

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİNİN YAPISAL DAVRANIŞ PARAMETRELERİ
ÜZERİNE ETKİSİ**

MÜBERRA ESER AYDEMİR

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. İBRAHİM EKİZ**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİNİN YAPISAL DAVRANIŞ PARAMETRELERİ
ÜZERİNE ETKİSİ

Müberra ESER AYDEMİR tarafından hazırlanan tez çalışması 21.10.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. İbrahim EKİZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. İbrahim EKİZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Kadir GÜLER

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Feridun ÇILI

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Murat Serdar KIRÇIL

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu doktora tezinin hazırlanmasında, beni hem destekleyen ve hem de özgür bırakan hocam sayın Prof. İbrahim EKİZ'e teşekkürü borç bilirim. Tez izleme komitemde yer alan Prof. Zekeriya POLAT'a ve Prof. Dr. Kadir GÜLER'e çalışmaya yapmış olduğu katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemdeki en büyük pay sahipleri olan canım annem ve babam, Melahat ve Mehmet ESER'e ve küçük kardeş olmanın güzelliğini bana hep hissettiren sevgili abim Melih Hasan ESER'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın her anında beni cesaretlendiren ve yanımda olan sevgili eşim Cem AYDEMİR'e minnettarım.

Ağustos, 2011

İnşaat Yük. Müh. Müberra ESER AYDEMİR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xvi
ÖZET	xviii
ABSTRACT	xx
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	3
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Orijinal Katkı.....	5
BÖLÜM 2	
SAHA DAVRANIŞ ANALİZİ	7
2.1 Yöntem.....	10
2.1.1 Frekans Tanım Alanında Analiz	10
2.1.2 Zaman Tanım Alanında Analiz.....	12
2.2 Saha Davranış Analizi Uygulaması - İnceleme Bölgesi	15
2.2.1 İncelenen Bölgede Bulunan Formasyonlar	15
2.2.2 İncelenen Bölgedeki Formasyonlar için Kullanılan Zemin Modelleri..	17
2.3 Çözümlemeler	21
2.4 Saha Davranış Analizi Sonuçları	28
BÖLÜM 3	
YER HAREKETLERİ VE İNCELENEN YAPISAL DAVRANIŞ PARAMETRELERİ	30
3.1 Kullanılan Deprem Kayıtları	30
3.2 İncelenen Yapısal Davranış Parametreleri	36
3.2.1 Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları.....	36
3.2.2 Elastik Olmayan Yerdeğiştirme Oranı (C).....	44
3.2.3 Yerdeğiştirme Sünekliği (μ) Katsayısı	45
BÖLÜM 4	
BİR SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLER İÇİN YAPILAN ÇÖZÜMLEMELER.....	46
4.1 İntegrasyon Yöntemi.....	48

4.2	Çözümleme Sonuçları	52
4.2.1	Ortalama Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları ve Zemin Koşullarının Etkisi	72
4.2.2	Ortalama Elastik Olmayan Yerdeğıştirme Oranları ve Zemin Koşullarının Etkisi	79
4.2.3	Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi	86
BÖLÜM 5		
ÇOK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLER İÇİN YAPILAN ÇÖZÜMLEMELER		91
5.1	Örnek Binalar ve Mesnetlenme Özellikleri	91
5.1.1	Yapısal Sistem Özellikleri	91
5.1.2	Yapısal Sistemlerin Mesnetlenme Özellikleri.....	93
5.2	Yöntem – Artımsal Dinamik Çözümleme	96
5.2.1	Akma Tanımı	97
5.2.2	Çözümleme Platformu	98
5.2.3	Artımsal Dinamik Çözümleme Eğrileri	100
5.3	Artımsal Dinamik Çözümleme Sonuçları.....	100
BÖLÜM 6		
SONUÇ VE ÖNERİLER		116
KAYNAKLAR.....		121
EK-A		
A ZEMİN SINIFINA AİT YER HAREKETLERİ.....		126
EK-B		
B ZEMİN SINIFINA AİT YER HAREKETLERİ.....		132
EK-C		
C ZEMİN SINIFINA AİT YER HAREKETLERİ.....		138
EK-D		
D ZEMİN SINIFINA AİT YER HAREKETLERİ		144
EK-E		
İNCELENEN ÇERÇEVELERİN KOLON KİRİŞ BOYUT VE DONATI DÜZENLERİ		150
EK-F		
ARTIMSAL DİNAMİK ÇÖZÜMLEME EĞRİLERİ		155
ÖZGEÇMİŞ.....		180

SİMGE LİSTESİ

c	Viskoz sönüm katsayısı
C	Etkileşimsiz sistem için elastik olmayan yerdeğiştirme oranı
$\check{C}$	Etkileşimli sistem için elastik olmayan yerdeğiştirme oranı
f_s	Yapıya geçen kuvvet
h	Bina yüksekliği
h / r	Narinlik oranı
g	Yer çekimi ivmesi
G	Kayma modülü
j	Newton-Raphson iterasyonunda adım numarası
k	Rijitlik
m	Kütle
n	Bina kat sayısı
PGA	En büyük yer ivmesi
$\Delta \hat{p}$	Dinamik özellikleri içeren kuvvette Δt zaman aralığında ortaya çıkan değişim
ΔR	Newton-Raphson iterasyonunda artık yük
r	Eşdeğer temel yarıçapı
R	Etkileşimsiz sistem için deprem yükü azaltma katsayısı
$\check{R}$	Etkileşimli sistem için deprem yükü azaltma katsayısı
t	Zaman
T	Etkileşimsiz sistemin doğal titreşim periyodu
$\check{T}$	Etkileşimli sistemin doğal titreşim periyodu
$\check{T} / T$	Periyot uzama oranı
Δt	Doğrusal olmayan dinamik çözümlemede kullanılan zaman aralığı
u	Yer değiştirme
$\dot{u}$	Hız
$\ddot{u}$	İvme
V_s	Kayma dalgası hızı
δ	Kat yatay yer değiştirmesi
B	Newmark yönteminde katsayı
γ	Newmark yönteminde katsayı
μ	Etkileşimsiz sistemde süneklik katsayısı
$\check{\mu}$	Etkileşimli sistemde süneklik katsayısı
ξ	Sönüm oranı

KISALTMA LİSTESİ

ASCE	American Society of Civil Engineers
ATC	Applied Technology Council
BSD	Bir Serbestlik Dereceli Sistem
ÇSD	Çok Serbestlik Dereceli Sistem
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEMA	Federal Emergency Management Agency
IBC	International Building Code
IDA	Incremental Dynamic Analysis
MDOF	Multi Degree of Freedom System
NEHRP	National Earthquake Hazards Reduction Program
PEER	Pacific Earthquake Engineering Research Center
SDOF	Single Degree of Freedom System
USGS	United States Geological Survey

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Saha davranış analizinde kullanılan terminoloji [31]. 8
Şekil 2. 2	Eşdeğer doğrusal model: Çevrimsel gerilme – şekil değiştirme eğrisi [31] 13
Şekil 2. 3	Zeminin kayma şekil değiştirmesine bağlı dinamik özellikleri [31] 13
Şekil 2. 4	Eşdeğer doğrusal analizde kayma modülü ve sönüm oranının kayma şekil değiştirmesine göre iteratif olarak değişimi [31] 14
Şekil 2. 5	Kayma şekil değiştirmesine bağlı sönüm ve kayma modülü azalım eğrileri 21
Şekil 2. 6	Çözümlemelerde kullanılan deprem kayıtları 23
Şekil 2. 7	Zemin profilleri için zemin yüzeyindeki büyütme spektrumları..... 24
Şekil 2. 8	Zemin profillerine ait zemin yüzeyindeki davranış spektrumları ($a_{peak} = 0.04g$) 25
Şekil 2. 9	Zemin profillerine ait zemin yüzeyindeki davranış spektrumları ($a_{peak} =$ $0.2g$)..... 26
Şekil 2. 10	Zemin yüzeyindeki ve en alt tabakadaki Fourier genlik spektrumları ($a_{peak} = 0.04g$) 27
Şekil 2. 11	Zemin yüzeyindeki ve en alt tabakadaki Fourier genlik spektrumları ($a_{peak} = 0.2g$) 28
Şekil 3. 1	Kullanılan deprem kayıtları için büyüklük - faya uzaklık - en büyük yer ivmesi ilişkileri 31
Şekil 3. 2	Deprem yükü azaltma katsayısı, R , yapısal dayanım fazlalığı Ω , ve sünecliğe dayalı deprem yükü azaltma katsayısı, R_{μ} arasındaki ilişkiler [51] 37
Şekil 3. 3	Elghadamsi - Mohraz tarafından önerilen R_{μ} katsayılarının değişimleri [54] 39
Şekil 3. 4	Miranda tarafından önerilen R_{μ} katsayılarının zemin koşullarına göre değişimleri [56]..... 42
Şekil 4. 1	Örnek BSD sistem 46
Şekil 4. 2	Bir serbestlik dereceli sistemlerin çözümlenmesine ait akış diyagramı.. 47
Şekil 4. 3	Tanjant ve sekant rijitlikleri 50
Şekil 4. 4	Sabit ortalama ivme yöntemi 51
Şekil 4. 5	A zemin sınıfında etkileşimsiz durum için ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının sünecliğe göre değişimi 53
Şekil 4. 6	A zemin sınıfında etkileşimli durum için ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir narinlik oranı için sünecliğe göre değişimi 53

Şekil 4. 7	A zemin sınıfında etkileşimli durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi.....	54
Şekil 4. 8	A zemin sınıfında etkileşimli durum için deprem yükü azaltma katsayılarının her bir narinlik oranı için sünekliğe göre değişimi.....	55
Şekil 4. 9	A zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi	56
Şekil 4. 10	A zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi	57
Şekil 4. 11	B zemin sınıfında etkileşimsiz durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının sünekliğe göre değişimi	58
Şekil 4. 12	 B zemin sınıfında etkileşimli durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir narinlik oranı için sünekliğe göre değişimi.....	58
Şekil 4. 13	B zemin sınıfında etkileşimli durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi.....	59
Şekil 4. 14	B zemin sınıfında etkileşimli durum için deprem yükü azaltma katsayılarının her bir narinlik oranı için sünekliğe göre değişimi.....	60
Şekil 4. 15	B zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi	61
Şekil 4. 16	B zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi	62
Şekil 4. 17	C zemin sınıfında etkileşimsiz durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının sünekliğe göre değişimi	63
Şekil 4. 18	C zemin sınıfında etkileşimli durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir narinlik oranı için sünekliğe göre değişimi.....	63
Şekil 4. 19	C zemin sınıfında etkileşimli durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi.....	64
Şekil 4. 20	C zemin sınıfında etkileşimli durum için deprem yükü azaltma katsayılarının her bir narinlik oranı için sünekliğe göre değişimi.....	65
Şekil 4. 21	C zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi	66
Şekil 4. 22	C zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi	67
Şekil 4. 23	D zemin sınıfında etkileşimsiz durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının sünekliğe göre değişimi	68
Şekil 4. 24	D zemin sınıfında etkileşimli durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir narinlik oranı için sünekliğe göre değişimi.....	68
Şekil 4. 25	D zemin sınıfında etkileşimli durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi.....	69
Şekil 4. 26	D zemin sınıfında etkileşimli durum için deprem yükü azaltma katsayılarının her bir narinlik oranı için sünekliğe göre değişimi.....	70

Şekil 4. 27	D zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi	71
Şekil 4. 28	D zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi	72
Şekil 4. 29	Etkileşimli sistemlere ait ortalama deprem yükü azaltma katsayıları	73
Şekil 4. 30	Etkileşimli (sürekli çizgi) ve etkileşimsiz (kesikli çizgi) durumlar için ortalama deprem yükü azaltma katsayılarının zemin sınıflarına göre değişimleri	74
Şekil 4.31	Etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki ortalama deprem yükü azaltma katsayısı oranının zemin sınıflarına göre değişimleri	75
Şekil 4. 32	Zemin yapı etkileşiminin dikkate alınmadığı durumdaki ortalama deprem yükü azaltma katsayılarına ait varyasyon katsayılarının periyoda göre değişimi	76
Şekil 4. 33	Zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı durumdaki ortalama deprem yükü azaltma katsayılarına ait varyasyon katsayılarının periyoda göre değişimi	77
Şekil 4. 34	Ortalama+1 standart sapma ile hesaplanan deprem yükü azaltma katsayıları	78
Şekil 4. 35	üneklik düzeyi 2 ve 4 olması durumu için ortalama, ortalama+1 standart sapma ve ortalama-1 standart sapma ile hesaplanan deprem yükü azaltma katsayıları.....	78
Şekil 4. 36	Etkileşimli duruma ait ortalama deprem yükü azaltma katsayılarının %10 ve %90 güven düzeyleri için aralık tahminleri.....	78
Şekil 4. 37	Etkileşimli (sürekli çizgi) ve etkileşimsiz (kesikli çizgi) durumdaki ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının zemin sınıflarına göre değişimleri	80
Şekil 4. 38	Etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının zemin sınıflarına ve narinlik oranlarına göre değişimleri	81
Şekil 4. 39	Etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme katsayısı oranının zemin sınıflarına göre değişimleri.....	82
Şekil 4. 40	Zemin yapı etkileşiminin dikkate alınmadığı durumdaki ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarına ait varyasyon katsayılarının periyoda göre değişimi	83
Şekil 4. 41	Zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı durumdaki ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarına ait varyasyon katsayılarının periyoda göre değişimi	84
Şekil 4. 42	Ortalama+1 standart sapma ile hesaplanan elastik olmayan yerdeğiştirme oranları.....	85
Şekil 4. 43	Süneklik düzeyi 2 ve 4 olması durumu için ortalama, ortalama+1 standart sapma ve ortalama-1 standart sapma ile hesaplanan elastik olmayan yerdeğiştirme oranları	85
Şekil 4. 44	Etkileşimli duruma ait ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının %10 ve %90 güven düzeyleri için aralık tahminleri	85

Şekil 4. 45	Önerilen (4.29) bağıntısı ile bulunan sonuçların gerçek sonuçlarla karşılaştırılması.....	88
Şekil 4. 46	(4.29) bağıntısının etkileşimsiz sistemler için yeniden düzenlenmesi ile bulunan sonuçların, gerçek sonuçlarla karşılaştırılması.....	89
Şekil 4. 47	Önerilen (4.30) bağıntısı ile bulunan sonuçların gerçek sonuçlarla karşılaştırılması.....	90
Şekil 5. 1	Tipik kat planı.	92
Şekil 5. 2	A–A ve 1–1 eksenlerine ait düzlem çerçeveler.	92
Şekil 5. 3	Elemanın yerdeğiştirme ve dönmeleri [75].....	98
Şekil 5. 4	Tipik betonarme kesitin liflere ayrılması [75]	99
Şekil 5. 5	Eleman boyunca tipik betonarme kesitin gösterimi [75].....	99
Şekil 5. 6	A zemin sınıfında farklı narinlik oranları için etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar.....	101
Şekil 5. 7	Her bir narinlik oranı ve B zemin sınıfı için etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar	105
Şekil 5. 8	Her bir narinlik oranı ve C zemin sınıfı için etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar	106
Şekil 5. 9	Her bir narinlik oranı ve D zemin sınıfı için etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar	107
Şekil 5. 10	Zemin sınıflarına göre etkileşimli durumdaki ortalama deprem yükü azaltma katsayılarının narinlik oranlarına göre değişimi	107
Şekil 5. 11	Zemin sınıflarına göre tüm narinlik oranları dikkate alınarak bulunan etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar	108
Şekil 5. 12	Tüm zemin sınıfları ve narinlik oranları göz önüne alınarak etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar	108
Şekil 5. 13	Zemin sınıflarına göre etkileşimli ve etkileşimsiz durumlar için bulunan deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının periyoda göre değişimi	109
Şekil 5. 14	Zemin sınıflarına göre etkileşimli ve etkileşimsiz durumlar için akma anındaki taban kesme kuvveti / yapı ağırlığının periyoda göre değişimi	110
Şekil 5. 15	A zemin sınıfı için, tasarımda kullanılan ve etkileşimli durum için bulunan deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının periyoda göre değişimi	110
Şekil 5. 16	B zemin sınıfı için, tasarımda kullanılan ve etkileşimli durum için bulunan deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının periyoda göre değişimi	111
Şekil 5. 17	C zemin sınıfı için, tasarımda kullanılan ve etkileşimli durum için bulunan deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının periyoda göre değişimi	111
Şekil 5. 18	D zemin sınıfı için, tasarımda kullanılan ve etkileşimli durum için bulunan deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının periyoda göre değişimi	111
Şekil 5. 19	Tüm zemin sınıfları için tasarımda kullanılan ve etkileşimli durum için bulunan deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının periyoda göre değişimi	112
Şekil 5. 20	A zemin sınıfı için elastik olmayan yerdeğiştirme oranları.....	112
Şekil 5. 21	B zemin sınıfı için elastik olmayan yerdeğiştirme oranları.....	113
Şekil 5. 22	C zemin sınıfı için elastik olmayan yerdeğiştirme oranları.....	113
Şekil 5. 23	D zemin sınıfı için elastik olmayan yerdeğiştirme oranları	113
Şekil 5. 24	A zemin sınıfı için süneklik kapasiteleri	114

Şekil 5. 25	B zemin sınıfı için süneklik kapasiteleri	114
Şekil 5. 26	C zemin sınıfı için süneklik kapasiteleri	115
Şekil 5. 27	D zemin sınıfı için süneklik kapasiteleri	115
Şekil EK-A. 1	Yer hareketi 1 (A-CYC195)	126
Şekil EK-A. 2	Yer hareketi 2 (A-CYC285)	126
Şekil EK-A. 3	Yer hareketi 3 (A-GBZ000)	127
Şekil EK-A. 4	Yer hareketi 4 (A-GBZ270)	127
Şekil EK-A. 5	Yer hareketi 5 (A-L09000)	127
Şekil EK-A. 6	Yer hareketi 6 (A-L09090)	128
Şekil EK-A. 7	Yer hareketi 7 (A-MCH000)	128
Şekil EK-A. 8	Yer hareketi 8 (A-MCH090)	128
Şekil EK-A. 9	Yer hareketi 9 (A-MTW000)	129
Şekil EK-A. 10	Yer hareketi 10 (A-MTW090)	129
Şekil EK-A. 11	Yer hareketi 11 (A-PHT270)	129
Şekil EK-A. 12	Yer hareketi 12 (A-PHT360)	130
Şekil EK-A. 13	Yer hareketi 13 (A-SAN090)	130
Şekil EK-A. 14	Yer hareketi 14 (A-SAN180)	130
Şekil EK-A. 15	Yer hareketi 15 (A-WWJ090)	131
Şekil EK-A. 16	Yer hareketi 16 (A-WWJ180)	131
Şekil EK-B. 1	Yer hareketi 1 (B-AND270)	132
Şekil EK-B. 2	Yer hareketi 2 (B-AND360)	132
Şekil EK-B. 3	Yer hareketi 3 (B-ARC000)	133
Şekil EK-B. 4	Yer hareketi 4 (B-ARC090)	133
Şekil EK-B. 5	Yer hareketi 5 (B-CCN090)	133
Şekil EK-B. 6	Yer hareketi 6 (B-CCN360)	134
Şekil EK-B. 7	Yer hareketi 7 (B-GGB270)	134
Şekil EK-B. 8	Yer hareketi 8 (B-GGB360)	134
Şekil EK-B. 9	Yer hareketi 9 (B-ORR090)	135
Şekil EK-B. 10	Yer hareketi 10 (B-ORR360)	135
Şekil EK-B. 11	Yer hareketi 11 (B-UCL090)	135
Şekil EK-B. 12	Yer hareketi 12 (B-UCL360)	136
Şekil EK-B. 13	Yer hareketi 13 (B-UNI005)	136
Şekil EK-B. 14	Yer hareketi 14 (B-UNI095)	136
Şekil EK-B. 15	Yer hareketi 15 (B-1061E)	137
Şekil EK-B. 16	Yer hareketi 16 (B-1061N)	137
Şekil EK-C. 1	Yer hareketi 1 (C-BIR090)	138
Şekil EK-C. 2	Yer hareketi 2 (C-BIR180)	138
Şekil EK-C. 3	Yer hareketi 3 (C-BOL000)	139
Şekil EK-C. 4	Yer hareketi 4 (C-BOL090)	139
Şekil EK-C. 5	Yer hareketi 5 (C-CEN155)	139
Şekil EK-C. 6	Yer hareketi 6 (C-CEN245)	140
Şekil EK-C. 7	Yer hareketi 7 (C-CHI012)	140
Şekil EK-C. 8	Yer hareketi 8 (C-CHI282)	140
Şekil EK-C. 9	Yer hareketi 9 (C-DLT262)	141
Şekil EK-C. 10	Yer hareketi 10 (C-DLT352)	141
Şekil EK-C. 11	Yer hareketi 11 (C-G04000)	141
Şekil EK-C. 12	Yer hareketi 12 (C-G04090)	142

Şekil EK-C. 13	Yer hareketi 13 (C-HSP000)	142
Şekil EK-C. 14	Yer hareketi 14 (C-HSP090)	142
Şekil EK-C. 15	Yer hareketi 15 (C-YER270)	143
Şekil EK-C. 16	Yer hareketi 16 (C-YER360)	143
Şekil EK-D. 1	Yer hareketi 1 (D-A01040)	144
Şekil EK-D. 2	Yer hareketi 2 (D-A01310)	144
Şekil EK-D. 3	Yer hareketi 3 (D-A02043)	145
Şekil EK-D. 4	Yer hareketi 4 (D-A02133)	145
Şekil EK-D. 5	Yer hareketi 5 (D-ATS000)	145
Şekil EK-D. 6	Yer hareketi 6 (D-ATS030)	146
Şekil EK-D. 7	Yer hareketi 7 (D-ATS090)	146
Şekil EK-D. 8	Yer hareketi 8 (D-ATS300)	146
Şekil EK-D. 9	Yer hareketi 9 (D-BLF206)	147
Şekil EK-D. 10	Yer hareketi 10 (D-BLF296)	147
Şekil EK-D. 11	Yer hareketi 11 (D-KAK000)	147
Şekil EK-D. 12	Yer hareketi 12 (D-KAK090)	148
Şekil EK-D. 13	Yer hareketi 13 (D-TRI000)	148
Şekil EK-D. 14	Yer hareketi 14 (D-TRI090)	148
Şekil EK-D. 15	Yer hareketi 15 (D-WLF225)	149
Şekil EK-D. 16	Yer hareketi 16 (D-WLF315)	149
Şekil EK-F. 1	Etkileşimsiz durum için 1 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	155
Şekil EK-F. 2	Etkileşimli durum için 1 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	156
Şekil EK-F. 3	Etkileşimsiz durum için 3 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	156
Şekil EK-F. 4	Etkileşimli durum için 3 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	157
Şekil EK-F. 5	Etkileşimsiz durum için 6 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	157
Şekil EK-F. 6	Etkileşimli durum için 6 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	158
Şekil EK-F. 7	Etkileşimsiz durum için 9 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	158
Şekil EK-F. 8	Etkileşimli durum için 9 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	159
Şekil EK-F. 9	Etkileşimsiz durum için 12 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	159
Şekil EK-F. 10	Etkileşimli durum için 12 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	160
Şekil EK-F. 11	Etkileşimsiz durum için 15 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	160
Şekil EK-F. 12	Etkileşimli durum için 15 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	161
Şekil EK-F. 13	Etkileşimsiz durum için 1 katlı binada B zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	161

[illegible]

