on Earthquake Engineering*, Santiago, Chile, 1304-1315, 1969.
- [19] Arias, A., A Measure of Earthquake Intensity in Seismic Design for Nuclear Power Plants, Ed. By R. Hansen, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1969.
- [20] Trifunac, M. D., A. G. Brady, A Study on the Duration of Strong Earthquake Ground Motion, *The Bulletin of the Seismological Society of America (BSSA)*, 65, 581-626, 1975.

ÖZGEÇMİŞ

İstanbul’ da 11.07.1983 yılında doğdum. İlköğretim ve ortaöğretimi İstanbul Tuzla’ da bitirdim. Yabancı Dil Ağırlıklı Tuzla Lisesi’ni bitirdikten sonra, Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandım. Üniversiteyi bitirdikten sonra 2 sene özel sektörde çalıştım. Daha sonra Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı bölümüne kaydımı yaptırdım.