Şekil EK-F. 37	Etkileşimsiz durum için 1 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	173
Şekil EK-F. 38	Etkileşimli durum için 1 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	174
Şekil EK-F. 39	Etkileşimsiz durum için 3 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	174
Şekil EK-F. 40	Etkileşimli durum için 3 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	175
Şekil EK-F. 41	Etkileşimsiz durum için 6 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	175
Şekil EK-F. 42	Etkileşimli durum için 6 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	176
Şekil EK-F. 43	Etkileşimsiz durum için 9 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	176
Şekil EK-F. 44	Etkileşimli durum için 9 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	177
Şekil EK-F. 45	Etkileşimsiz durum için 12 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	177
Şekil EK-F. 46	Etkileşimli durum için 12 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	178
Şekil EK-F. 47	Etkileşimsiz durum için 15 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	178
Şekil EK-F. 48	Etkileşimli durum için 15 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri	179

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Küçükçekmece bölgesi için formasyon özellikleri..... 17
Çizelge 2. 2	Küçükçekmece bölgesi için çözümlemelerde kullanılan zemin profilleri 18
Çizelge 2. 3	Kayma modülü ve sönüm oranının kayma şekil değiştirmesine göre değişimi 19
Çizelge 2. 4	Çözümlemelerde kullanılan deprem kayıtları..... 22
Çizelge 2. 5	Zemin profilleri için zemin yüzeyindeki en büyük büyütme değerleri . 26
Çizelge 3. 1	Kullanılan deprem kayıtları ve özellikleri 32
Çizelge 3. 1	Kullanılan deprem kayıtları ve özellikleri (devamı)..... 33
Çizelge 3. 1	Kullanılan deprem kayıtları ve özellikleri (devamı)..... 34
Çizelge 3. 1	Kullanılan deprem kayıtları ve özellikleri (devamı)..... 35
Çizelge 3. 2	Nassar ve Krawinkler'e göre deprem yükü azaltma katsayısını belirlemeye yönelik a ve b parametreleri 40
Çizelge 3. 3	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)..... 43
Çizelge 4. 1	(4.29) bağıntısındaki katsayılar 86
Çizelge 4. 2	(4.30) bağıntısındaki katsayılar 87
Çizelge 5. 1	Zemin yapı etkileşiminde kullanılan yay ve sönüm elemanlarına ait değerler [71] 93
Çizelge EK-E. 1	1 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni 150
Çizelge EK-E. 2	1 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni..... 150
Çizelge EK-E. 3	3 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat)..... 150
Çizelge EK-E. 4	3 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat) 150
Çizelge EK-E. 5	6 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat)..... 150
Çizelge EK-E. 6	6 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat) 151
Çizelge EK-E. 7	6 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat) 151
Çizelge EK-E. 8	6 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat) . 151
Çizelge EK-E. 9	9 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat)..... 151
Çizelge EK-E. 10	9 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat) 151

Çizelge EK-E. 11	9 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (6, 7. ve 8. kat)	1518
Çizelge EK-E. 12	9 katlı örnek bina için giriş boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat)	151
Çizelge EK-E. 13	9 katlı örnek bina için giriş boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat)	151
Çizelge EK-E. 14	9 katlı örnek bina için giriş boyut ve donatı düzeni (6, 7. ve 8. kat)	152
Çizelge EK-E. 15	12 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2.kat)	152
Çizelge EK-E. 16	12 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat)	152
Çizelge EK-E. 17	12 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (6, 7. ve 8. kat)	152
Çizelge EK-E. 18	12 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (9, 10. ve 11. kat)	152
Çizelge EK-E. 19	12 katlı örnek bina için giriş boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. k)	152
Çizelge EK-E. 20	12 katlı örnek bina için giriş boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat)	152
Çizelge EK-E. 21	12 katlı örnek bina için giriş boyut ve donatı düzeni (6, 7. ve 8. kat)	152
Çizelge EK-E. 22	12 katlı örnek bina için giriş boyut ve donatı düzeni (9, 10. ve 11. kat)	153
Çizelge EK-E. 23	15 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat)	153
Çizelge EK-E. 24	15 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat)	153
Çizelge EK-E. 25	15 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (6, 7. ve 8. kat)	153
Çizelge EK-E. 26	15 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (9, 10. ve 11. kat)	153
Çizelge EK-E. 27	15 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (12, 13. ve 14. kat)	153
Çizelge EK-E. 28	15 katlı örnek bina için giriş boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat)	153
Çizelge EK-E. 29	15 katlı örnek bina için giriş boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat)	153
Çizelge EK-E. 30	15 katlı örnek bina için giriş boyut ve donatı düzeni (6, 7. ve 8. kat)	154
Çizelge EK-E. 31	15 katlı örnek bina için giriş boyut ve donatı düzeni (9, 10. ve 11. kat)	154
Çizelge EK-E. 32	15 katlı örnek bina için giriş boyut ve donatı düzeni (12, 13. ve 14. kat)	154

ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİNİN YAPISAL DAVRANIŞ PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Müberra ESER AYDEMİR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. İbrahim EKİZ

Bu çalışmada, zemin ile yapı arasındaki dinamik etkileşimin, bir serbestlik dereceli ve çok serbestlik dereceli sistemlerin deprem davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı zemin sınıflarında kaydedilmiş 64 deprem kaydı kullanılarak yapılan analizler, zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için tekrarlanmıştır. Zemin yapı etkileşiminin, yapısal davranış parametreleri üzerine etkilerinin incelendiği bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, konu ve konuyla ilgili yaklaşık ve gerçekçi yöntemler tanıtılmış ve daha sonra çalışmanın amacı ve kapsamı açıklanmıştır.

İkinci bölümde öncelikle zemin yapı dinamik etkileşiminin ilk adımı olan saha davranış analizi ayrıntılı bir şekilde açıklanmış ve örnek bir inceleme bölgesi için analizler yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, çözümlemelerde kullanılan deprem kayıtları ve genel özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, incelenen yapısal davranış parametreleri anlatılmış ve bu parametrelerle ilgili literatürde yer alan çalışmalara değinilmiştir.

Dördüncü bölümde, periyotları (T) 0.1 ~ 3.0 s ile süneklik istemleri (μ) 2 ~ 6 arasında değişen bir serbestlik dereceli sistemler (BSD), zemin yapı etkileşiminin göz önüne alındığı ve alınmadığı durumlar için, doğrusal olmayan zaman tanım alanında çözümlemeye tabi tutulmuştur. Çözümlemeler, hazırlanan bir bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır. Zemin yapı etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda, narinlik oranının (h/r) 1 ~ 5 arasındaki değerleri için çözümler tekrarlanmıştır. Çözümlemeler sonucunda bulunan sonuçlar istatistiksel değerlendirmeye tabi tutularak, zemin yapı etkileşiminin göz önüne alındığı durumdaki deprem yükü azaltma katsayısı ve elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının tahmini için yeni bağıntılar türetilmiştir.

Beşinci bölümde ise, çok serbestlik dereceli sistemleri (ÇSD) temsil eden ve çeşitli narinlik oranlarına sahip örnek betonarme düzlem çerçeveler tanıtılmış ve etkileşimin

dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için artımsal dinamik analiz yöntemi ile çözümlmeler yapılmıştır. Ayrıca artımsal dinamik analiz yöntemi ve çözümlmelerde kullanılan yapısal analiz programı ile ilgili bilgi verilmiştir. Çözümlmeler sonucunda, çok serbestlik dereceli sistemlere ait yapısal davranış parametreleri (deprem yükü azaltma katsayısı, elastik olmayan yerdeğiştirme oranları gibi) hesaplanarak, zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlardaki sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Altıncı bölümde ise, bu çalışma kapsamında bulunan sonuçlar özetlenmeye çalışılmış ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Zemin yapı etkileşimi, Artımsal dinamik çözümleme, Deprem yükü azaltma katsayısı, Elastik olmayan yerdeğiştirme oranı

Soil Structure Interaction Effects on Structural Behaviour Parameters

Müberra ESER AYDEMİR

Department of Civil Engineering
PhD. Thesis

Advisor: Prof. İbrahim EKİZ

The current seismic design methodologies assume that soils on which buildings located are composed of non-deforming rigid layers. As a result of this assumption, buildings are considered as fixed-base systems, whereas seismic waves are considered as lateral movements not affected by structural actuality. This assumption is only valid for neglectible levels of soil structure dynamic interaction. However, in case of effective soil structure interaction, soil affects structural response, for example, soil beneath the structure changes earthquake motion of bedrock. Dynamic properties of structures such as, structural period or vibration modes undergo variations due to motion of soil. Besides, vibration energy of structure is absorbed because of damping in soil and non-returning wave propagation and different settlements can occur in structural system. Current seismic provisions allow the seismic design of building structures to be based on static or dynamic analyses of damped, elastic models of the structure. The seismic base shear force is prescribed in terms of elastic design base shear obtained from elastic design spectra divided by strength reduction factor. In seismic codes, strength reduction factors are given based on structural system and structural material not considering soil structure interaction. But, it is necessary to consider soil structure interaction phenomenon for strength reduction factors depending on soil structure interaction is effective in both inelastic and elastic structural behavior. Also, effects on inelastic displacement ratio which is defined as the ratio of peak inelastic displacement to peak elastic displacement for a system with same damping ratio and period of vibration should be investigated.

This study, focusing on soil structure interaction effects on structural response parameters is composed of six chapters. In first chapter, the subject and realistic and approximate methods related to subject are introduced and the object of the thesis is explained. In second chapter, site response analysis is conducted for an investigation area as the first step of soil structure interaction analysis. In third chapter, single-

degree of freedom (SDOF) systems with period range of 0.1-3.0 s and five levels of ductility ($\mu = 2, 3, 4, 5, 6$) with elastoplastic behavior are analyzed in time domain for 64 earthquake ground motions with the aid of an in-house computer program. Based on analyses results, two new equations are proposed for strength reduction factor and inelastic displacement ratio of interacting case. In fourth chapter, some sample plane RC frames with varying number of storeys to represent multi-degree of freedom (MDOF) systems are designed and detailed according to Turkish Seismic Design Code (2007) and incremental dynamic analysis are performed. Within the results of analyses, structural parameters such as strength reduction factors, inelastic displacement ratios are calculated and compared to eachother for cases with and without soil structure interaction. In the last chapter, the conclusions of the study are summarized.

Key words: Soil structure interaction, Incremental dynamic analysis, Strength reduction factor, Inelastic displacement ratio

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde deprem hesabı için uygulanmakta olan geleneksel yöntemler, yapının oturduğu zeminin şekil değiştirmeyen rijit bir ortam olduğu varsayımına dayanır. Bu varsayımın sonucu olarak yapı, temelinden zemine rijit bağlı bir sistem; deprem verisi olan yer hareketi de yapının varlığından etkilenmeyen yatay bir rijit öteleme olarak göz önüne alınır. Ancak söz konusu varsayım, zemin ile yapı arasındaki dinamik etkileşimin ihmal edilebilir seviyede olduğu durumlar için geçerlidir.

Birçok depremde zemin koşullarının yapısal hasara etkisinin gözlenmesi, ayrıca yumuşak zeminlerde alınan deprem kayıtlarının sağlam zeminlerdekilere kıyasla değişik özellikler göstermesi, üstyapı gözönüne alınmaksızın, oldukça uzun bir süre boyunca “zeminin üstyapıya etkisi” olarak açıklanmıştır. Daha sonraları ise birçok depremde yapılan gözlemler, üstyapı temeli üzerinde ve zemin yüzeyinde temelden fazla uzakta olmayan bir noktada aynı anda alınan kayıtlar arasında önemli değişiklikler bulunduğunu göstermiştir. Bu değişiklikler, depremin üstyapıya etkisinin karşılığı olarak üstyapının da zemini ve dolayısıyla deprem kaydını etkilediğini kanıtlamaktadır. Yapılan teorik ve denysel çalışmalar, zeminde ve deprem kaydında üstyapının oluşturduğu karşı etkilerin, zemin ve depremin özellikleri yanında üstyapının dinamik özelliklerine de bağlı olduğunu ortaya koymuştur [1].

Deprem yükleri altında, zemin ile yapı arasındaki dinamik etkileşim dikkate alınarak yapılan hesaplarda, şekil değiştiren zemin ortamı yapının davranışına eylemsizlik yönünden etkide bulunurken, yapı da zemini hem kinematik, hem de dinamik bakımdan etkilemektedir. Böylece yapının var olmadığı durumda, yalnızca zeminin kendi içindeki dinamik davranışının bir sonucu olan deprem verisi, artık yapının da varlığından etkilenen daha karmaşık bir yer hareketi niteliğini kazanmaktadır. Özellikle,

nükleer güç santralleri, yüksek binalar, barajlar, açık deniz petrol platformları, asma köprüler, viyadükler gibi rijit ve masif yapıların deprem hesabında, zeminin şekil değiştiren ve yapının davranışına eylemsizlik yönünden etkide bulunan bir dinamik sistem olarak ele alınması zorunlu olmaktadır [2].

Bir bölgedeki yapının deprem davranışının ayrıntılı değerlendirilmesinde; zemin yapı sisteminin dinamik özelliklerinin anlaşılması gereklidir. Zemin, yapının davranışını değişik şekillerde etkileyebilir. Yapının altındaki zemin, ana kayadaki deprem etkisini değiştirerek yapıya aktarır. Bu durum özellikle dolgu türü zeminlerde deprem etkisinin büyümesine neden olur. Zeminin de hareketi ile, yapının periyot ve mod şekilleri gibi dinamik özelliklerinde değişiklikler meydana gelebilir. Yapıya giren enerjinin önemli bir kısmı; zemine mesnetlenmenin rijit olmaması, zemindeki sönüm ve zeminde geri dönmeyen yayılma gibi nedenlerden dolayı sönümlenir. Yapının üzerinde bulunduğu zeminin etkisiyle deprem sırasında taşıyıcı sistemde farklı oturmalar meydana gelebilir. Genellikle zemin ile yapı arasındaki etkileşim, yukarıda bahsedilen olguların incelenmesi olarak ele alınır. Bu durumda, yapının davranışı kısmî olarak zeminden ve benzer şekilde zeminin davranışı da yapının varlığından etkilenir. Benzer şekilde, yer hareketi de zemin ile yapı arasındaki etkileşim nedeni ile değişikliğe uğrar. Deprem sırasında yapının tabanında meydana gelen hareketle, aynı yerde yapı bulunmadığında meydana gelecek olan serbest yüzey hareketi arasında fark ortaya çıkar.

Yapının davranışının incelenmesinde en doğru yol, deprem hareketinin ana kayaya uygulanması ve bu hareketin zemin yüzeyinde ve yapıda meydana getireceği etkilerin belirlenmesidir. Ancak, yer hareketi için elde edilen bilgilerin ve kayıtların ana kayaya ait olmayıp, yeryüzü ölçümlerinden elde edildiği düşünülürse bunun gerçekçi olmadığı ortaya çıkar. Bunun yerine yapının temelinde yay ve sönüm dikkate alarak, deprem hareketinin yüzeyden etkidiğini kabul etmek daha uygun olur. Diğer bir yol da, zeminin dinamik karakteristiklerinin önceden belirlenip, zeminin ve yapının davranışının beraberce incelenmesidir. Zeminin dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde, zemin rijitliğini, sönümünü ve yarı sonsuz zemin ortamında yüzeyden yansıyan dalganın geri dönmeyecek şekilde yayılmasını göz önüne alan çeşitli yaklaşıklıkta modeller geliştirilebilir. Bu modeller; yapının temelinde eşdeğer elastik yay ve sönümle modelleme, zeminin düşey doğrultuda elastik yay ve sönümün bir araya gelmesinden oluşan kayma kirişi şeklinde modellenmesi, yapının elastik veya viskoelastik yarı sonsuz

ortamda mesnetlenmiş olarak modellenmesi ve zeminin iki veya üç boyutlu sonlu elemanlarla modellenmesi olarak sıralanabilir [3].

1.1 Literatür Özeti

Zemin yapı dinamik etkileşimi ile ilgili bilinen en eski çalışma 1960'lı yılların ortasına dayanmakla birlikte [4], günümüze kadar bu konuda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan genel çözüm yöntemleri ortak sistem (doğrudan çözüm) yaklaşımı ve altsistem yaklaşımı olmak üzere ikiye ayrılabilir.

Ortak sistem yaklaşımında, zemin ortamı üstyapı sisteminin bir uzantısı gibi düşünülür ve elde edilen ortak sistem, zemin tabanında yani taban kayasında belirlenen deprem verisine göre hesaplanır. Çoğunlukla zemin sonlu elemanlarla ve üstyapı da çubuk elemanlarla modellenir. Süperpozisyon yapılması gerekmediği için, doğrusal olmayan analizler mümkündür. Bununla birlikte; doğrusal olmayan analizlerden elde edilen sonuçlar, zemine bağlı olan ve yeterli hassaslıkta tanımlanmamış parametrelere oldukça duyarlı olabilir. Bunun için, zeminin doğrusal olmama durumunun etkilerini de dikkate alan eşdeğer doğrusal yöntemler kullanan, doğrudan zemin yapı etkileşimi analizleri daha çok uygulanmaktadır. Ortak sistem yaklaşımının zemin yapı dinamik etkileşimi problemlerinin çözümünde kullanılması, altsistem yaklaşımı ile eş zamanlıdır. Pek çok yapı mühendisinin bu yöntemi kullanmasındaki etkenlerden bazıları, zemindeki geometrik süreksizlikler, mekanik özelliklerin değişimi ve temelin zemine gömülü olması durumunun bu yöntemde kolaylıkla göz önüne alınabilmesinden kaynaklanmaktadır. Ortak sistem yaklaşımı kullanılan ilk çalışma Wilson tarafından yürütülmüş olup [5], daha sonraları başka pek çok çalışma yapılmıştır [6, 7, 8, 9].

Altsistem yaklaşımı, ortak sistem içinde zemin ortamının ayrık ya da sürekli bir altsistem olarak göz önüne alınması esasına dayanır. Zemin ortamının bağımsız bir sistem olarak incelenmesi ile yapı-zemin arakesitindeki serbestlik dereceleri cinsinden elde edilen zemin dinamik rijitlik matrisi ve etkin yük vektörü, daha sonra yapının dinamik dengesinde göz önüne alınır [2].

Zemin idealleştirilmesi açısından, Altsistem Yaklaşımının Ortak Sistem Yaklaşımına orana en önemli üstünlüğü, ayrık sistemler yanında sürekli sistemlerin de zemin modeli olarak kullanılabilmesi olanağıdır. Parmelee'nin öncü çalışması ile başlayarak [10], Altsistem Yaklaşımının kullanıldığı birçok çalışmada sürekli ortam modeli kullanılmıştır.

Bu nedenle Altsistem Yaklaşımı yerine Sürekli Ortam Yaklaşımı veya Yarı Sonsuz Ortam Yaklaşımı gibi deyimler kullanılmıştır. Altsistem yaklaşımı, sürekli ortam çözümlerinin öneminden dolayı, pekçok bilim adamı tarafından araştırma konusu olmuştur [11, 12, 13]. Ayırık zemin modelinin Altsistem Yaklaşımı içinde kullanılması ise Vaish ve Chopra'nın çalışması ile başlamıştır [14]. Daha sonraki yıllarda yapılan bir başka çalışmada, ikinci mertebeden lineer olmayan şekil değiştirmelerin, üstyapının bulunmadığı durumlarda zeminin kendi içindeki titreşiminden oluşan birinci mertebeden lineer olmayan şekil değiştirmeler yanında terkedilebileceği belirlenmiştir [15]. Böylece Üç Adım Yönteminin [16] günümüzdeki uygulamasıyla lineer olmayan hesap şu şekilde yapılmaktadır. Birinci adımda, yapının ve temelin kütlesiz olması durumunda temelde meydana gelecek olan etkin yer hareketini bulunur. Bu hareket temelin ve zeminin geometrisine ve rijitliğine bağlıdır. Atalet etkileri ihmal edildiğinde, girdi hareketi sadece kinematik etkileşimi temsil eder. İkinci adımda, rijit temelin rijitlik matrisinin elemanları bulunur. Üçüncü adımda ise, ikinci adımda bulunan direnç fonksiyonları ile temsil edilen bir temele oturan yapısal sistemin, birinci adımda bulunan etkin yer hareketi etkisinde dinamik analizi yapılır [2].

Pek çok araştırmacının, zaman tanım alanında zemin yapı dinamik etkileşimi analizi için sınırsız zemin ortamını modellemek amacıyla geliştirdikleri modeller, daha önce geliştirilmiş [17] koni modeline dayanmaktadır. Bu model, daha sonraları burulma hareketi ve ortam süreksizlikleri de dikkate alınarak geliştirilmiştir [18, 19]. Literatürde bu modele dayanan başka pek çok çalışma mevcuttur.

Son yıllarda; deprem etkisi altında zemin yapı etkileşiminin, yapının elastik olmayan davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla bazı çalışmalar yapılmıştır [20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, zemin ile yapı arasındaki dinamik etkileşimin, bir serbestlik dereceli ve çok serbestlik dereceli sistemlerin deprem davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı zemin sınıflarında kaydedilmiş deprem kayıtları kullanılarak yapılan analizler, zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için tekrarlanmıştır.

Analizlerde gözlenen yapısal davranış parametreleri şu şekilde sıralanabilir:

- Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları (R)
- Elastik Olmayan Yerdeğıştirme Oranı (C)
- Yerdeğıştirme Sünekliğı Katsayısı (μ)

Analizlerde gözlenen yapısal davranış parametreleri hakkında açıklamalar, çalışmanın üçüncü bölümünde verilmiştir.

Bir serbestlik dereceli sistemlerin doğrusal olmayan dinamik çözümleme ile deprem davranışının incelendiğı analizlerde, elasto-plastik davranış modeli kullanılmıştır. Analizlerde göz önüne yapısal değışkenler ise aşağıda verilmiştir.

- Periyot ($T = 0.1 \text{ s} \sim 3.0 \text{ s}$)
- Hedef yerdeğıştirme sünekliğı ($\mu = 2 \sim 6$)
- Narinlik oranı ($h/r = 1 \sim 5$)

Taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerden oluşan çok serbestlik dereceli örnek sistemlerin, artımsal dinamik çözümleme yöntemi ile deprem davranışının incelendiğı analizlerde, yapısal değışkenler değışkenler şu şekilde sıralanabilir.

- Kat sayısı (1, 3, 6, 9, 12 ve 15)
- Periyot ($T = 0.23 \text{ s}, 0.55 \text{ s}, 0.89 \text{ s}, 1.23 \text{ s}, 1.57 \text{ s}, 1.92 \text{ s}$)
- Narinlik oranı ($h/r = 1/3, 1, 2, 3, 4, 5$)

1.3 Orijinal Katkı

Çalışmanın ikinci bölümde yapılan saha davranış çözümlemeleri sonucunda, göz önüne alınan zemin profilleri için elde edilen en büyük zemin büyütme değeri 5.4, etkili zemin büyütme değerlerine karşı gelen periyotlar ise $T_1 = 0.48$ ve $T_2 = 0.16 \text{ s}$ olarak bulunmuş olup, söz konusu bölgede, doğal titreşim periyodu T_1 ve T_2 'ye yakın binalar için tehlike söz konusudur.

Çalışmanın dördüncü bölümde, bir serbestlik dereceli sistemler (BSD), zemin yapı etkileşiminin göz önüne alındığı ve alınmadığı durumlar için, doğrusal olmayan zaman tanım alanında çözümlemeye tabi tutulmuştur. Çözümlemeler sonucunda bulunan sonuçlar istatistiksel değışlendirmeye tabi tutularak, zemin yapı etkileşiminin göz önüne alındığı durumdaki deprem yüğü azaltma katsayısı ve elastik olmayan yerdeğıştirme oranlarının tahmini için yeni bağıntılar türetilmiştir. Sözü edilen

bağıntılar zemin yapı etkileşiminin yapısal davranış üzerindeki etkilerinin ihmal edilebilecek düzeyde olması durumunda da kullanılabilir.

Çalışmanın beşinci bölümde ise, çok serbestlik dereceli sistemleri temsil eden yükdek süneklikli örnek betonarme düzlem çerçevelerin artımsal dinamik analiz yöntemi ile doğrusal olmayan çözümlemeleri yapılmıştır. Çözümlemeler sonucunda, çok serbestlik dereceli sistemlere ait yapısal davranış parametreleri (deprem yükü azaltma katsayısı, elastik olmayan yerdeğiştirme oranları gibi) hesaplanarak, zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlardaki sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda, etkileşimli durumda deprem yükü azaltma katsayılarının azaldığı belirlenmiştir. Bu belirleme ışığında, yapısal tasarımda etkileşimsiz durum için kabul edilen deprem yükü azaltma katsayılarının kullanılmasının, daha küçük bir taban kesme kuvvetine göre tasarıma yol açacağından, güvenli olmayan tarafta kalacağı söylenebilir.

BÖLÜM 2

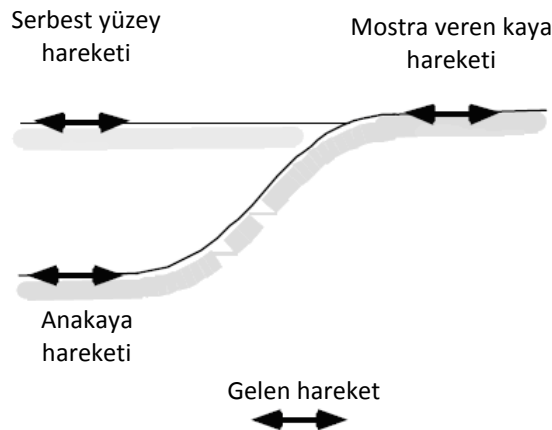
SAHA DAVRANIŞ ANALİZİ

Zemin yapı dinamik etkileşiminin ilk adımı, saha davranış analizidir (*site response analysis*). Saha davranış analizi problemi, fiziksel olarak, zemin profilinin özel bir noktasında -serbest yer yüzeyinde ya da herhangi bir zemin tabakasının üstünde- yer hareketi nedeniyle meydana gelecek tepkinin bulunması esasına; matematiksel olarak ise, sürekli bir ortamda dalga yayılımına dayanır. Üç boyutlu dalga yayılımı analizinde zeminin doğrusal olmayan davranışını modellemek oldukça zordur. Bununla birlikte, birçok durumda zemin tabakasının davranışı için bir ya da iki boyutlu dalga yayılımı modeli yeterli yaklaşıklıkta kullanılabilir. Özellikle, eğer sismik hareketin tek bir bileşeni göz önüne alınıyorsa, problem bir boyutlu dalga yayılımı hareketine karşı gelir. Bir boyutlu dalga yayılımı problemini çözecek birçok bilgisayar yazılımı mevcut olup, genellikle bu yazılımlar, dalganın düşey olarak yayıldığı esasına dayanır [28]. Belirli bir sahadaki deprem hareketinin karakterini etkileyen birçok faktör mevcut olup, bunlar deprem kaynağının mekanizması, deprem kaynağının sahaya olan uzaklığı ve jeolojik karakteri ile sahadaki yerel zemin koşulları olarak sıralanabilir. Deprem kaynağı mekanizmasının ve jeolojinin deprem dalgaları üzerine etkisi sismolojinin önemli bir alanıdır. Yerel zemin koşullarının yer hareketi üzerine etkisi ise, hem sismoloji hem de geoteknik mühendisliğinin konusudur.

Zemin parametrelerinin ve jeolojik koşulların yer hareketinin büyümesi üzerine önemli etkileri mevcuttur. Bu etkenler, anakaya üzerindeki zemin tabakalarının derinlikleri, zemin cinsinin ve özelliklerinin derinlikle değişimi, yatay düzensizlik ve sahadaki yüzey topografyasıdır [29]. Kaynaktan yayılan deprem dalgaları yer yüzeyine yaklaştıkça, yerel zemin koşullarındaki farklılıklar nedeni ile önemli değişikliklere uğrarlar. Bunun en

önemli kanıtı, yeryüzünde birbirine yakın bölgeler arasında gözlenen hasar derecelerindeki önemli farklılıklardır. Aynı bölge içinde farklı zemin koşulları üzerinde kurulu yerleşim alanlarında hasar derecelerinin önemli miktarda değişiklikler göstermesi, araştırmacıları yerel zemin koşullarının deprem dalgaları üzerindeki etkisini araştırmaya yöneltmiştir. Genel olarak gözlenen, genç sediment alanların yaşlı kaya birimlere göre deprem dalgalarını önemli oranda büyüttüğüdür. Ana kayadan daha düşük hız ve yoğunluğa sahip zemin tabakaları içine geçen deprem dalgasının genliği, direnç farkına bağlı olarak önemli oranda büyür [30].

Şekil 2.1’de saha davranış analizinde kullanılan dört terim gösterilmiştir. Serbest yüzey hareketi, zemin profilinin yüzeyindeki hareketi, anakaya hareketi ise zemin profilinin tabanındaki hareketi ifade eder. Mostra veren kaya hareketi ise (*outcropping motion*), anakayanın yeryüzeyine çıktığı bir bölgedeki hareketi tanımlar [31].



Şekil 2. 1 Saha davranış analizinde kullanılan terminoloji [31].

Yumuşak zemin tabakası üzerinde bulunan yapıların sismik analizi için saha etkilerinin ve zemin yapı etkileşiminin dikkate alınması gerekmektedir. Saha etkileri, anakaya üzerindeki zemin tabakası nedeniyle yer hareketinin değişmesini ifade ederken, zemin yapı etkileşimi, zemin tabakası ile üstyapı karakteristikleri arasındaki ilişkiyi gösterir. Yerel zemin koşullarının etkisi ile deprem hareketinde değişim olurken, zemin yapı etkileşimi ise yapının dinamik özelliklerini etkiler. Yönetmeliklere göre, saha etkilerinin yüzeye yakın zemin tabakalanmasına bağlı olarak ve atalet etkilerinin de temel titreşim modunda göz önüne alınması yeterlidir. Analizlerde kullanılacak yer hareketi için saha etkisinin serbest yüzey yer hareketine dahil edilmesi ile kinematik etkileşimin ayrıca ele alınmasına gerek kalmaz.

Dinamik saha davranış analizinin temel adımları FEMA 450 [32]'de şu şekilde açıklanmıştır.

Zemin profilinin modellenmesi: Genel olarak, yer yüzeyinden anakayaya doğru uzanan bir boyutlu zemin profilinin alınması, birinci mertebe saha davranış karakteristiklerini yansıtmada yeterlidir. Çok derin zeminler için, zemin profili çok katı ya da çok sıkı zeminlere ulaşabilir. İki ya da üç boyutlu dalga yayılımının önemli olabileceği kritik projelerde iki ve üç boyutlu modeller kullanılmalıdır. Bir boyutlu modelde zemin tabakaları, birim hacim ağırlıkları ve en büyük kayma modülünün belirlenebileceği kayma dalgası hızları ile karakterize edilirler. Zeminin doğrusal olmayan özellikleri çoğu kez, zemin kayma modülünün, kayma şekil değiştirmesine bağlı olarak değişimini gösteren “kayma modülü azalım eğrileri” ve zeminin sönümünün kayma şekil değiştirmesine bağlı olarak değişimini gösteren “sönüm eğrileri” ile tanımlanır. İki ve üç boyutlu modellerde bu özelliklere ek olarak, zeminlerin basınç dalga hızları veya basınç modülleri ile Poisson oranları da gerekli olmaktadır. Genel olarak, literatürde çeşitli zemin türleri için hazırlanmış bulunan kayma modülü azalım eğrileri ile sönüm eğrileri kullanılmaktadır.

Yer hareketinin seçilmesi: Saha davranış analizinde, zemin modeli için giriş hareketi olarak kullanılacak ivme zaman geçmişlerinin sahadaki yatay kaya hareketlerini temsil eden ivme geçmişleri olacak şekilde seçilmiş olması gerekmektedir. Saha davranış analizi için, en az dört ivme geçmişi kullanılmalıdır. Analizler için seçilen bu ivme geçmişlerinin, analizi yapılacak saha ile benzer jeolojik özelliklere sahip bölgelerde kaydedilmiş olması tercih edilir. Analizlere başlamadan önce, her ivme zaman geçmişi kaydı; bu ivme geçmişinin spektrumu, öngörülen en büyük depremin spektrumu ile belirli periyot aralıklarında benzer olacak şekilde ölçeklendirilmelidir.

Saha davranış analizi ve sonuçların yorumlanması: Analitik yöntemler eşdeğer doğrusal yöntem ya da doğrusal olmayan yöntem olabilir. Zemin tepkisinin büyük ölçüde doğrusal olmayan davranış gösterdiği durumlarda, doğrusal olmayan programlar tercih edilebilir. Analizler sonucunda yer yüzeyindeki tepki spektrumu ile yer yüzeyindeki hareketin girdi hareketine oranına ait spektrumun hesaplanması gerekmektedir.

2.1 Yöntem

Yapıların, saha koşullarının etkileri de dikkate alınarak yapılan deprem analizleri, depreme dayanıklı yapı tasarımı için daha gerçekçi, verimli ve güvenli bir yoldur. Saha koşullarının deprem hareketi üzerindeki en önemli etkisi büyütme etkisidir. Saha etkilerini daha kapsamlıca dikkate alabilmek için yapılan saha davranış analizlerine ait genel yol şu şekilde özetlenebilir:

- Zemin tabakasına ait dinamik özelliklerin (kütle, rijitlik ve sönüm) belirlenmesi (sondaj çalışmaları ve geoteknik testlerin ışığında çeşitli zemin türleri için deneysel ilişkiler tanımlanmıştır).
- Beklenen deprem büyüklüklerinden ve etkin faya olan uzaklıktan yola çıkılarak, zeminin altındaki kayada meydana gelmesi beklenen deprem hareketinin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi (karakteristik deprem hareketi özellikleri; deprem büyüklüğü, süresi, etkili en büyük yer ivmesi gibi değerlerdir).
- Zemin tabakasının çeşitli deprem hareketlerine tepkisi için saha davranış analizlerinin yapılması.

Saha davranış analizleri için frekans alanında ya da zaman alanında olmak üzere iki yöntem mevcuttur.

2.1.1 Frekans Tanım Alanında Analiz

Saha davranış analizinin temel amacı, bir deprem hareketinden ötürü zemin yüzeyinde ya da herhangi bir zemin tabakası üzerinde meydana gelecek hareketin belirlenmesidir. Bunun için ilk adım zemin profilini uygun bir matematiksel modelle tanımlamaktır. Bunun için karmaşık üç boyutlu modeller kullanılabileceği gibi, çok daha basit iki boyutlu ve hatta bir boyutlu modeller kullanılabilir. Frekans alanında analizde, girdi ve çıktı hareketlerinin, harmonik hareketlerin toplamı şeklinde olduğu kabul edilir. En basit şekilde, $R(t)$ vektörü ile ifade edilen deprem yükü, açısal frekans ω 'nın harmonik fonksiyonu olup, $\bar{R}(\omega)$ genlik vektörü kompleks (karmaşık) olabilir.

$$R(t) = \bar{R}(\omega)e^{i\omega t} \quad (2.1)$$

Bu varsayımın bir sonucu olarak davranışın da harmonik fonksiyon olacağı açıktır.

$$U(t) = \bar{U}(\omega)e^{i\omega t} \quad (2.2)$$

Burada, $\bar{U}(\omega)$ davranış genlik vektörü de komplekstir (karmaşık). Harmonik girdi ve çıktı genlikleri frekans alanında şöyle ilişkilendirilirse;

$$\bar{T}(\omega)\bar{U}(\omega) = \bar{R}(\omega) \quad (2.3)$$

yada,

$$\bar{U}(\omega) = \bar{H}(\omega)\bar{R}(\omega) \quad (2.4)$$

elde edilir. Sistemin uygunluk matrisi,

$$\bar{H}(\omega) = [\bar{T}(\omega)]^{-1} \quad (2.5)$$

şeklindedir.

Frekans alanında analiz; frekans alanından zaman alanına ve zaman alanından tekrar frekans alanına geçilebilmesi için Fourier dönüşümü ve ters Fourier dönüşümüne dayanır. Gerekli adımlar,

- Deprem yük vektörünün Fourier dönüşümünün belirlenmesi

$$\bar{R}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(t)e^{(-i\omega t)} dt \quad (2.6)$$

- Zemin modeline ait kütle, rijitlik ve sönüm matrislerine dayanarak, sistemin direnç fonksiyonunun, $\bar{T}(\omega)$, belirlenmesi
- Sistemin uygunluk matrisinin belirlenmesi

$$\bar{H}(\omega) = [\bar{T}(\omega)]^{-1} \quad (2.7)$$

- Sistemin uygunluk matrisinin belirlenmesi
- Deprem vektörünün Fourier dönüşümünden ve uygunluk vektöründen, davranış genlik vektörünün bulunması

$$\bar{U}(\omega) = \bar{H}(\omega)\bar{R}(\omega) \quad (2.8)$$

- Ters Fourier dönüşüm fonksiyonu kullanılarak, davranış genlik vektörünün zaman alanına dönüştürülmesi

$$U(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{U}(\omega)e^{(i\omega t)} d\omega \quad (2.9)$$

şeklinde özetlenebilir.

2.1.2 Zaman Tanım Alanında Analiz

Bir zemin profilinin yatay tabakalardan oluştuğu kabul edildiğinde, bu tabakaların yatay uzunluğunun, dalga yayılımı üzerine etkisinin olmadığı ve bu nedenle zemin profilinin bir boyutlu kayma kirişi olarak modellenebileceği anlaşılr. Zeminin yalnızca bir boyutlu olarak modellenmesi, birçok durumda mühendislik pratiği açısından yeterli yaklaşıklıkta olur.

Zaman alanında analiz yapabilmek için, öncelikle zemin eşdeğer kayma kirişi şeklinde sonlu elemanlarla modellenir. Çözüm, sonlu elemanlar yöntemine dayalıdır. Öncelikle, her bir zemin elemanına ait eleman şekil fonksiyonları tanımlanır. Bu eleman şekil fonksiyonları ile her bir elemana ait kütle, rijitlik ve sönüm matrisleri oluşturulur (k_i , m_i , c_i). Elemanlara ait dinamik matrisler tanımlandıktan sonra, tüm sistem için genel dinamik matrisler oluşturulur (K , M , C). Dinamik denge denkleminde; deprem yük vektörü ($R(t)$) için çözümleme yapılır.

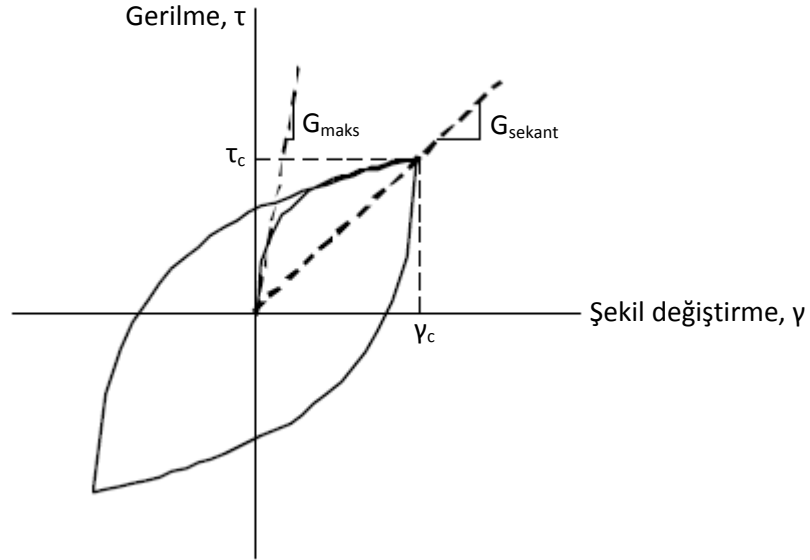
$$M\ddot{U}(t) + C\dot{U}(t) + KU(t) = R(t) = -MI\ddot{u}_g(t) \quad (2.10)$$

(2.10) denkleminde sırasıyla, $\ddot{U}(t)$, görelî nodal ivme vektörünü, $\dot{U}(t)$, görelî nodal hız vektörünü, $U(t)$, görelî nodal yer değıştirme vektörünü, $\ddot{u}_g(t)$, yer ivmesini, I ise birim vektörü ifade etmektedir [33].

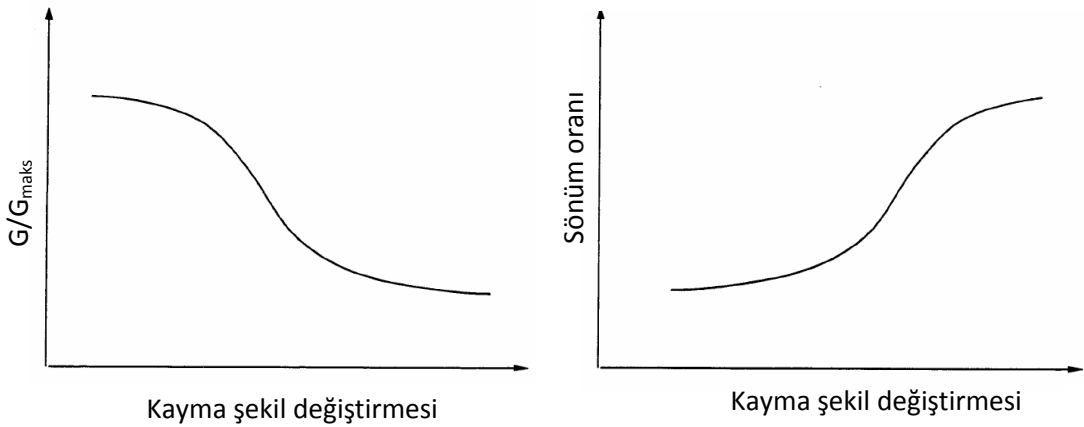
Yukarıda bahsedildiği üzere analiz yöntemi için eşdeğer doğrusal analiz ya da doğrusal olmayan analiz kullanılmaktadır. Çoğu kez doğrusal olmayan analiz yerine kullanılan eşdeğer doğrusal analiz de yeterli yaklaşıklıkta ve daha hızlı sonuçlar vermektedir.

Zeminin doğrusal olmayan gerilme – şekildeğıştirme davranışı, zeminin kayma modülünün değışken olduğu anlamına gelir. Zeminin elastik olmayan özelliği ise, zeminin yükleme ve boşaltma eğrilerinin birbirinden farklı olduğu anlamına gelir. Zeminlerin herhangi bir çeşit yükleme (dinamik vb.) altında analizleri için her elemanın gerilme – şekil değıştirme ilişkileri iyi tanımlanmalıdır. Zeminin doğrusal olmayan elastik ötesi davranışı için, eşdeğer doğrusal bir analiz geliştirilmiştir. Bu eşdeğer doğrusal analiz yaklaşımında, zeminin kayma şekil değıştirmesine bağılı olarak değışen zemin özelliklerinin iteratif olarak değıştirildiği doğrusal analizler uygulanmaktadır. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi, zeminin kayma modülü olarak sekant modülü kullanılır. Zeminin kayma şekil değıştirmesinin artan değeri için, sekant kayma modülü giderek azalır. Sekant kayma modülü ile kayma şekil değıştirmesi arasındaki ilişki için, kayma

modülü azalım eğrileri tanımlanmıştır. Literatürde birçok zemin türü için, eksenleri kayma modülü oranı (G/G_{maks}) ve logaritmik ölçekle kayma şekil değiştirmesinin olduğu kayma modülü azalım eğrileri mevcuttur. Benzer şekilde zeminin viskoz sönümü için de sönüm eğrileri tanımlanmıştır. Bu eğrilerin eksenlerinde ise sönüm oranı ve logaritmik ölçekle kayma şekil değiştirmesi bulunmaktadır. Kayma modülü azalım eğrileri ile sönüm eğrileri için şematik gösterim Şekil 2.3’de verilmiştir [31].



Şekil 2. 2 Eşdeğer doğrusal model: Çevrimsel gerilme – şekil değiştirme eğrisi [31]



Şekil 2. 3 Zeminin kayma şekil değiştirmesine bağlı dinamik özellikleri [31]

Her zemin tabakası için eşdeğer doğrusal analize ait iterasyon adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Küçük kayma şekil değiştirmesi değerleri için başlangıç kayma modülü (G^i) ve sönüm (ξ^i) değerlerinin bulunması.

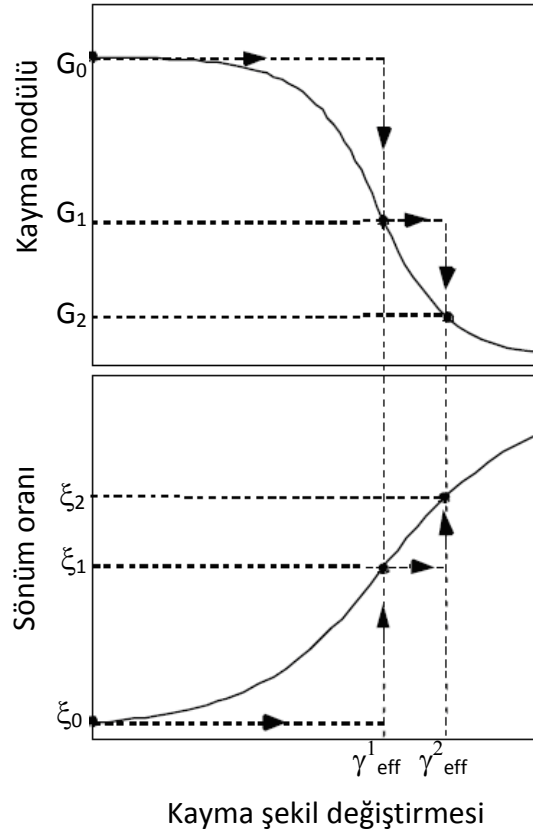
2. Yer davranışı analizinin yapılması ve her tabakadaki kayma şekil değiştirmesi geçmişlerinden, en büyük kayma şekil değiştirmesi genliğinin (γ_{maks}) bulunması.
3. Etkili kayma şekil değiştirmesinin bulunması.

$$\gamma_{eff}^i = R_{\gamma} \cdot \gamma_{maks}^i \quad (2.11)$$

Burada, R_{γ} ; etkili kayma şekil değiştirmesinin en büyük kayma şekil değiştirmesine oranı olup, deprem büyüklüğüne bağlıdır ve her tabaka için aynıdır.

4. Etkili kayma şekil değiştirmesine karşı gelen yeni eşdeğer doğrusal kayma modülü ve sönüm değerlerinin (G_{i+1} ve ξ_{i+1}) hesaplanması.
5. İki iterasyon adımı sonucu bulunan sonuçlar yeterli yakınsaklıkta olana kadar 2 ile 4. adımların tekrarlanması.

Eşdeğer doğrusal analizin, zeminin doğrusal olmayan elastik ötesi özelliğini dikkate almasına rağmen yine de doğrusal bir analiz yöntemi olduğu unutulmamalıdır. Bunun yanında, eşdeğer doğrusal analizin oldukça tutarlı sonuçlar verdiği söylenebilir.



Şekil 2. 4 Eşdeğer doğrusal analizde kayma modülü ve sönüm oranının kayma şekil değiştirmesine göre iteratif olarak değişimi [31]

2.2 Saha Davranış Analizi Uygulaması - İnceleme Bölgesi

Bu çalışmada, saha davranış analizi uygulaması için incelenecek bölge olarak Küçükçekmece ilçesi seçilmiştir. Küçükçekmece ilçesi, kuzey – kuzeydoğudan Gaziosmanpaşa, doğudan Esenler, Bağcılar, Bahçelievler, güneyden Bakırköy, Avcılar ve Marmara Denizi ve batıdan Büyükçekmece ile çevrilidir. 7.4 büyüklüğündeki 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nin merkez üssüne 102 km mesafede olan Küçükçekmece ilçesi, İstanbul'un ağır hasar gören bölgelerinden biridir. 220 bina ağır hasarlı ya da tamamen yıkılmış olup, 1466 bina orta hasar, 1174 bina ise hafif hasar görmüştür. Toplam 47 can kaybı ve 8 yaralanma meydana gelmiştir [34]

2.2.1 İncelenen Bölgede Bulunan Formasyonlar

İncelenen bölgede bulunan formasyonlar ve jeolojik özellikleri şöyledir [35]:

- *Bakırköy Formasyonu*

Bakırköy formasyonu, beyazımsı krem renkli, boşluklu kil ara katmanlı, ince – orta tabakalı, bol maktrali killi kireçtaşıdır. Bakırköy Formasyonu, orta sert, kırılğan ve boşluklu olup, İstanbul'un tarihsel gelişim çağlarından beri taş gereksinimini karşılamıştır. Bakırköy kireçtaşı Topkapı, Zeytinburnu, Merkezefendi, Esenler, Davutpaşa, Değirmentepe, Bağcılar, Güngören, Bahçelievler, Haznedar, Bakırköy, Mahmutbey, Kocasinan, Yenibosna, Halkalı, Sefaköy, Soğuksu, Kanarya, Şenlikköy ve Yeşilköy civarlarında görülür. Ayrıca belirtilen bu alanlar dışında Küçükçekmece ile Büyükçekmece arasındaki sırtlarda; Avcılar, Firüzköy, Esenyurt, Yakuplu, Kavaklı, Gürpınar, Beylikdüzü ve Çakmaklı köylerinde geniş yayılım olarak izlenmektedir. Genelde 25-30 m kalınlık gösteren Bakırköy formasyonunun kalınlığı kuzeye doğru azalarak 10-15 m'ye kadar düşer. Araziye uygulanan SPT ve kayma dalgası hızı deneylerine göre penetrasyon darbe sayısının $N > 50$ olduğu ve kayma dalgası hızının 334-1154 m/s arasında değiştiği gözlenmiştir.

- *Güngören Formasyonu*

Güngören formasyonu, koyu gri renkli, organik ve şişme özelliği gösteren, yataya yakın katmanlı, aşırı konsolide kildir. Genellikle yeşil-mavi renkli üst seviyelerinde kirli beyaz renkli maktrali kireçtaşı ara seviyeli, kum cepli kil ve marnlardan oluşur. Güngören Formasyonu, Yedikule, Kazlıçeşme, Osmaniye, Rami, Atışalanı-Esenler arası ve Güngören doğusunda görülür. Ayrıca Şirinevler-Yenibosna-Kocasinan-Mahmutbey

sırtının doğu ve batı yamaçlarında Şenlikköy - Sefaköy - Halkalı sırtının doğu ve batı yamaçlarında yüzeyler. Güngören formasyonunun kalınlığı en fazla 30 m'yi bulmaktadır. Arazide yapılan çalışmalarda kayma dalgası hızının 303-482 m/s arasında değiştiği gözlenmiştir.

- *Gürpınar Formasyonu*

Gürpınar formasyonu, sarımsı gri, gri renkli, kahvems gri mikali kumtaşı ve kumtaşıyla ardalanmalı gri marn-kil-silttaşı, nadiren çakıltası ve linyit damarlarından oluşur. Yüksek plastisiteli kil sınıfına girmektedir. Trakya havzasında geniş alanlar kapsayan Gürpınar formasyonu İstanbul yarımadası'nda Büyükçekmece Gölü'nün güneybatısında Mimarsinan- Güzelce- Türkoba köyleri arasında geniş alanlar halindedir. Ayrıca Büyükçekmece-Küçükçekmece-Karaağaç Köyü arasında geniş alanlar kapsar. Ambarlı-Gürpınar çevresinde kalınlığı 900 m.dir. Silivri çevresinde ise kalınlığı yaklaşık 100-300 m arasında değişir. Arazide yapılan çalışmalarda, kayma dalgası hızının 221-562 m/s arasında değiştiği gözlenmiştir.

- *Çukurçeşme Formasyonu*

Kötü derecelenmiş siltli, killi kumlardan ve killi çakıl sınıfından oluşan Çukurçeşme Formasyonu, çökelleri yer yer çakıl cepleri ile gri renkli kil ara bantlarını da içermektedir. Kum içinde yeşil, kahverengi renkli kili mercek seviyeleriyle marn seviyeleri olağandır. Edirnekapi civarındaki mezarlıklar, Paşaçeşme, Çukurçeşme, Küçükköy, Atışalanı, Sağmalcılar, Güngören'in kuzeyindeki Üçüzlü çeşme, Bağcılar batısı, Değirmentepe'nin kuzeyi, Mahmutbey civarları, Küçükçekmece, Halkalının doğu ve batı tarafları ile Halkalı-İkitelli arasındaki sırtlarda, Ambarlı, Esenyurt, Firüzköy yamaçlarında; Yakuplar-Kavaklı-Gürpınar-Kıraç-Çakmaklı köylerinin bulunduğu yamaçlarda, Hoşdere ile çakmaklı kuzeyindeki sırtlarda yüzeyler. Çukurçeşme formasyonunda kalınlığın en fazla 40-50 m'yi bulduğu, bazen de 2-3 m kadar incelendiği görülmüştür. Genelde ortalama kalınlık 15-20 m'dir.

- *Alüvyon*

Alüvyon; yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakalar, gevşek kum, yumuşak kil, siltli kil gibi farklı litolojilerden oluşan, fazla dayanıklı olmayan, sivilaşma tehlikesiyle karşılaşılabilen bir jeolojik tabakadır. Arazide yapılan çalışmalarda, alüvyon zeminlerin yer yer yapay dolgu zeminlerle örtüldüğü

görülmektedir. Bu çalışmalarda kayma dalgası hızının 217-1180 m/s arasında değiştiği görülmüştür.

- *Yapay Dolgu*

Arazi gözlemlerine göre kalınlıkları 0.5-12 m arasında değişen dolgular yer alır. Bu dolgular genellikle toprak, kil, çöp ve inşaat artığı malzemeden oluşur.

Bu formasyonlara ait birim hacim ağırlıkları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2. 1 Küçükçekmece bölgesi için formasyon özellikleri

Formasyon	Birim hacim ağırlığı (kN/m ³)
Yapay dolgu	17-18
Alüvyon	17-18
Bakırköy F. (kil)	18-19
Bakırköy F. (kireçtaşı)	21-26
Çukurçeşme F.	19-20
Güngören F.	17-20
Gürpınar F. (kil)	19-21
Gürpınar F. (kum)	19-21

2.2.2 İncelenen Bölgedeki Formasyonlar için Kullanılan Zemin Modelleri

Yıldız Teknik Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı tarafından Küçükçekmece bölgesi için hazırlanan rapora dayanılarak [36], incelenen bölgeyi temsil eden 5 örnek zemin profili oluşturulmuştur. Zemin profillerinde bulunan zemin tabakalarına ait tabaka kalınlıkları, birim hacim ağırlıkları, ortalama kayma dalgası hızları ve her bir formasyon için kayma şekil değiştirmesine bağlı olarak kayma modülü azalım eğrileri ve sönüm eğrilerini gösteren ilişki Çizelge 2.2’de, kayma modülü ve sönüm oranının kayma şekil değiştirmesine göre değişimi ise Çizelge 2.3’de verilmiştir. Her bir formasyona ait kayma modülü ve sönüm oranı ilişkileri ise Şekil 2.5’de sunulmuştur.

Her bir formasyon için kayma şekil değiştirmesine bağlı olarak değişen sönüm ve kayma modülü ilişkileri İnce vd.’nin [35] çalışması esas alınarak belirlenmiştir.

- *Kil*

Vucetic ve Dobry [37, 38], Kokoshu [39] tarafından Mexico City bölgesi kil zemini için yapılan bir incelemeye dayanarak, kayma modülü ve sönüm değerlerinin plastisite

indeksinden (PI) nasıl etkilendiğini göstermiştir. Vucetic ve Dobry, sönüm ve kayma modülü azalım eğrilerini plastisite indeksinin fonksiyonu olarak geliştirmiştir. Çalışmada orjinal eğriler PI=0, PI=15, PI=30, PI=50, PI=100 ve PI=200 değerleri için çizilmiş olup, plastisite indeksinin ara değerleri için doğrusal interpolasyon yapılır.

- *Kum*

Seed ve Idriss, 1970 yılında kum için en çok kullanılan kayma modülü azalım eğrileri ve sönüm eğrilerini geliştirmişlerdir [40].

- *Kireçtaşı*

Kireçtaşı için kayma modülü azalım ve sönüm eğrileri Schnabel vd. tarafından önerilen kaya davranışına karşı gelmektedir [41]. Yer altı suyu seviyesi yüzeyden 8-10 m derinliktedir.

Çizelge 2. 2 Küçükçekmece bölgesi için çözümlemelerde kullanılan zemin profilleri

Profil 1	h (m)	γ (kN/m³)	V_s (m/s)	Zemin modeli
Yapay dolgu	1	18	165	PI 25 Vucetic Dobry
Bakırköy F.(kil)	5	19	233	PI 45 Vucetic Dobry
Bakırköy F.(kil)	6	19	260	PI 45 Vucetic Dobry
Bakırköy F.(kireçtaşı)	4.5	24	473	Schnabel vd.
Güngören F.	9.5	19	272	PI 50 Vucetic Dobry
Çukurçeşme F.	2	20	328	Seed Idriss upper range
Gürpınar F.(kil)	10	20	358	PI 40 Vucetic Dobry
Profil 2				
Yapay dolgu	2	18	165	PI 25 Vucetic Dobry
Güngören F.	7	19	215	PI 50 Vucetic Dobry
Güngören F.	5	19	283	PI 50 Vucetic Dobry
Çukurçeşme F.	16	20	328	Seed Idriss upper range
Profil 3				
Yapay dolgu	1	18	165	PI 25 Vucetic Dobry
Gürpınar F.(kil)	3.5	20	200	PI 40 Vucetic Dobry
Gürpınar F.(kil)	3	20	250	PI 40 Vucetic Dobry
Gürpınar F.(kum)	7.5	20	300	PI 40 Vucetic Dobry
Gürpınar F.(kil)	15	20	358	PI 40 Vucetic Dobry

Çizelge 2. 2 Küçükçekmece bölgesi için çözümlemelerde kullanılan zemin profilleri
(devamı)

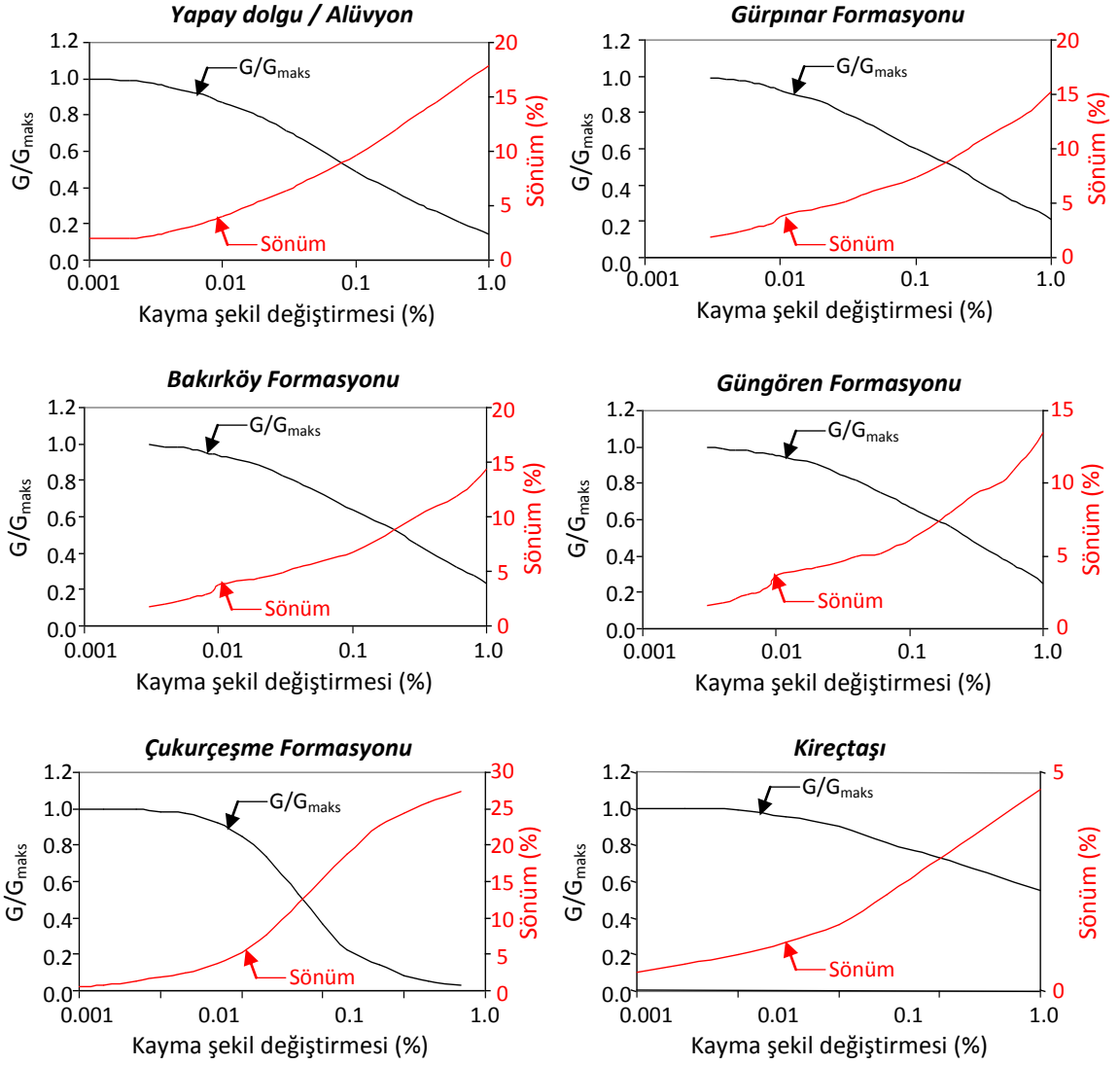
Profil 4	h (m)	γ (kN/m³)	V_s (m/s)	Zemin modeli
Yapay dolgu	1	18	165	PI 25 Vucetic Dobry
Alüvyon	6	18	210	PI 25 Vucetic Dobry
Gürpınar F.(kil)	3.5	20	245	PI 40 Vucetic Dobry
Gürpınar F.(kil)	3	20	280	PI 40 Vucetic Dobry
Gürpınar F.(kum)	2	20	332	PI 40 Vucetic Dobry
Gürpınar F.(kil)	14.5	20	344	PI 40 Vucetic Dobry
Gürpınar F.(kil)	5	20	353	PI 40 Vucetic Dobry
Profil 5				
Yapay dolgu	2	18	165	PI 25 Vucetic Dobry
Alüvyon	4	18	210	PI 25 Vucetic Dobry
Alüvyon	3	18	190	PI 25 Vucetic Dobry
Alüvyon	5	18	235	PI 25 Vucetic Dobry
Gürpınar F.(kil)	12	20	300	PI 40 Vucetic Dobry
Gürpınar F.(kum)	3	20	344	PI 40 Vucetic Dobry

Çizelge 2. 3 Kayma modülü ve sönüm oranının kayma şekil değiştirmesine göre
değişimi

Yapay dolgu/Alüvyon (PI 25 Vucetic Dobry)			Gürpınar Formasyonu (PI 40 Vucetic Dobry)			Bakırköy Formasyonu (PI 45 Vucetic Dobry)		
Kayma şekil değiştirmesi (%)	G/G_{maks}	Sönüm oranı (%)	Kayma şekil değiştirmesi (%)	G/G_{maks}	Sönüm oranı (%)	Kayma şekil değiştirmesi (%)	G/G_{maks}	Sönüm oranı (%)
0.001	0.997	1.967	0.003	0.9925	1.85	0.003	0.996	1.725
0.002	0.987	1.967	0.004	0.98	2.15	0.004	0.985	1.975
0.003	0.973	2.233	0.005	0.973	2.35	0.005	0.979	2.225
0.004	0.955	2.6	0.006	0.965	2.6	0.006	0.973	2.45
0.006	0.925	3.1	0.008	0.945	3	0.008	0.955	2.85
0.008	0.9	3.567	0.009	0.935	3.25	0.009	0.948	3.125
0.01	0.872	3.967	0.01	0.923	3.7	0.01	0.941	3.7
0.02	0.787	5.5	0.02	0.863	4.625	0.02	0.884	4.413
0.03	0.713	6.333	0.03	0.798	5.15	0.03	0.824	4.875
0.04	0.667	7.067	0.04	0.758	5.7	0.04	0.786	5.35
0.1	0.488	9.633	0.1	0.6	7.4	0.1	0.635	6.75
0.2	0.377	12.033	0.2	0.493	9.4	0.2	0.529	8.7
0.3	0.307	13.5	0.3	0.415	10.75	0.3	0.448	9.975
0.4	0.267	14.533	0.6	0.295	12.9	0.6	0.323	11.9
0.6	0.207	16.033	0.8	0.253	14.1	0.8	0.276	13.15
0.8	0.173	17.1	1	0.208	15.2	1	0.229	14.35
1	0.142	17.9						

Çizelge 2. 3 Kayma modülü ve sönüm oranının kayma şekil değiştirmesine göre değişimi (devamı)

Güngören Formasyonu (PI 50 Vucetic Dobry)			Çukurçeşme Formasyonu (Seed Idriss upper range)			Kireçtaşı (Schnabel vd.)		
<i>Kayma şekil değiştirmesi (%)</i>	<i>G/G_{maks}</i>	<i>Sönüm oranı (%)</i>	<i>Kayma şekil değiştirmesi (%)</i>	<i>G/G_{maks}</i>	<i>Sönüm oranı (%)</i>	<i>Kayma şekil değiştirmesi (%)</i>	<i>G/G_{maks}</i>	<i>Sönüm oranı (%)</i>
0.003	1	1.6	0.0001	1	0.5	0.0001	1	0.4
0.004	0.99	1.8	0.0002	1	0.8	0.0003	1	0.6
0.005	0.985	2.1	0.0005	0.996	1.3	0.001	0.9875	0.8
0.006	0.98	2.3	0.001	0.984	1.9	0.003	0.9525	1.1
0.007	0.97	2.4	0.002	0.975	2.5	0.01	0.9	1.5
0.008	0.965	2.7	0.005	0.922	3.7	0.03	0.81	2.2
0.009	0.96	3	0.01	0.85	5.3	0.1	0.725	3
0.01	0.955	3.7	0.02	0.734	7.7	1	0.55	4.6
0.02	0.905	4.2	0.05	0.532	12			
0.03	0.85	4.6	0.1	0.367	15.3			
0.04	0.815	5	0.2	0.224	18.7			
0.06	0.75	5.2	0.5	0.139	22.6			
0.08	0.71	5.7	1	0.085	24.4			
0.1	0.67	6.1	2	0.051	25.9			
0.2	0.565	8	5	0.027	27.3			
0.3	0.48	9.2						
0.5	0.385	10.1						
0.6	0.35	10.9						
0.8	0.3	12.2						
1	0.25	13.5						



Şekil 2. 5 Kayma şekil değiştirmesine bağlı sönüm ve kayma modülü azalım eğrileri

2.3 Çözümlemeler

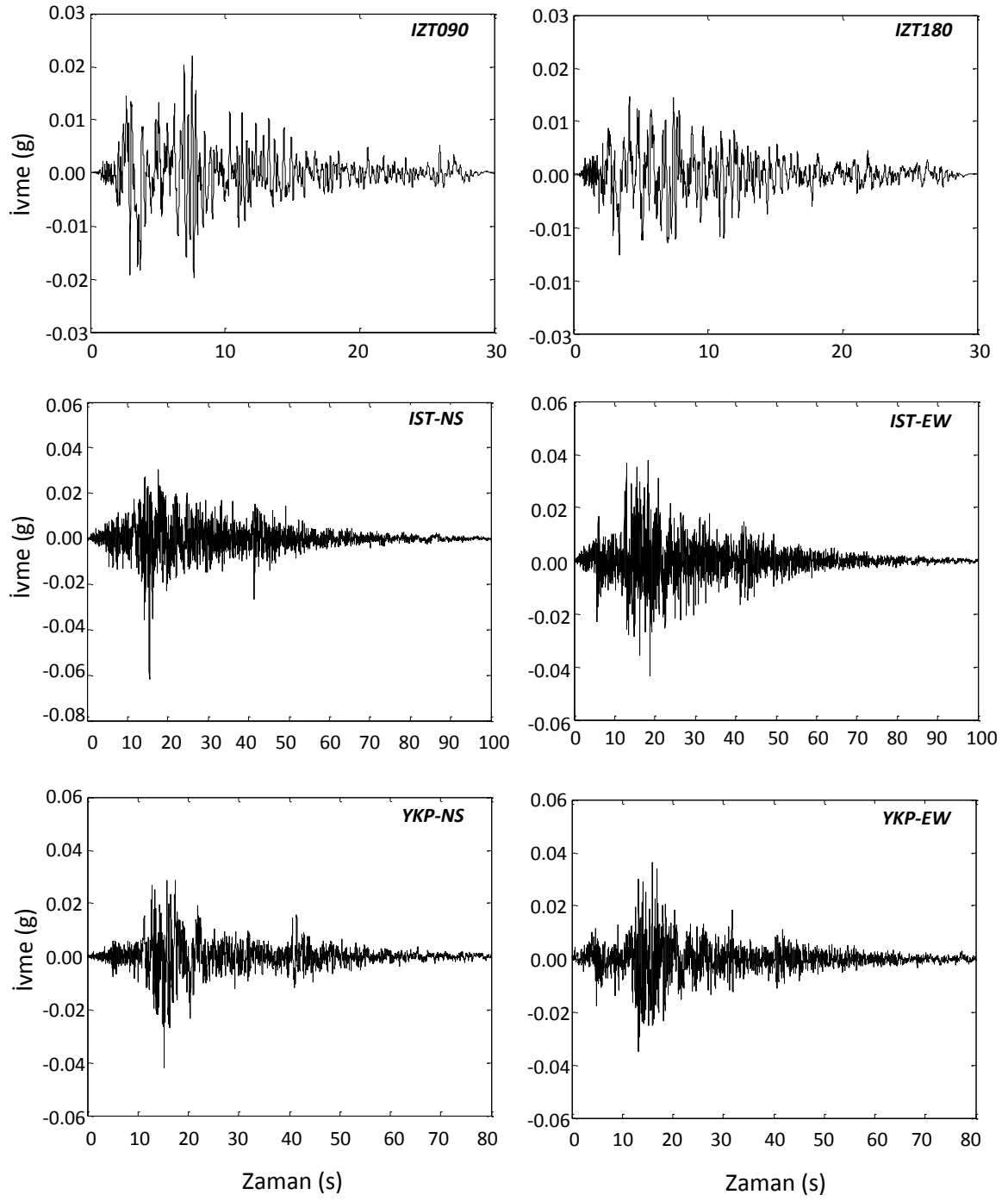
Bir önceki bölümde dinamik özellikleri verilmiş olan 5 ayrı zemin profilinin, ana kayadan yüzeye doğru bir boyutlu dalga yayılımı çözümlemesi için, hem eşdeğer doğrusal hem de doğrusal olmayan çözümleme yapabilen bir saha davranış analiz programı olan ve Illinois Üniversitesi'nde geliştirilen DEEPSOIL programı kullanılmıştır [42]. Çözümlemede kullanılan deprem kayıtları, 7.4 büyüklüğündeki 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde kaydedilmiştir. Bu kayıtlardan ikisi, İstanbul merkezinde, Beşiktaş'taki Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü Binasında ve Levent'teki Yapı Kredi Plazada kaydedilmiş olup, bu kayıtlar mostra veren kaya (ana kayanın yüzeye uzantısı) hareketidir.

Çözümlemelerde kullanılan yer hareketlerinin özellikleri Çizelge 2.4’de verilmiş olup, ivme zaman geçmişleri Şekil 2.6’da verilmiştir. Çözümlemelerde, deprem kayıtları, olası anakaya hareketini temsil edebilmesi amacıyla en büyük yer ivmesi (PGA) 0.04g; artan yer hareketi şiddeti ile büyütme davranışının karşılaştırılabilmesi için ise, en büyük yer ivmesi (PGA) 0.2g olacak şekilde ölçeklendirilmiş ve çözümler bu ölçeklenmiş kayıtlar için yapılmıştır [43].

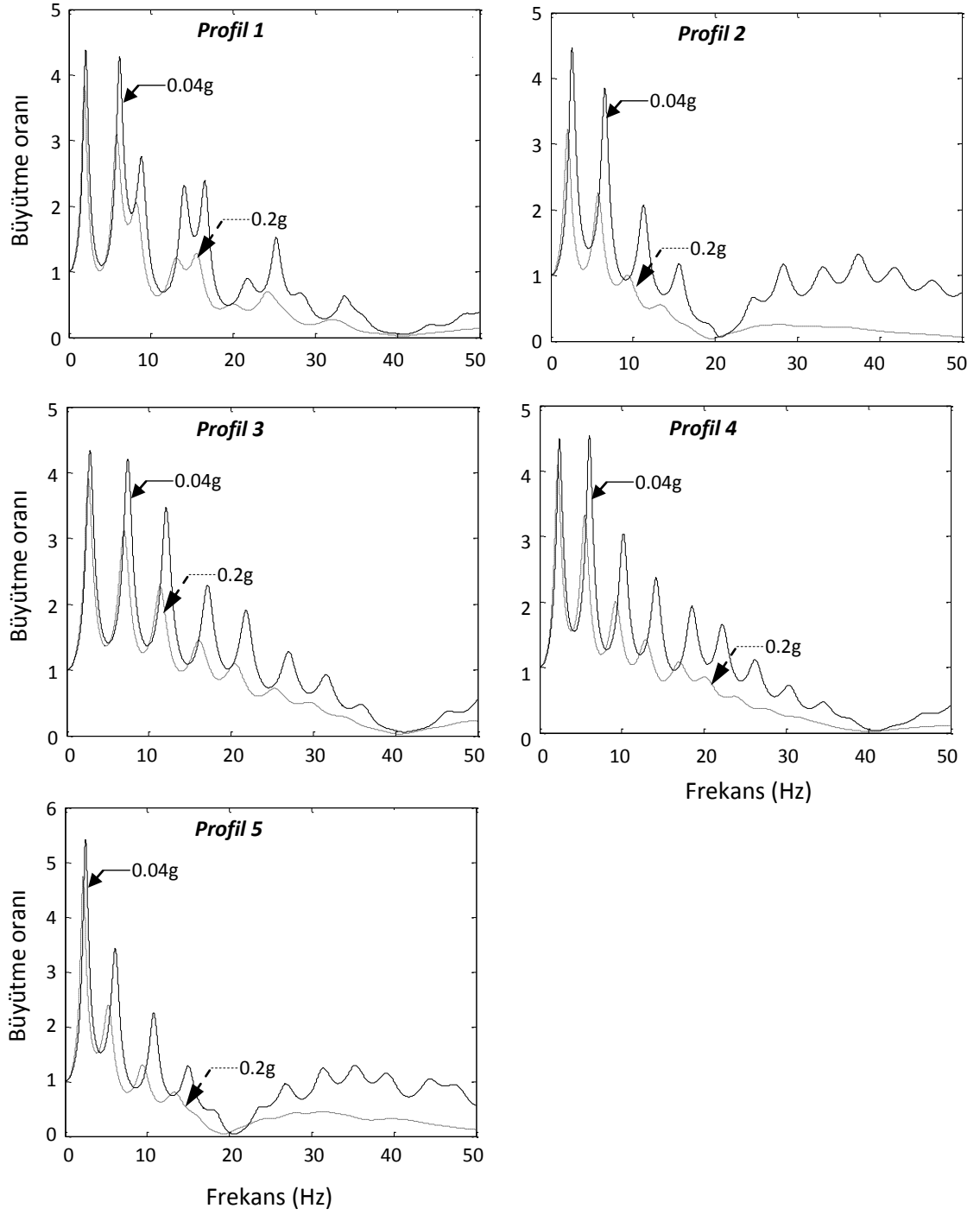
Çizelge 2. 4 Çözümlemelerde kullanılan deprem kayıtları

Deprem/ Tarih	Büyüklik	İstasyon Adı	Uzaklık (km)	1.Bileşen	PGA (g)	2.Bileşen	PGA (g)
		İzmit Meteoroloji İstasyonu	4.8	IZT090	0.22	IZT180	0.152
Kocaeli 17.08.1999	7.4	Bayındırlık Binası	89	IST_KG	0.062	IST_DB	0.043
		Yapı Plaza	Kredi 90	YKP_KG	0.042	YKP_DB	0.036

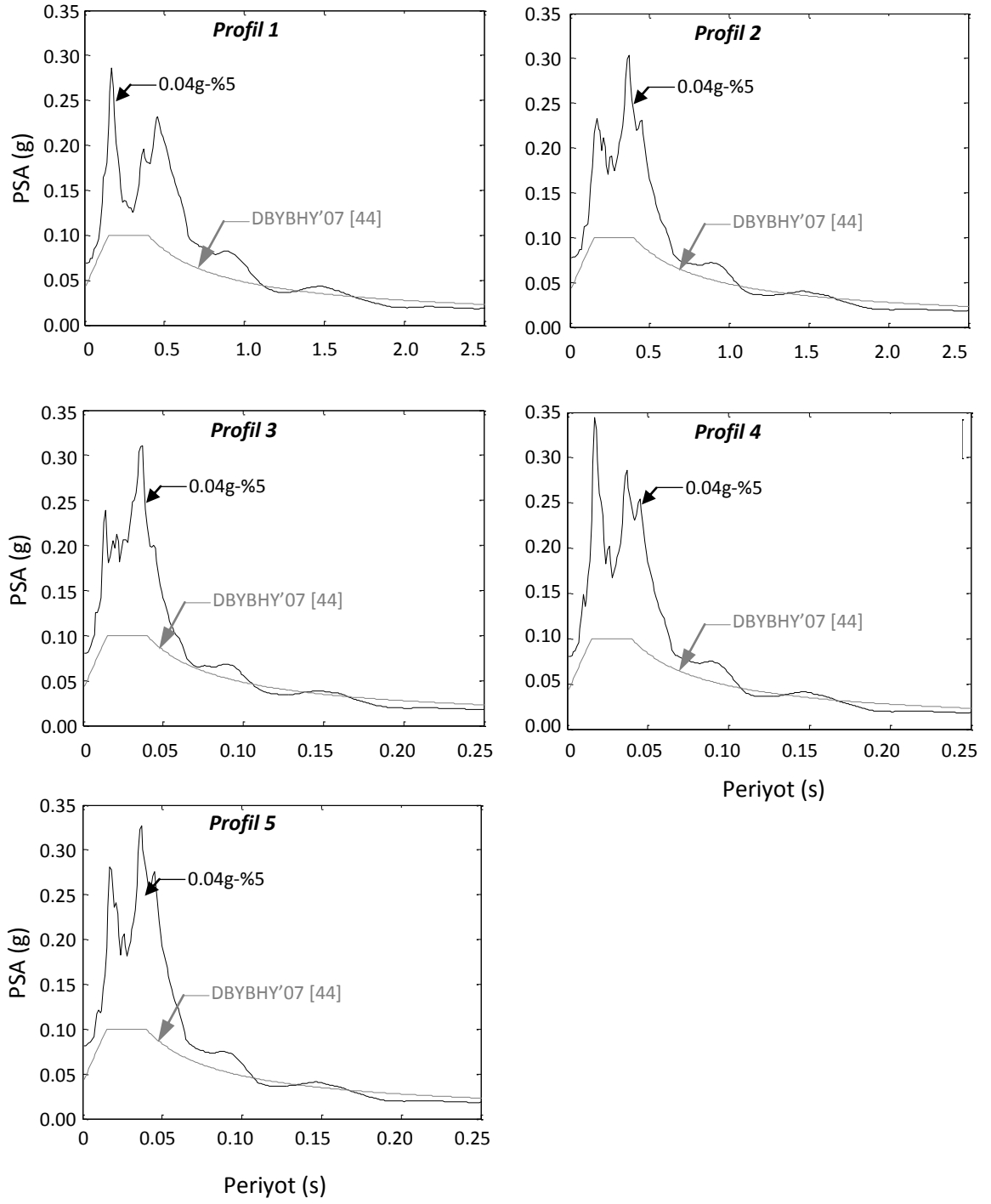
Her bir zemin profili için zemin yüzeyindeki ortalama zemin büyütmesi spektrumları, en büyük yer ivmesinin 0.2g ve 0.04g olması durumları için Şekil 2.7’de verilmiştir. Ayrıca her bir zemin profili için kullanılan kayıtların zemin yüzeyindeki ortalama davranış spektrumları da %5 sönüm oranı için çizilmiş olup, Şekil 2.8 ve 2.9’ de gösterilmiştir. Bu davranış spektrumları incelendiğinde, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’te [44] elastik davranış spektrumu için verilen artış değeri olan 2.5’den daha büyük bir artış sözkonusudur. Bu artış değerleri Çizelge 2.5’de verilmiştir.



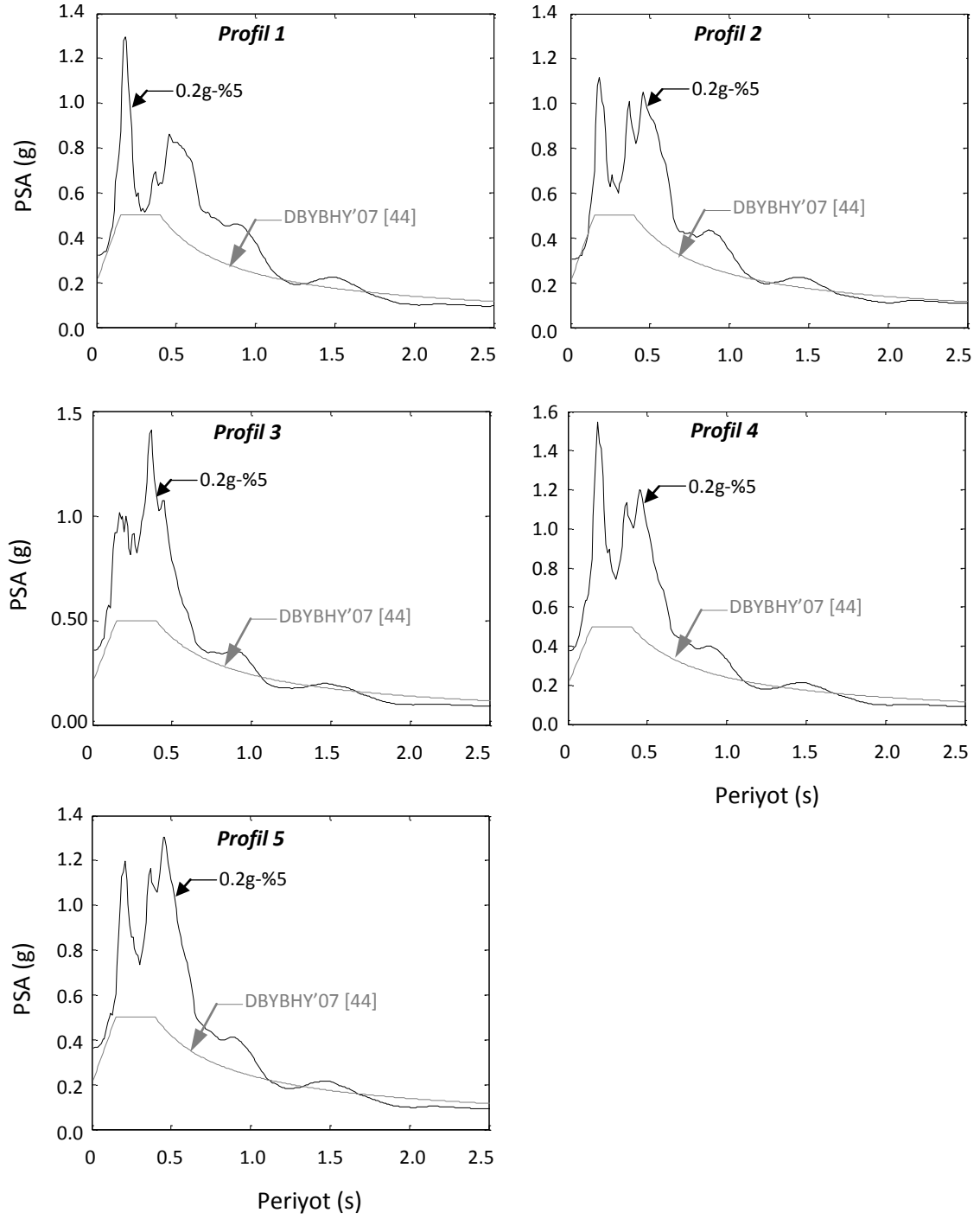
Şekil 2. 6 Çözümlemelerde kullanılan deprem kayıtları



Şekil 2. 7 Zemin profilleri için zemin yüzeyindeki büyütme spektrumları



Şekil 2. 8 Zemin profillerine ait zemin yüzeyindeki davranış spektrumları ($a_{\text{peak}} = 0.04g$)

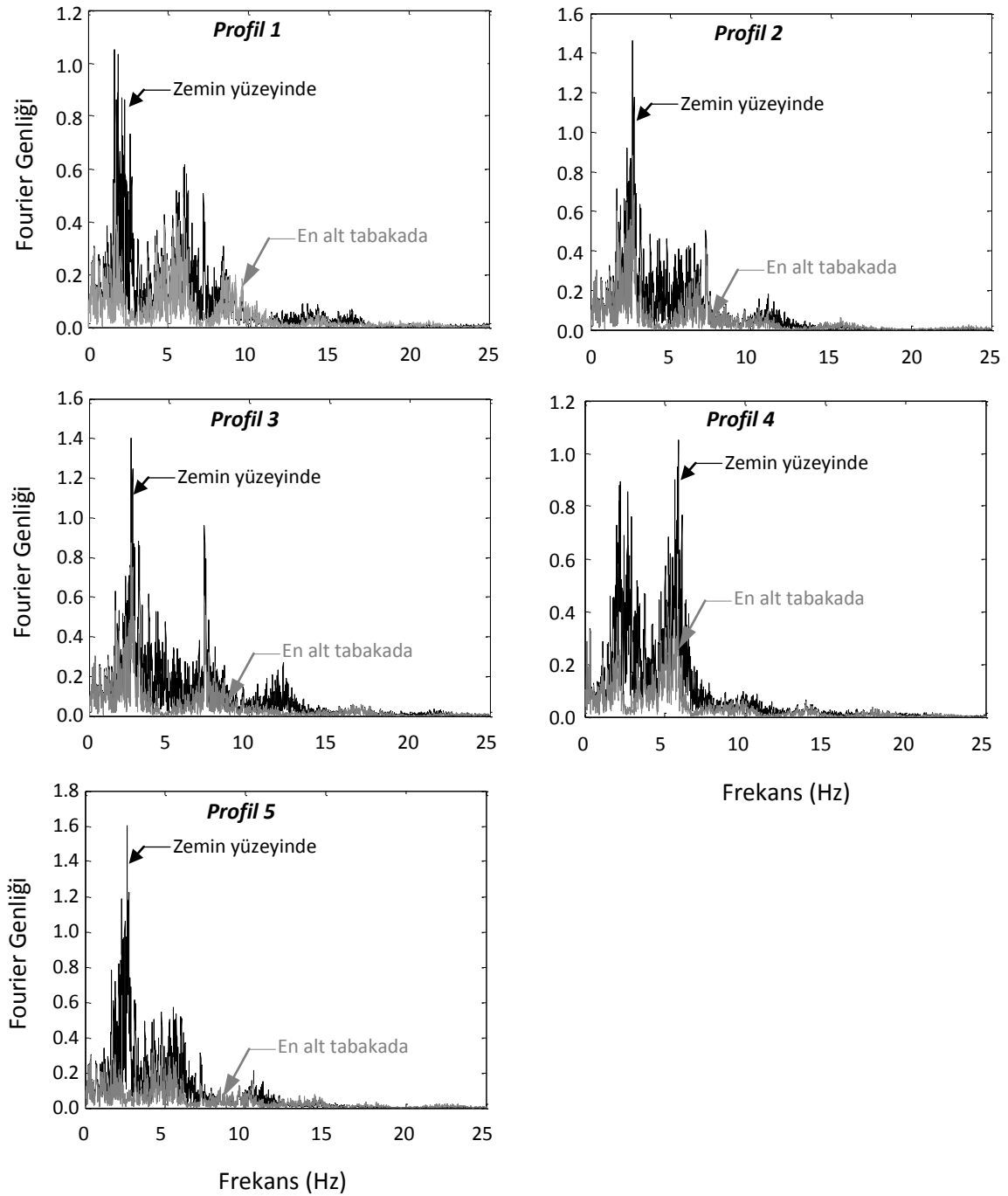


Şekil 2. 9 Zemin profillerine ait zemin yüzeyindeki davranış spektrumları ($a_{\text{peak}} = 0.2g$)

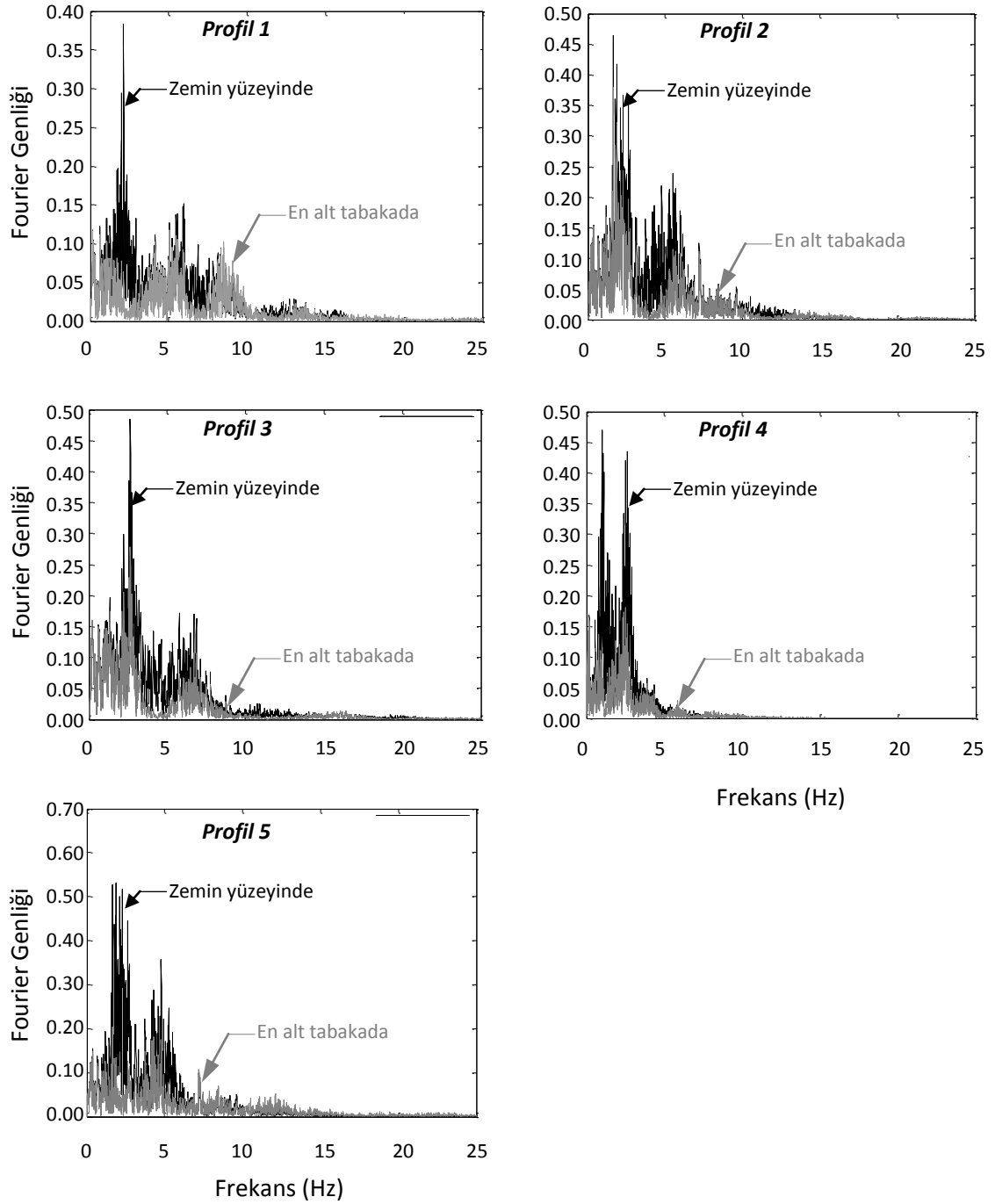
Çizelge 2. 5 Zemin profilleri için zemin yüzeyindeki en büyük büyütme değerleri

PGA (g)	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	Profil 5
0.04g	4.2	3.9	3.9	4.3	4.0
0.2g	4.0	3.7	4.0	4.1	3.6

Anakaya hareketinin enerji değişimini ifade edebilmek amacıyla zemin profilleri için zemin yüzeyindeki ve en alt tabakadaki ortalama Fourier genlik spektrumları en büyük yer ivmesinin değişen değerleri için Şekil 2.10 ve 2.11’da gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği gibi, zemin yüzeyindeki genlik en alt tabakadaki genliğin 3~5 katı arasında değişmektedir.



Şekil 2. 10 Zemin yüzeyindeki ve en alt tabakadaki Fourier genlik spektrumları ($a_{peak}=0.04g$)



Şekil 2. 11 Zemin yüzeyindeki ve en alt tabakadaki Fourier genlik spektrumları ($a_{peak}=0.2g$)

2.4 Saha Davranış Analizi Sonuçları

Bu bölümde, öncelikle saha davranış çözümlemesi ve çözümleme yöntemleri hakkında ayrıntılı bir bilgi verilmiş olup daha sonra, İstanbul ili Küçükçekmece ilçesinde zemin özelliklerinin deprem hareketi ve zemin büyütmesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yıldız Teknik Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı tarafından sözü edilen bölge için

hazırlanan rapordan yararlanılarak, incelenen bölgeyi temsil eden 5 örnek zemin profili göz önüne alınmıştır. Bu zemin profilleri için, anakayadan yüzeye doğru bir boyutlu dalga yayılımı analizi yapılmış olup, bunun için hem eşdeğer doğrusal hem de doğrusal olmayan çözümleme yapabilen bir saha davranış analiz programı olan ve Illinois Üniversitesi'nde geliştirilen DEEPSOIL programı kullanılmıştır. Çalışmadaki "yüzey" tanımı, yapay dolgunun altındaki tabakanın üst yüzeyine karşılık gelmektedir.

Göz önüne alınan zemin profilleri için elde edilen en büyük zemin büyütme değeri 5.4, zemin büyütme değerlerine karşı gelen periyotlar $T_1 = 0.48$ s ve $T_2 = 0.16$ s dir. Bu durum, -her ne kadar 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde 2~6 katlı konutlarda görülen ağır hasar veya tümünden göçmelerin tamamen zemin koşullarının etkisiyle meydana geldiğini söylemek mümkün olmasa da- zemin büyütmesinin önemini göstermesi açısından önemlidir. Söz konusu bölgede, doğal titreşim periyodu T_1 ve T_2 'ye yakın binalar için tehlike söz konusudur.

İvme kaydında yapılan ölçeklendirmenin büyütme spektrumları üzerine etkisi incelendiğinde, en büyük yer ivmesi 0.04g olan kayıt kullanılarak bulunan zemin büyütme değerlerinin, 0.2g lik kayıt kullanılarak bulunan zemin büyütme değerlerinden oldukça büyük olduğu görülebilir. Bu durum anakaya hareketinin daha küçük olması durumunda zemin büyütmesinin daha etkili olacağını açıklamaktadır.

%5 sönüm oranı için, zemin yüzeyindeki ortalama davranış spektrumları incelendiğinde, DBYBHY, 2007'de [44] elastik davranış spektrumu için verilen artış değeri olan 2.5'dan daha büyük artış değerleri söz konusudur. Bu artış değerleri, Çizelge 2.5'de verilmiş olup, en büyük bağıl artış oranı, en büyük yer ivmesi 0.04g olan kayıta %72, en büyük yer ivmesi 0.2g olan kayıta ise %64 olarak bulunmuştur.

Anakaya hareketinin enerji değişimini gözlemek amacıyla çizilen genlik spektrumları incelendiğinde, göz önüne alınan deprem kayıtları için zemin yüzeyindeki Fourier genliğinin en alt tabakadaki genliğe oranının 3~5 kat arasında değiştiği görülmüştür. Bu durum, yüzeyde oluşacak hareketin alt tabakalarda oluşacak hareketten daha kuvvetli olacağını bir göstergesidir.

Bu çalışma, yerel zemin koşullarının ve zemin büyütmesi kavramının önemini açıkça ortaya koymaktadır. Bu nedenle, zemin büyütmesi ve sıvılaşma gibi önemli etkilerin özellikle yumuşak zeminlerin bulunduğu bölgelerde dikkate alınması gerekmektedir.

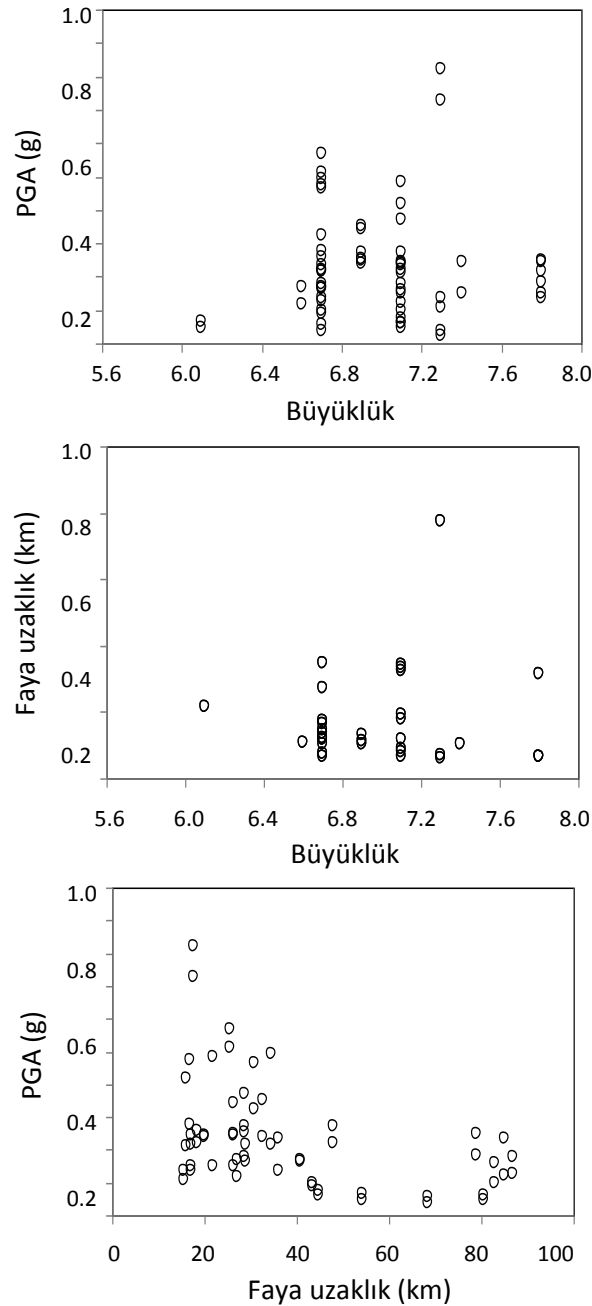
YER HAREKETLERİ VE İNCELENEN YAPISAL DAVRANIŞ PARAMETRELERİ

3.1 Kullanılan Deprem Kayıtları

2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te belirtildiği üzere, zaman tanım alanında hesap yapılırken, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların en büyüğü, yedi ve daha fazla yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır [44]. Yine NEHRP Provisions ve ATC dökümanlarına göre yedi ve/veya daha fazla yer hareketi kullanılması durumunda, çözümlemeler sonucu bulunan değerlerin ortalamasının, yediden daha az yer hareketi kullanılması durumunda ise çözümlemeler sonucu bulunan değerlerin en büyüğünün tasarım değeri olarak alınması belirtilmiştir. Üçten daha az yer hareketi kullanılmasına izin verilmediği için, bu durumda yapay yer hareketlerinin üretilmesi gerekmektedir. Kaydedilmiş yer hareketlerinin, yapının bulunduğu sahadaki bilinen deprem büyüklüğü, deprem kaynağı özellikleri ve kaynaktan zemine doğru yayılım özelliklerine sahip ya da benzer olacak şekilde seçilmesi gereklidir. Ayrıca, seçilen yer hareketlerinin, yapının üzerinde bulunduğu zemin özelliklerine sahip olması gerekmektedir [32, 45].

Bu çalışmada, United States Geological Survey (USGS) sınıflandırma sistemine göre A, B, C ve D zemin sınıfları üzerinde kaydedilmiş deprem kayıtları kullanılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre, kayma dalgası hızı 750 m/s'den daha büyük olan sert kaya A zemin sınıfını; kayma dalgası hızı 360 ile 750 m/s arasındaki yumuşak kaya ve çok sıkı zemin B sınıfını; kayma dalgası hızı 180 ile 360 m/s arasındaki sıkı zemin C sınıfını ve kayma dalgası hızı 180 m/s'den daha küçük olan çok yumuşak zemin D sınıfını temsil etmektedir [46]. Seçilen deprem kayıtlarının yakın fay etkisini içermemesi amacıyla,

ATC – 40 belgesinde verilen faya uzak (>10km) 20 adet deprem kaydı ile ATC – 63 dökümanında önerilen 22 deprem kaydını içermesi amaçlanmıştır [45, 47]. Seçilen deprem kayıtları Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)’dan sağlanmıştır [48]. Seçilen deprem kayıtları ve özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu deprem kayıtlarının faya uzaklık – en büyük yer ivmesi – büyüklük ilişkileri ise Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1 Kullanılan deprem kayıtları için büyüklük - faya uzaklık - en büyük yer ivmesi ilişkileri

Çizelge 3. 1 Kullanılan deprem kayıtları ve özelliklikleri

Depremin Adı	Büyüklik (M_w)	İstasyon Adı	İstasyon numarası	Faya uzaklık (km)	1. Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	2. Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	Zemin Sınıfı
Loma Prieta 18/10/89	7.1	Coyote Lake Dam	57217	21.8	CYC195	0.151	16.2	CYC285	0.484	39.7	A
Loma Prieta 18/10/89	7.1	Monterey City Hall	47377	44.8	MCH000	0.073	3.5	MCH090	0.063	5.8	A
Loma Prieta 18/10/89	7.1	SC Pacific Heights	58131	80.5	PHT270	0.061	12.8	PHT360	0.047	9.2	A
Northridge 17/01/94	6.7	Lake Hughes 9	127	28.9	L09000	0.165	8.4	L09090	0.217	10.1	A
Northridge 17/01/94	6.7	Wrightwood-Jackson Flat	23590	68.4	WWJ090	0.056	10	WWJ180	0.037	7	A
Northridge 17/01/94	6.7	Sandberg Bald Mtn	24644	43.4	SAN090	0.091	12.2	SAN180	0.098	8.9	A
Kocaeli 17/08/99	7.8	Gebze	-	17	GBZ000	0.244	50.3	GBZ270	0.137	29.7	A
Northridge 17/01/94	6.7	MT Wilson-Cit Seis Sta	24399	36.1	MTW000	0.234	7.4	MTW090	0.134	5.8	A

Çizelge 3. 1 Kullanılan deprem kayıtları ve özellikleri (devamı)

Deprem Adı	Büyüklik (M _w)	İstasyon Adı	İstasyon numarası	Faya uzaklık (km)	1. Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	2. Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	Zemin Sınıfı
Loma Prieta 18/10/89	7.1	Anderson Dam Downstream	1652	20	AND270	0.244	20.3	AND360	0.24	18.4	B
Northridge 17/01/94	6.7	Castaic Old Ridge	24278	25.4	ORR090	0.568	52.1	ORR360	0.51 ₄	52.2	B
Northridge 17/01/94	6.7	LA Century City North	24389	18.3	CCN090	0.256	21.1	CCN360	0.22 ₂	25.2	B
Kocaeli 17/08/99	7.8	Arçelik	-	17	ARC000	0.218	17.7	ARC090	0.14 ₉	39.5	B
Loma Prieta 18/10/89	7.1	Golden Gate Bridge	1678	85.1	GGB270	0.233	38.1	GGB360	0.12 ₃	17.8	B
Northridge 17/01/94	6.7	Ucla Grounds	24688	16.8	UCL090	0.278	22	UCL360	0.47 ₄	22.2	B
Northridge 17/01/94	6.7	LA Univ. Hospital	24605	34.6	UNI005	0.493	31.1	UNI095	0.21 ₄	10.8	B
Loma Prieta 18/10/89	7.1	Anderson Dam Downstream	1652	20	AND270	0.244	20.3	AND360	0.24	18.4	B

Çizelge 3. 1 Kullanılan deprem kayıtları ve özellikleri (devamı)

Deprem Adı	Büyüklik (M _w)	İstasyon Adı	İstasyon numarası	Faya uzaklık (km)	1. Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	2. Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	Zemin Sınıfı
Landers 28/06/92	7.4	Yermo Fire Station	22074	26.3	YER270	0.245	51.5	YER360	0.152	29.7	C
Loma Prieta 18/10/89	7.1	Hollister - South & Pine	47524	28.8	HSP000	0.371	62.4	HSP090	0.177	29.1	C
Northridge 17/01/94	6.7	Downey- Birchdale	90079	40.7	BIR090	0.165	12.1	BIR180	0.171	8.1	C
Northridge 17/01/94	6.7	LA-Centinel	90054	30.9	CEN155	0.465	19.3	CEN245	0.322	22.9	C
Imperial Valley 15/10/79	6.9	Chihuahua	6621	28.7	CHI012	0.27	24.9	CHI282	0.254	30.1	C
Imperial Valley 15/10/79	6.9	Delta	6605	32.7	DLT262	0.238	26	DLT352	0.351	33	C
Loma Prieta 18/10/89	7.1	Gilroy Array #4	57382	16.1	G04000	0.417	38.8	G04090	0.212	37.9	C
Düzce 12/11/99	7.3	Bolu	Bolu	17.6	BOL000	0.728	56.4	BOL090	0.822	62.1	C

Çizelge 3. 1 Kullanılan deprem kayıtları ve özellikleri (devamı)

Deprem Adı	Büyüklik (M _w)	İstasyon Adı	İstasyon numarası	Faya uzaklık (km)	1. Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	2. Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	Zemin Sınıfı
Loma Prieta 18/10/89	7.1	Appel 2 Redwood City	1002	47.9	A02043	0.274	53.6	A02133	0.22	34.3	D
Northridge 17/01/94	6.7	Montebello	90011	86.8	BLF206	0.179	9.4	BLF296	0.128	5.9	D
Superstition Hills 24/11/87	6.6	Salton Sea Wildlife Refuge	5062	27.1	WLF225	0.119	7.9	WLF315	0.167	18.3	D
Loma Prieta 18/10/89	7.1	Treasure Island	58117	82.9	TRI000	0.1	15.6	TRI090	0.159	32.8	D
Kocaeli 17/08/99	7.8	Ambarlı	-	78.9	ATS000	0.249	40	ATS090	0.184	33.2	D
Morgan Hill 24/04/84	6.1	Appel 1 Redwood City	58375	54.1	A01040	0.046	3.4	A01310	0.068	3.9	D
Düzce 12/11/99	7.3	Ambarlı	-	193.3	ATS030	0.038	7.4	ATS300	0.025	7.1	D
Kobe 16/01/95	6.9	Kakogawa	0	26.4	KAK000	0.251	18.7	KAK090	0.345	27.6	D

3.2 İncelenen Yapısal Davranış Parametreleri

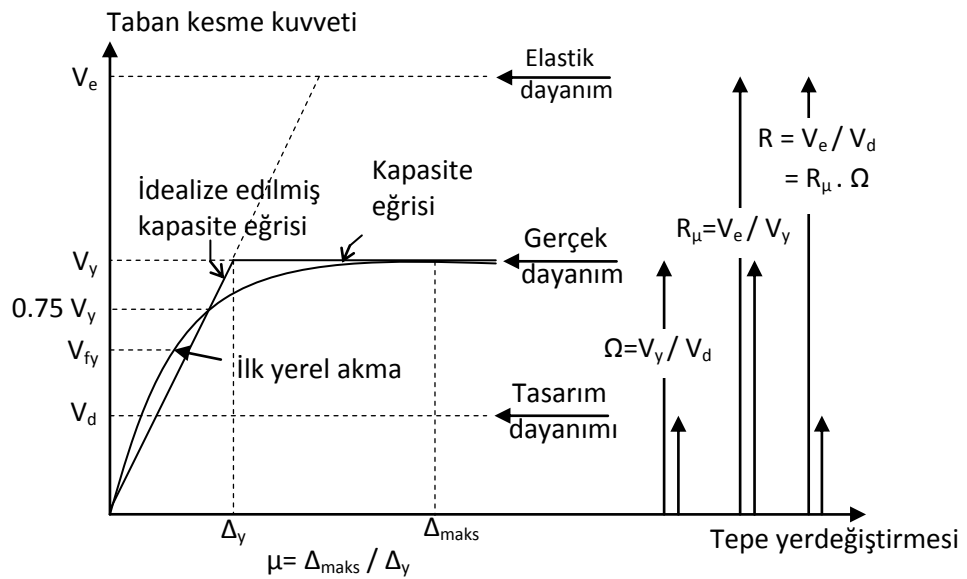
Mevcut deprem kayıtları değerlendirilerek yapılan dinamik çözümlemeler, yapıların şiddetli depremler etkisinde elastik ötesi davranış gösterdiğini, elastik sınırlar içinde kalacak şekilde tasarlanmaları durumunda ise, ekonomik açıdan hiç de uygun olmayan kesitlerle karşılaşılacağını göstermektedir. Bu nedenle uygulamada, yapıların tasarımında önemli bir etken olan deprem yükleri etkisi altında yapıların elastik ötesi davranışlarını da dikkate alarak tasarım yapılır.

Yapıların sismik tasarımı için yürürlükteki birçok deprem yönetmeliği, elastik, sönümlü ve zemine rijit bağlı yapısal modellerin statik ya da dinamik çözümleme yöntemlerine yer vermekte olup; taban kesme kuvvetini, elastik tasarım spektrumuna bağlı olarak ifade etmektedir. Aralarında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik [44], ASCE 7-02 Standardı [49], ve 2003 International Building Code [50]'un da bulunduğu birçok yönetmelik, bu elastik tasarım spektrumunu %5 sönüm oranı için tanımlamıştır. Bununla birlikte, yapıların sismik etkiler altında elastik ötesi davranacağı ve kalıcı deformasyonlar yapabileceğinden hareketle, elastik tasarım spektrumunun yapının elastik ötesi davranışını dikkate alan bir deprem yükü azaltma katsayısı (R , *seismic load reduction factor*, *response modification factor*, *strength reduction factor*, *behaviour factor*) ile azaltılarak, sismik taban kesme kuvvetinin elastik ötesi seviyeye indirgenmesi sismik tasarımda gereklidir. Bu amaçla; yapısal sistemlerin elastik ötesi şekil değiştirme yapabilmesi, dolayısıyla enerji sönümleyebilme kapasitesinin bir ölçüsü olan süneklik kavramı ve bu kavramın iyi tanımlanabilmesi deprem mühendisliği açısından oldukça önemlidir. Bir yapısal sistemin göçme anına kadar sönümlendiği enerjinin büyüklüğü, o sistemin sünekliği ile orantılıdır. Süneklik oranı ne kadar büyükse, yapının göçmeden önce yapacağı yer değiştirme ve sönümleyeceği enerji de o kadar büyük olur. Elastik ötesi davranışı temsil eden bu süneklik kavramının ve deprem yükü azaltma katsayısının bulunuşu ise birçok çalışmanın konusu olmuştur.

3.2.1 Deprem Yükü Azaltma Katsayıları

Yukarıda bahsedildiği üzere, yapıların sismik tasarımı için yürürlükteki birçok deprem yönetmeliği, elastik, sönümlü ve zemine ankastre bağlı yapısal modellerin statik ya da dinamik çözümleme yöntemlerine yer vermekte olup, sismik taban kesme kuvveti, %5

sönüm oranı için tanımlanmış olan elastik tasarım spektrumuna bağlı olarak ifade edilmektedir. Bununla birlikte, yapıların deprem etkisinde elastik ötesi davranacağı ve kalıcı şekil değiştirmeler yapabileceğinden hareketle, bu elastik taban kesme kuvvetinin, yapının elastik ötesi davranışını dikkate alan bir katsayı ile azaltılarak kullanılması yolu izlenmektedir. Bu amaçla deprem yükü azaltma katsayıları tanımlanmış olup, bu deprem yükü azaltma katsayıları, elastik taban kesme kuvvetinin, tasarım taban kesme kuvvetine oranı olarak açıklanmaktadır. Şekil 3.2’de deprem yükü azaltma katsayısı, R , yapısal dayanım fazlalığı Ω , ve süneklığe dayalı deprem yükü azaltma katsayısı, R_μ arasındaki ilişkiler gösterilmiştir [51].



Şekil 3. 2 Deprem yükü azaltma katsayısı, R , yapısal dayanım fazlalığı Ω , ve süneklığe dayalı deprem yükü azaltma katsayısı, R_μ arasındaki ilişkiler [51]

Dayanım azaltma katsayısı -bir başka deyişle, deprem yükü azaltma katsayısının süneklığe bağlı kısmı (ductility reduction factor)- elastik deprem isteminin, binanın gerçek dayanımına oranı ($R_\mu = V_e / V_y$), deprem yükü azaltma katsayısı ise, elastik deprem isteminin, tasarım dayanımına oranı ($R = V_e / V_d$) olarak tanımlanmaktadır. Binanın gerçek dayanımı ile tasarım dayanımı arasındaki oran ise, dayanım fazlalığı katsayısı (structural overstrength, $\Omega = V_y / V_d$) olarak ifade edilir.

En genel halde elastik deprem istemi, herhangi bir deprem kaydı için yapının periyoduna karşılık gelen elastik spektral ivme ile yapının kütle sinin çarpımına eşittir ($V_{elastik} = m \cdot S_{ae}$) Tasarım dayanımı ise, yapıda elastik ötesi davranışın başladığı andaki dayanım olarak kabul edilebilir. Bir serbestlik dereceli bir sistemde akma noktası, akma

kuvvetine ulaşıldığı anda kolaylıkla belirlenebilir. Oysa çok serbestlik dereceli bir sistemde ilk akma noktasının belirlenmesi pratik olmayıp, bunun için bir akma ölçütünün tanımlanmasına ihtiyaç vardır.

Deprem yükü azaltma katsayıları konusunda bilinen ilk çalışma 1973 yılında Newmark ve Hall tarafından yapılmıştır [52]. 1940 El Centro depreminin kuzey – güney bileşeninin elastik ve elastik olmayan tepki spektrumu esas alınarak gerçekleştirilmiş bu çalışmada; deprem yükü azaltma katsayıları değişik periyot aralıkları için aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$0 \leq T \leq \frac{T_1}{10} \quad R_\mu = 1 \quad (3.1)$$

$$\frac{T_1}{10} \leq T \leq \frac{T_1}{4} \quad R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \left[\frac{T_1}{4T} \right]^{2.513 \log \left[\frac{1}{\sqrt{2\mu - 1}} \right]} \quad (3.2)$$

$$\frac{T_1}{4} \leq T \leq T'_1 \quad R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \quad (3.3)$$

$$T'_1 \leq T \leq T_1 \quad R_\mu = \frac{T\mu}{T_1} \quad (3.4)$$

$$T_1 \leq T \leq T_2 \quad R_\mu = \mu \quad (3.5)$$

$$T_1 \leq T \leq 10.0s \quad R_\mu = \mu \quad (3.6)$$

$$T_1 = 2\pi \frac{\phi_{ev} V}{\phi_{ea} A} \quad , \quad T'_1 = T_1 \frac{\mu}{\sqrt{2\mu - 1}} \quad , \quad T_2 = 2\pi \frac{\phi_{ed} D}{\phi_{ev} V} \quad (3.7)$$

Bu denklemlerde; μ , yer değiştirme sünekliğini, A, V ve D sırasıyla en büyük yer ivmesini, en büyük yer hızını, en büyük yer değiştirmeyi temsil ederken, ϕ_{ea} , ϕ_{ev} ve ϕ_{ed} ise bu yer büyüklüklerine uygulanan büyütme faktörleridir.

Riddell ve Newmark [53] deprem yükü azaltma katsayıları için yeni bağıntılar geliştirmiştir. Bu bağıntılar, Newmark'ın daha önceki çalışmasına benzer şekilde yer değiştirme sünekliğine ve yapısal periyoda bağlı olmakla beraber, iki çalışma arasındaki en önemli fark, bu çalışma sonucunda önerilen R katsayılarının sönüm oranına da (β) bağlı olarak verilmesidir.

$$0 \leq T \leq 0.0303s \quad R_\mu = 1 \quad (3.8)$$

$$0.0303s \leq T \leq 0.125s \quad R_\mu = (p_a \mu - q_a)^{f_a} \left[\frac{1}{8T} \right]^{1.625 \log \left[(p_a \mu - q_a)^{-f_a} \right]} \quad (3.9)$$

$$0.125s \leq T \leq T'_1 \quad R_\mu = (p_a \mu - q_a)^{r_a} \quad (3.10)$$

$$T'_1 \leq T \leq T_1 \quad R_\mu = \frac{T}{T_1} (p_v \mu - q_v)^{r_v} \quad (3.11)$$

$$T_1 \leq T \leq T'_2 \quad R_\mu = (p_v \mu - q_v)^{r_v} \quad (3.12)$$

$$T'_2 \leq T \leq T_2 \quad R_\mu = \frac{T}{T_2 p_d \mu^{-r_d}} \quad 1.5 \leq \mu \leq 10 \quad (3.13)$$

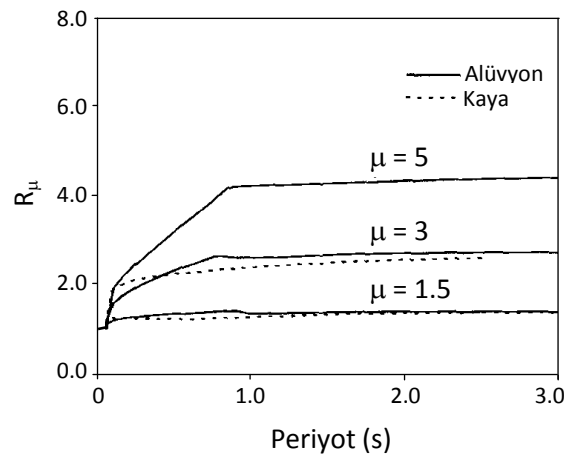
$$T_2 \leq T \leq 10.0 s \quad R_\mu = \frac{1}{p_d \mu^{-r_d}} \quad 1.5 \leq \mu \leq 10 \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} p_a &= q_a + 1 & q_a &= 3.0\beta^{-0.3} & r_a &= 0.48\beta^{-0.08} & 2 \leq \beta \leq 10 \\ p_v &= q_v + 1 & q_v &= 2.7\beta^{-0.4} & r_v &= 0.66\beta^{-0.04} & 2 \leq \beta \leq 10 \\ p_d &= 0.87\beta^{0.055} & & & r_d &= 1.07 & 2 \leq \beta \leq 10 \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$T_1 = 2\pi \frac{\phi_{ev} V}{\phi_{ea} A}, \quad T'_1 = T_1 \frac{(p_a \mu - q_a)^{r_a}}{(p_v \mu - q_v)^{r_v}} \quad (3.16)$$

$$T_2 = 2\pi \frac{\phi_{ed} D}{\phi_{ev} V}, \quad T'_2 = T_2 p_d \mu^{-r_d} (p_v \mu - q_v)^{r_v} \quad (3.17)$$

Yerel zemin koşullarının etkisinin dikkate alındığı ilk çalışma Elghadamsi ve Mohraz [54] tarafından yürütülmüş olup, bu çalışmada alüvyon zeminde kaydedilen 50 yatay yer hareketi bileşeni ile kayada kaydedilen 26 yatay yer hareketi bileşeni göz önüne alınmıştır. Deprem yükü azaltma katsayıları için tanımlanan küçültme faktörleri alüvyon ve kaya zemin için ayrı ayrı belirlenerek, R_μ katsayılarının değişimi Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3. 3 Elghadamsi - Mohraz tarafından önerilen R_μ katsayılarının değişimleri [54]

Yerel zemin koşullarının etkisinin dikkate alındığı bir diğer çalışma Nassar ve Krawinkler tarafından yürütülmüş olup, bu çalışmada deprem merkezine uzaklık, yapının serbest titreşim periyodu, akma düzeyi, pekleşme ve malzemenin elastik ötesi davranışının (bilineer ya da rijitlik azalması) deprem yükü azaltma katsayılarına etkisi araştırılmıştır [55]. Çalışma sonucunda, deprem merkezine uzaklık ve malzemenin rijitlik azalmasının ihmal edilebilir değişkenler olduğu sonucuna varılmıştır. R_μ değeri;

$$R_\mu = [c(\mu - 1) + 1]^{1/c} \quad \text{ve} \quad c(T, \alpha) = \frac{T^a}{1 + T^a} + \frac{b}{T} \quad (3.18)$$

ile verilmiştir. α akma sonrası rijitlik olup, başlangıç rijitliğinin yüzdesi cinsindendir. Buradaki a ve b parametreleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3. 2 Nassar ve Krawinkler’e göre deprem yükü azaltma katsayısını belirlemeye yönelik a ve b parametreleri [55]

α	a	b
0.00	1.00	0.42
0.02	1.00	0.37
0.10	0.80	0.29

Yer hareketlerinin deprem yükü azaltma katsayıları üzerine etkisinin araştırılması amacıyla, farklı zemin koşullarında kaydedilmiş 124 adet deprem kaydının kullanıldığı bir çalışma [56] yapılmıştır. Kayıt yapılan bölgelere göre deprem kayıtları; kaya, alüvyon zeminde ve çok yumuşak zeminde alınan kayıtlar olmak üzere 3 kısma ayrılmıştır. Yapılan çalışma sonunda, yerel zemin koşullarının deprem yükü azaltma katsayılarını etkilediği görülmüştür.

$$R_\mu = \frac{\mu - 1}{\Phi} + 1 \geq 1 \quad (3.19)$$

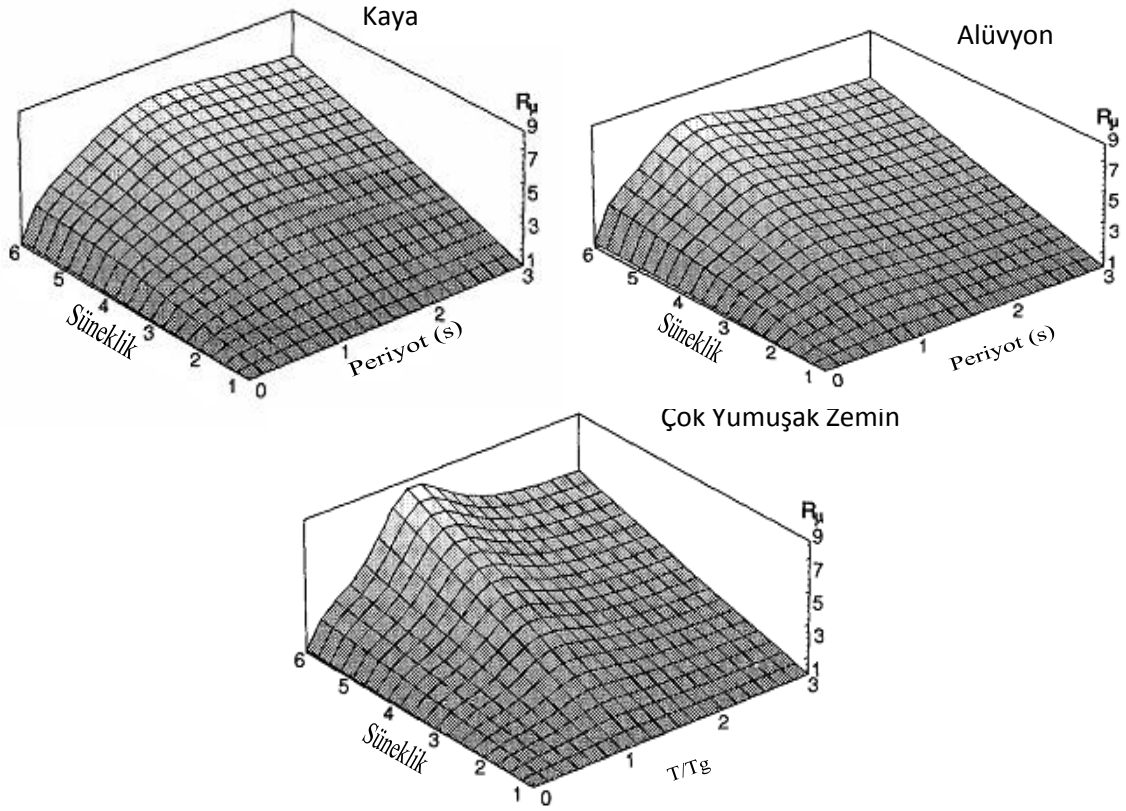
olarak verilen bu denklemde, Φ değeri μ , T ve zemin koşullarının bir fonksiyonudur.

$$\Phi = 1 + \frac{1}{10T - \mu T} - \frac{1}{2T} \exp \left[-\frac{3}{2} \left(\ln T - \frac{3}{5} \right)^2 \right] \quad (3.20)$$

$$\Phi = 1 + \frac{1}{12T - \mu T} - \frac{2}{5T} \exp \left[-2 \left(\ln T - \frac{1}{5} \right)^2 \right] \quad (3.21)$$

$$\Phi = 1 + \frac{T_g}{3T} - \frac{3T_g}{4T} \exp \left[-3 \left(\ln \frac{T}{T_g} - \frac{1}{4} \right)^2 \right] \quad (3.22)$$

(3.20) denklemi kaya için, (3.21) denklemi alüvyon zemin için ve (3.22) denklemi ise çok yumuşak zemin için verilmiştir. Denklemlerden de görüleceği üzere, deprem yükü azaltma katsayıları kaya ve alüvyon için yapısal periyoda bağlıyken, çok yumuşak zeminde bu katsayılar yapısal periyodun yer hareketinin hâkim periyoduna oranının bir fonksiyonudur. Miranda tarafından önerilen deprem yükü azaltma katsayıları Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3. 4 Miranda tarafından önerilen R_μ katsayılarının zemin koşullarına göre değişimleri [56].

Ayrıca Ordaz ve Perez-Rocha tarafından yapılan bir diğer çalışmada, elastoplastik sistemlerin deprem yükü azaltma katsayılarının bulunuşunda yeni bir yaklaşım önerilmiştir [57]. Bu önerilen yaklaşımda deprem yükü azaltma katsayılarının yalnızca elastik yerdeğiştirme spektrumuna bağlı olduğu kabul edilmiştir. R_μ katsayısı, elastik davranış için gereken deprem yükü ile μ süneklik düzeyi için gereken deprem yükü arasındaki oran olarak açıklanabilir. T , yapının periyodu olmak üzere,

$$R_\mu(T) = F(T,1)/F(T,\mu) \quad (3.23)$$

Bu nedenle eğer $R_\mu(T)$ biliniyorsa, μ süneklik düzeyini sağlamak için gereken deprem yükü, elastik kuvvetin $R_\mu(T)$ 'ye bölünmesi ile bulunabilir. Benzer şekilde, belirli bir periyot ve süneklik için, elastik olmayan yer değiştirme $D(T,\mu)$ de;

$$D(T,\mu) = D(T)\mu/R_\mu(T) \quad (3.24)$$

ile bulunabilir. Burada, $D(T)$ elastik yer değiştirme spektrumunu ifade etmektedir.

Ülkemizde de DBYBHY, 2007'e göre elastik deprem yüklerinin azaltılması için deprem yükü azaltma katsayısı tanımlanmıştır [44]. Elastik deprem yüklerinin azaltılması için

kullanılacak deprem yükü azaltma katsayısı, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R'ye ve doğal titreşim periyodu, T'ye bağlı olarak tanımlanmış olup,

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.25)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_A < T)$$

ile verilmiştir. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı değerleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3. 3 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.. ..	4	7
(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar		7
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	3	3
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrike binalar.. ..	-	5
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	3	6
(3) ÇELİK BİNALAR		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	-	4
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya . yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	4	5
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	-	7
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	5	6
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	-	8
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	7

3.2.2 Elastik Olmayan Yerdeğiştirme Oranı (C)

Elastik olmayan yerdeğiştirme oranı, bir sistemin en büyük elastik olmayan yatay yerdeğiştirme istemi ($\Delta_{inelastik}$) ile en büyük elastik yatay yerdeğiştirme istemi ($\Delta_{elastik}$) arasındaki oran olarak tanımlanır. Burada; $\Delta_{inelastik}$ sistemin herhangi bir noktasının yaptığı yatay yerdeğiştirmedir. Çoğu kez bu yerdeğiştirme sistemde tepe yerdeğiştirmesi olarak alınır. $\Delta_{elastik}$ ise aynı noktaya ait elastik yatay yerdeğiştirmenin en büyük değeri olup, herhangi bir deprem kaydı için yapının periyoduna karşılık gelen elastik spektral yerdeğiştirme değerine eşittir. Yürürlükte olan birçok standart ve benzeri belgelerde, en büyük yerdeğiştirmenin tahminine yönelik, doğrusal olmayan davranışı göz önüne alan bazı yaklaşımlar önerilmiştir. Bunlardan en önemlileri; Kapasite Spektrumu Yöntemi [45] ve Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi [58] olarak sıralanabilir.

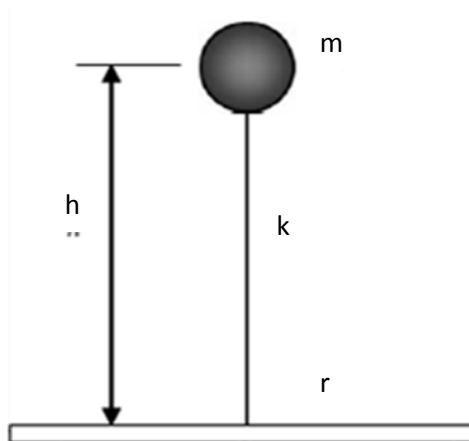
Elastik olmayan yerdeğiştirme oranı konusunda bilinen ilk çalışma Veletsos ve Newmark [59, 60] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda, elastoplastik çevrimsel davranışa ve belirli bir yerdeğiştirme sünekliğine sahip, sınırlı bir periyot aralığındaki bir serbestlik dereceli sistemler sınırlı sayıda deprem hareketi kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, büyük periyot bölgesinde, elastik ve elastik olmayan sistemlerin en büyük yerdeğiştirmelerinin yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu bulunmuş ve bu saptama “eşit yerdeğiştirme kuralı”nın temelini oluşturmuştur. Daha sonraları, birçok araştırmacı tarafından bilinen bu ilk çalışmalara dayanılarak, daha geniş periyot aralıkları ve daha kapsamlı yer hareketi setleri kullanılarak, elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır [55, 61, 62]. Yakın zamanda ise Miranda vd. tarafından sert ve yumuşak zeminler için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının belirlenmesi amacıyla çalışmalar yapılmıştır [63, 64, 65]. Bu çalışmalar hem yeni binaların tasarımı hem de mevcut binaların değerlendirilmesi için yapılmıştır. Benzer şekilde diğer bazı araştırmacılar tarafından da elastik olmayan yerdeğiştirme oranı için farklı bağıntılar önerilmiştir yapılmıştır [66, 67, 68]. Bu çalışmalar da aynı zamanda mevcut binaların değerlendirilmesine de yardımcı olmaktadır.

3.2.3 Yerdeşıştırme Sünekliği (μ) Katsayısı

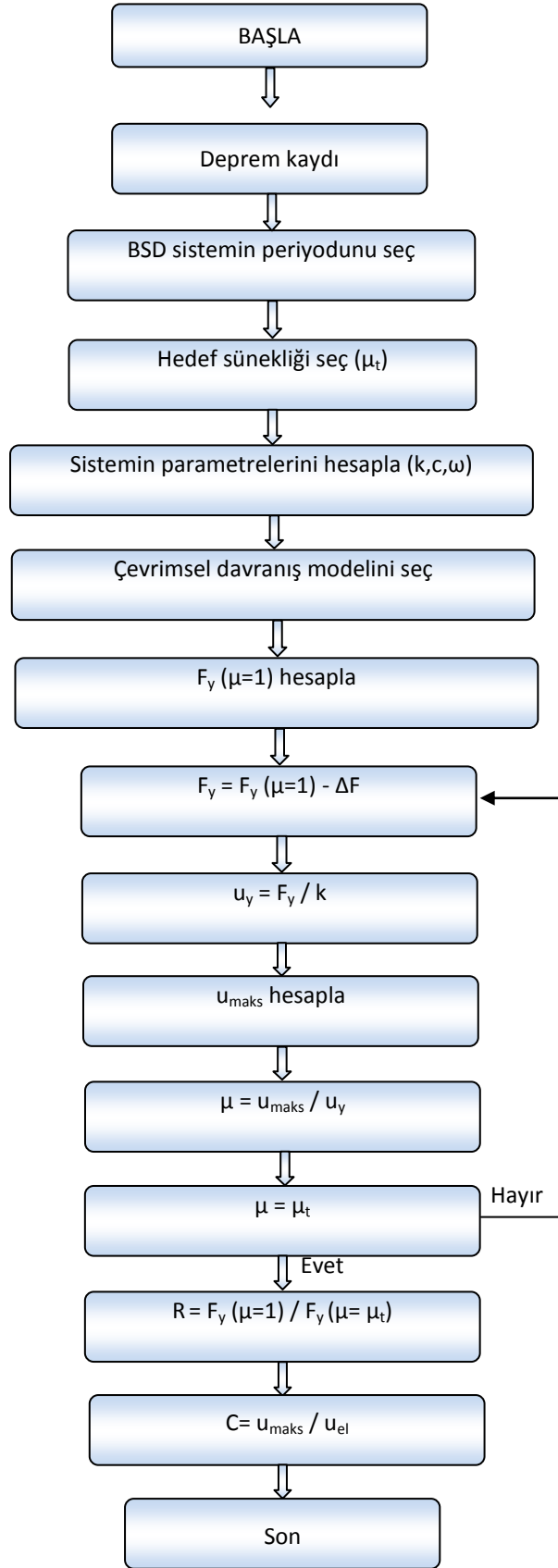
Şekil 3.2’de gösterilen taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirmesi ilişkisinde, süneklik, sunulan dayanıma göre, depremin binadan “süneklik istemi” ($\mu = u_{maks} / u_y$) olarak tanımlanır. Burada; u_y akma anında sistemin herhangi bir noktasının yaptığı yatay yerdeğiştirmedir. Çoğu kez bu yerdeğiştirme sistemde tepe yerdeğiştirmesi olarak alınır. u_{maks} ise aynı noktaya ait yatay yerdeğiştirmenin en büyük değeridir.

BİR SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLER İÇİN YAPILAN ÇÖZÜMLEMELER

Bu çalışma kapsamında öncelikle bir serbestlik dereceli sistemlerin, zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı (etkileşimli) ve alınmadığı (etkileşimsiz) durumlar için doğrusal olmayan dinamik çözümler yapılmıştır. Bu amaçla, periyot aralığı (T) 0.1 ile 3.0 s arasında değişen ve elasto-plastik davranışa sahip, hedef süneklik değeri (μ) 2, 3, 4, 5 ve 6 olan bir serbestlik dereceli sistemler ele alınmıştır. Ele alınan BSD sistemlere ait bir örnek gösterim Şekil 4.1’de verilmiştir. Etkileşimin dikkate alındığı durumlarda, narinlik oranının (h/r) 1 ila 5 arasındaki değerleri için çözümler tekrarlanmıştır. Burada h , BSD sistemin yüksekliğini, r ise dairesel temelin yarıçapını temsil etmektedir. Etkileşimli ve etkileşimsiz durumlardaki çözümler için Visual Basic programlama dilinde hazırlanan programın akış diyagramı Şekil 4.2’de verilmiştir. Sözü edilen programın çözüm yöntemi hakkındaki detaylı açıklamalar Bölüm 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4. 1 Örnek BSD sistem



Şekil 4. 2 Bir serbestlik dereceli sistemlerin çözümlenmesine ait akış diyagramı

4.1 İntegrasyon Yöntemi

Bir serbestlik dereceli bir sistemin doğrusal olmayan davranışını dikkate alan hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + f(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (4.1)$$

Bu denklemde m , c ve $f(t)$ sırasıyla kütle, sönüm ve yapıya geçen kuvveti göstermektedir. $\ddot{u}_g(t)$, yer ivmesini, $\ddot{u}(t)$, yapının ivmesini, $\dot{u}(t)$ ise yapının hızını ifade eder. Bu hareket denklemi aşağıdaki şekilde de yazılabilir:

$$\ddot{u}(t) + 2\omega\xi\dot{u}(t) + \frac{f(t)}{m} = -\ddot{u}_g(t) \quad (4.2)$$

(4.2) denkleminde, ω açısal frekansı, ξ ise sönüm oranını ve k yapının başlangıç rijitliğini göstermektedir.

$$\omega = \left[\frac{k}{m} \right]^{1/2} \quad \xi = \frac{c}{2m\omega} \quad (4.3)$$

(4.2) denklemi sistemin akma yerdeğiştirmesi ile normalize edilirse, aşağıdaki hali alır.

$$\frac{\ddot{u}(t)}{u_y} + 2\omega\xi \frac{\dot{u}(t)}{u_y} + \frac{f(t)}{m \cdot u_y} = -\frac{\ddot{u}_g(t)}{u_y} \quad (4.4)$$

Bir sistemde yerdeğiştirme sünekliği, en büyük mutlak yerdeğiştirmenin, akma yerdeğiştirmesine oranı olarak tanımlanır. Yerdeğiştirme sünekliğinin 1'den küçük değerleri elastik davranışı, 1'den büyük değerleri ise elastik ötesi davranışı belirtir.

$$\mu = \frac{u_{\max}}{u_y} \quad (4.5)$$

(4.4) denklemindeki son iki terim yeniden yazılarak, (4.6) ve (4.7) denklemleri elde edilir.

$$\frac{f(t)}{m \cdot u_y} = \frac{k}{k} \cdot \frac{f(t)}{m \cdot u_y} = \frac{k}{m} \cdot \frac{f(t)}{k \cdot u_y} = \omega^2 \cdot \frac{f(t)}{f_y} \quad (4.6)$$

$$\frac{\ddot{u}_g(t)}{u_y} = \frac{k}{k} \cdot \frac{\ddot{u}_g(t)}{u_y} = \omega^2 \cdot \frac{m \cdot \ddot{u}_g(t)}{f_y} \quad (4.7)$$

Yapının yatay dayanımı, en büyük atalet kuvveti ile normalize edilerek, boyutsuz dayanım katsayısı (4.8) denlemindeki gibi tanımlanabilir.

$$\eta = \frac{f_y}{m \cdot \ddot{u}_{g\max}} \quad (4.8)$$

(4.5), (4.6), (4.7) ve (4.8) denklemlerini (4.4) denkleminde yerine koyarak, (4.9) denklemi elde edilir.

$$\ddot{u}(t) + 2\omega\xi\dot{u}(t) + \omega^2 \frac{f(t)}{f_y} = -\frac{\omega^2}{\eta} \cdot \frac{\ddot{u}_g(t)}{\ddot{u}_{g_{max}}} \quad (4.9)$$

(4.9) denklemindeki η parametresi, sistemin akma dayanımını iteratif olarak değiştirebilmek amacıyla kullanılmıştır. Hazırlanan bilgisayar programı, belirli bir hedef yerdeğiştirme sünekliği için akma dayanımını iterasyonlar sonucunda bulur.

Hareket denkleminin sayısal olarak çözümü için çeşitli yaklaşık yöntemler mevcuttur ve genel olarak t_i anındaki yapı davranışından faydalanılarak t_{i+1} anındaki davranışın elde edilmesi esasına dayanırlar. Bu çalışmada, literatürde iyi bilinen yaklaşık çözüm yöntemlerinden Newmark yöntemi kullanılmış olup, bu yöntemde t_{i+1} anındaki davranış, t_i anındaki davranıştan faydalanılarak aşağıdaki denklemlerle bulunur: [69].

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + [(1-\gamma)\Delta t]\ddot{u}_i + (\gamma\Delta t)\ddot{u}_{i+1} \quad (4.10)$$

$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t)\dot{u}_i + [(0.5-\beta)(\Delta t)^2]\ddot{u}_i + [\beta(\Delta t)^2]\ddot{u}_{i+1} \quad (4.11)$$

Bu denklemlerdeki β ve γ parametreleri, ivmenin zamana göre değişimi ile yöntemin tutarlılığını ve stabilitesini ifade eder. Çoğunlukla; γ için 1/2 değeri ve β için 1/6 ila 1/4 arasındaki bir değer kabul edilir.

Sabit bir Δt_i zaman aralığı aşağıdaki gibi ifade edilmek üzere,

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i \quad (4.12)$$

t_i anındaki hareket denklemi (4.13)'deki gibi olur.

$$m\ddot{u}(t)_i + c\dot{u}(t)_i + f(t)_i = -m\ddot{u}_g(t)_i \quad (4.13)$$

t_{i+1} anında ise denklem şu şekilde olur.

$$m\ddot{u}(t)_{i+1} + c\dot{u}(t)_{i+1} + f(t)_{i+1} = -m\ddot{u}_g(t)_{i+1} \quad (4.14)$$

(4.13) ve (4.14) denklemlerindeki terimlerin farkları

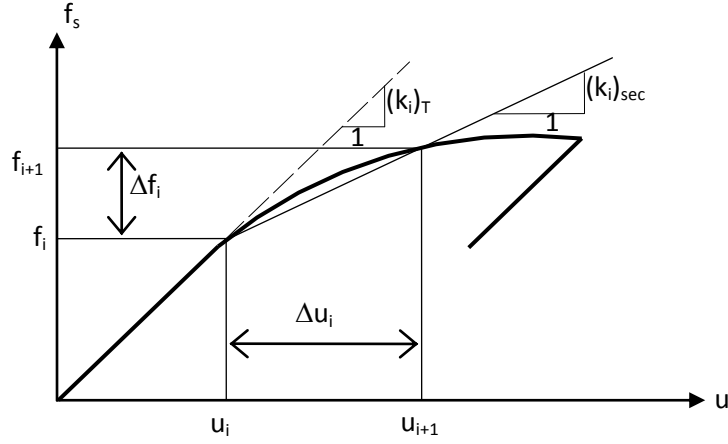
$$\Delta\ddot{u}_i = \ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i \quad \Delta\dot{u}_i = \dot{u}_{i+1} - \dot{u}_i \quad \Delta p_i = m\ddot{u}_g(t)_{i+1} - m\ddot{u}_g(t)_i \quad (4.15)$$

olarak yazılabilir. Bu fark terimleri kullanılarak (4.16) denklemi yazılabilir.

$$m\Delta\ddot{u}_i + c\Delta\dot{u}_i + \Delta f_i = \Delta p_i \quad (4.16)$$

Buradaki yapı dayanımındaki artış (4.17) denklemiyle ifade edilir:

$$\Delta f_i = (k_i)_{sec} \Delta u_i \quad (4.17)$$



Şekil 4. 3 Tanjant ve sekant rijitlikleri

Şekil 4.3’de gösterilmiş olan sekant rijitliği $(k_i)_{sec}$, u_{i+1} bilinmediğinden belirlenemez. Bunun yerine $(k_i)_T$ ile gösterilen tanjant rijitliği kullanılabileceği kabulüyle, (4.17) denklemi,

$$\Delta f_i \cong (k_i)_T \Delta u_i \quad (4.18)$$

halini alır. Buna bağlı olarak, (4.16) denklemi yeniden yazılırsa (4.19) denklemi elde edilir.

$$m\Delta\ddot{u}_i + c\Delta\dot{u}_i + (k_i)_T \Delta u_i = \Delta p_i \quad (4.19)$$

(4.10) ve (4.11) denklemleri tekrar yazılırsa (4.20) ve (4.21) denklemleri elde edilebilir.

$$\Delta\dot{u}_i = (\Delta t)\ddot{u}_i + (\gamma\Delta t)\Delta\ddot{u}_i \quad (4.20)$$

$$\Delta u_i = (\Delta t)\dot{u}_i + \frac{(\Delta t)^2}{2}\ddot{u}_i + \beta(\Delta t)^2 \Delta\ddot{u}_i \quad (4.21)$$

(4.21) denklemi $\Delta\ddot{u}_i$ için çözümlürse,

$$\Delta\ddot{u}_i = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2}\Delta u_i - \frac{1}{\beta\Delta t}\dot{u}_i - \frac{1}{2\beta}\ddot{u}_i \quad (4.22)$$

elde edilir. (4.22) denklemi (4.20) denkleminde yerine konarak,

$$\Delta\dot{u}_i = \frac{\gamma}{\beta\Delta t}\Delta u_i - \frac{\gamma}{\beta}\dot{u}_i + \Delta t\left(1 - \frac{\gamma}{2\beta}\right)\ddot{u}_i \quad (4.23)$$

elde edilir. (4.22) ve (4.23) denklemleri (4.19) denkleminde yerlerine konularak ve düzenlenerek (4.24) denklemi elde edilir.

$$\left[\frac{1}{\beta(\Delta t)^2}m + \frac{\gamma}{\beta\Delta t}c + (k_i)_T \right] \Delta u_i - \left(\frac{1}{\beta\Delta t}m + \frac{\gamma}{\beta}c \right) \dot{u}_i - \left[\frac{1}{2\beta}m + \Delta t\left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right)c \right] \ddot{u}_i = \Delta p_i \quad (4.24)$$

elde edilir. (4.19) denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\hat{k}\Delta u_i = \Delta \hat{p}_i \quad (4.25)$$

(4.25) denklemdeki terimler;

$$\hat{k} = \left[\frac{1}{\beta(\Delta t)^2} m + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} c + (k_i)_r \right] \quad (4.26)$$

ve

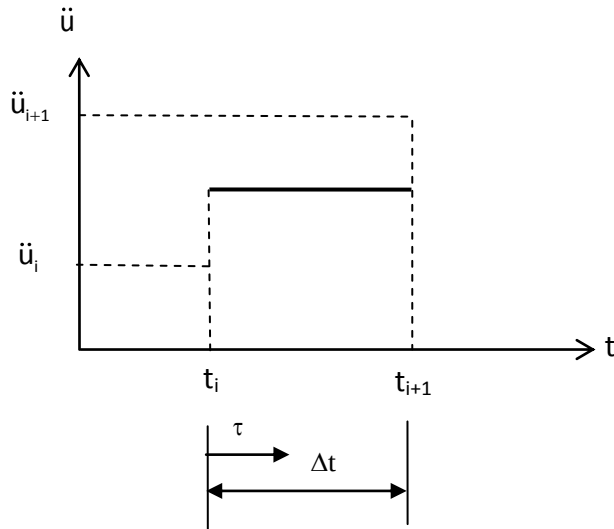
$$\Delta \hat{p}_i = \Delta p_i + \left(\frac{1}{\beta \Delta t} m + \frac{\gamma}{\beta} c \right) \dot{u}_i + \left[\frac{1}{2\beta} m + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) c \right] \ddot{u}_i \quad (4.27)$$

olarak yazılabilir.

t_i anındaki hız ve ivmenin bilinmesi durumunda $(\dot{u}_i, \ddot{u}_i)$, dış yükteki artışa da bağlı olarak, $\Delta \hat{p}_i$ (4.27) denklemiyle hesaplanabilir ve (4.25) denklemi kullanılarak Δu_i bulunabilir. Δu_i elde edildikten sonra da (4.22) ve (4.23) denklemleriyle $\Delta \ddot{u}_i$ ve $\Delta \dot{u}_i$ hesaplanabilir ve bu değerler t_i anındaki hız, ivme ve yer değiştirmeye eklenerek t_{i+1} anındaki hız, ivme ve yer değiştirme değerleri elde edilir.

Bu çalışmada, γ 'nın 0.5, β 'nın da 0.25 değerini aldığı, Newmark yönteminin özel bir hali olan, sabit ortalama ivme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, Δt zaman aralığı boyunca ivmenin sabit kaldığı ve t_i ve t_{i+1} anlarındaki ivmelerin ortalamasına eşit olduğu varsayılır.

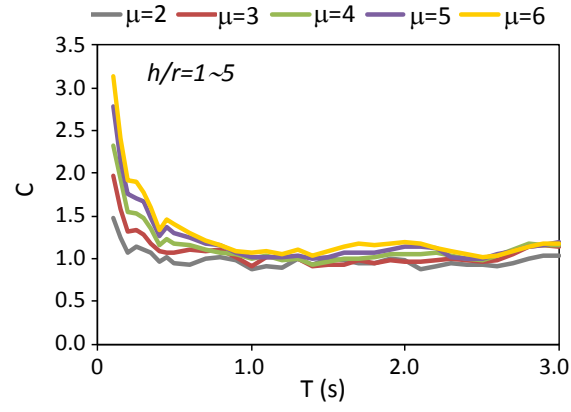
Şekil 4.4'te sabit ortalama ivme yönteminin dayandığı varsayım, bir serbestlik dereceli bir sistem için gösterilmiştir.



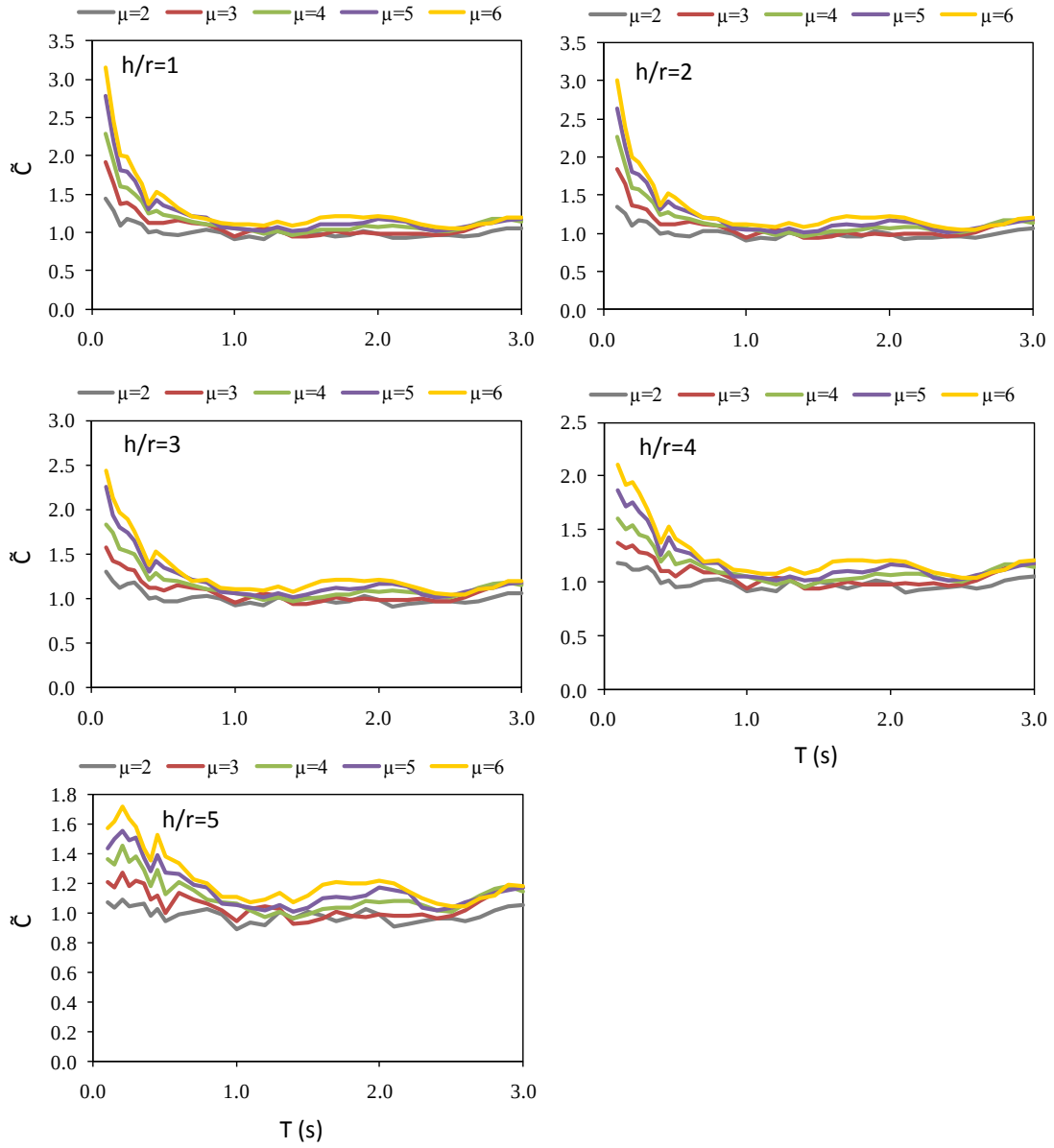
Şekil 4. 4 Sabit ortalama ivme yöntemi

4.2 Çözümleme Sonuçları

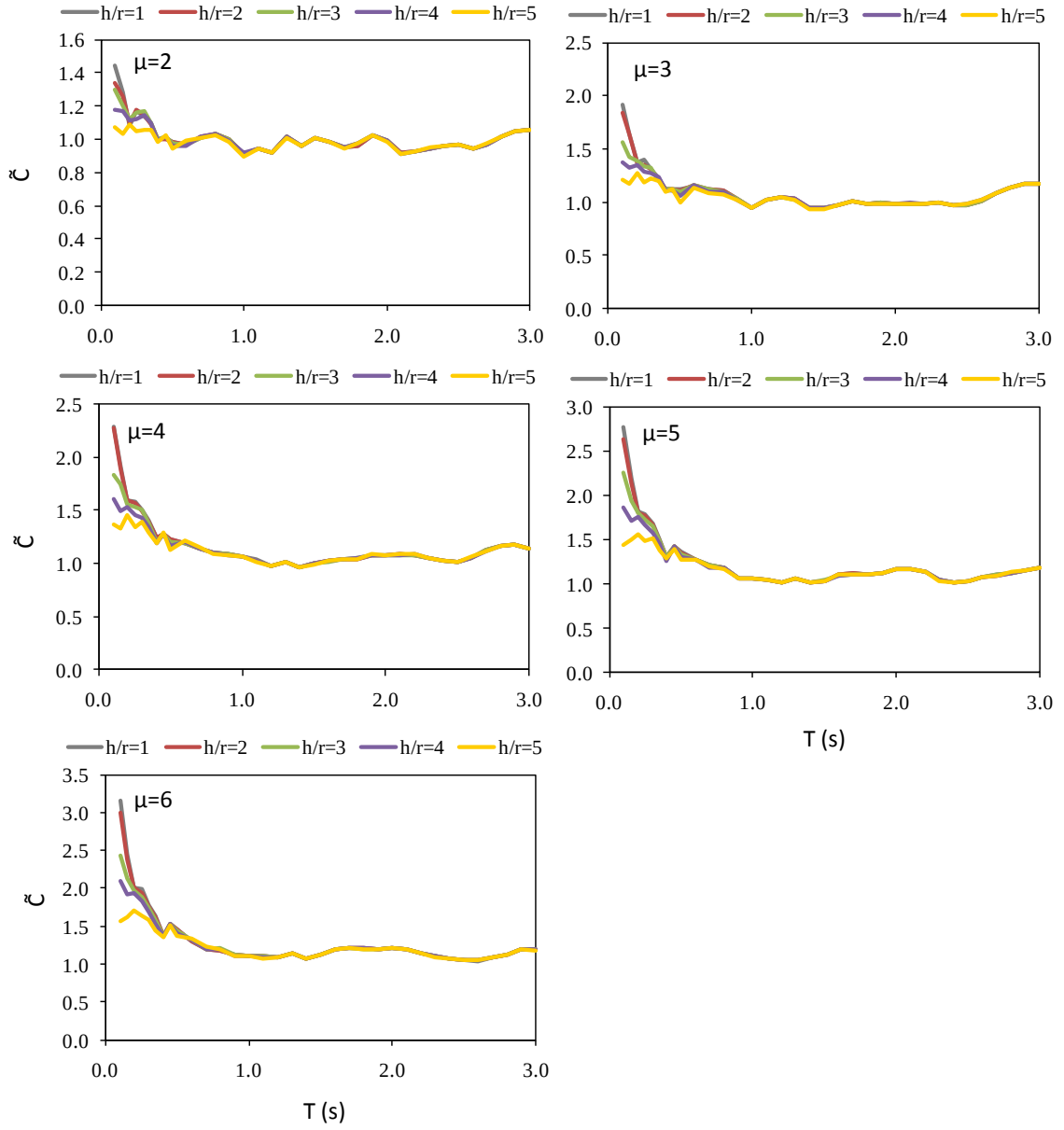
Çözümlemeler, göz önüne alınan 35 periyot değeri (0.1~3.0), 5 süneklik oranı (2~6), 5 narinlik oranı (1~5), ve Çizelge 3.1’de özellikleri verilen 64 deprem kaydı için zemin yapı etkileşiminin göz önüne alındığı ve alınmadığı durumlar için yapılmıştır. Çözümlemelerde, A, B, C ve D zemin sınıfları için kayma dalgası hızları sırasıyla; 700 m/s, 400 m/s, 250 m/s ve 150 m/s olarak, zemin birim hacim ağırlıkları ise sırasıyla; 22 kN/m³, 21 kN/m³, 20 kN/m³ ve 18 kN/m³ olarak alınmıştır [46]. Toplam 65280 çözümleme sonucunda bulunan sonuçlar aşağıda grafiklerle özetlenmiştir. Grafiklerde, “C ve R” etkileşimsiz durumdaki, “Č ve Ř” ise etkileşimli durumdaki yapısal davranış parametrelerini ifade etmektedir. Ayrıca elde edilen çözümleme sonuçları bir sonraki bölümde istatistiksel değerlendirmeye tabi tutulacaktır.



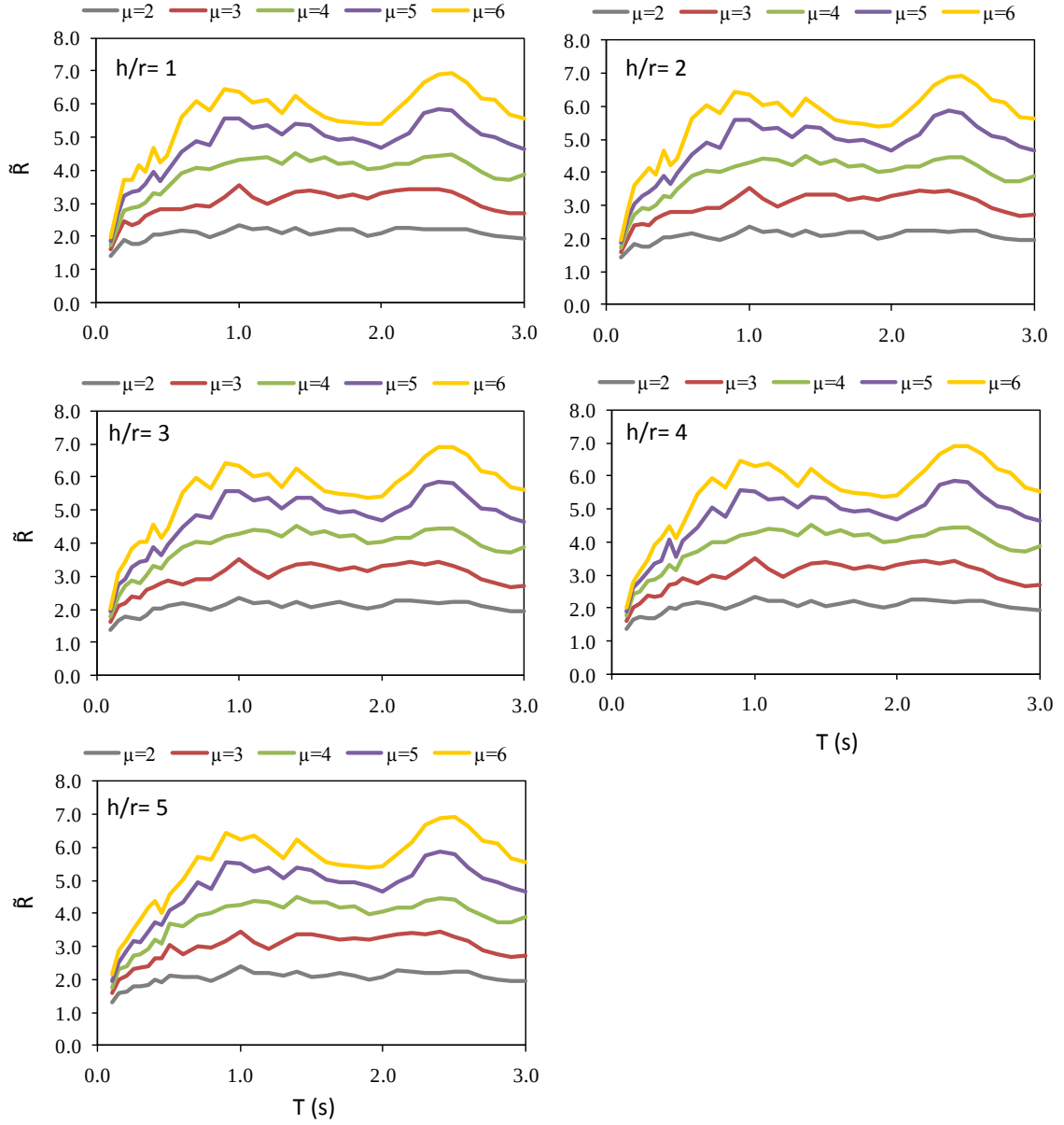
Şekil 4. 5 A zemin sınıfında etkileşimsiz durum için ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının süneklığe göre değişimi



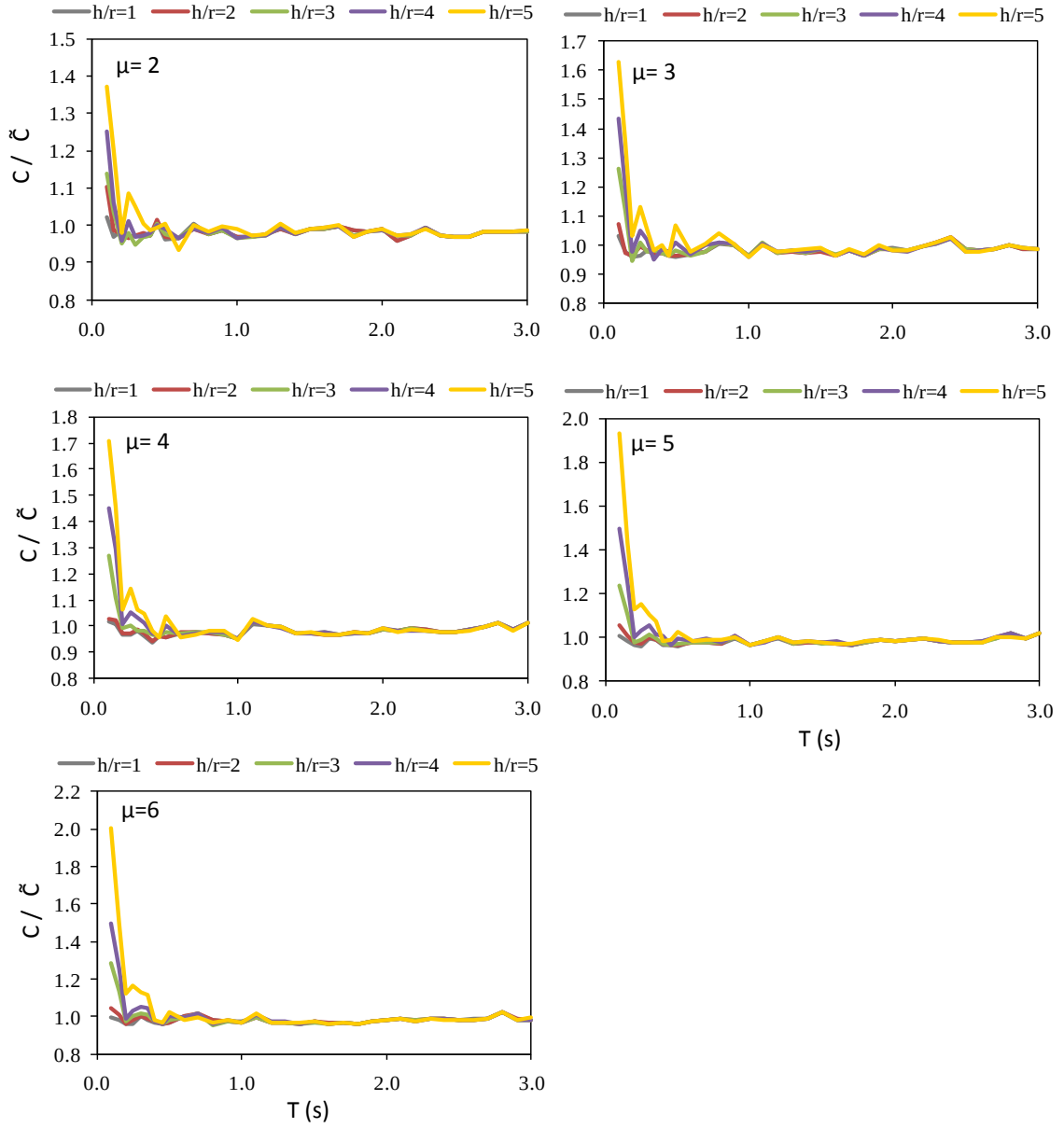
Şekil 4. 6 A zemin sınıfında etkileşimli durum için ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir narinlik oranı için süneklığe göre değişimi



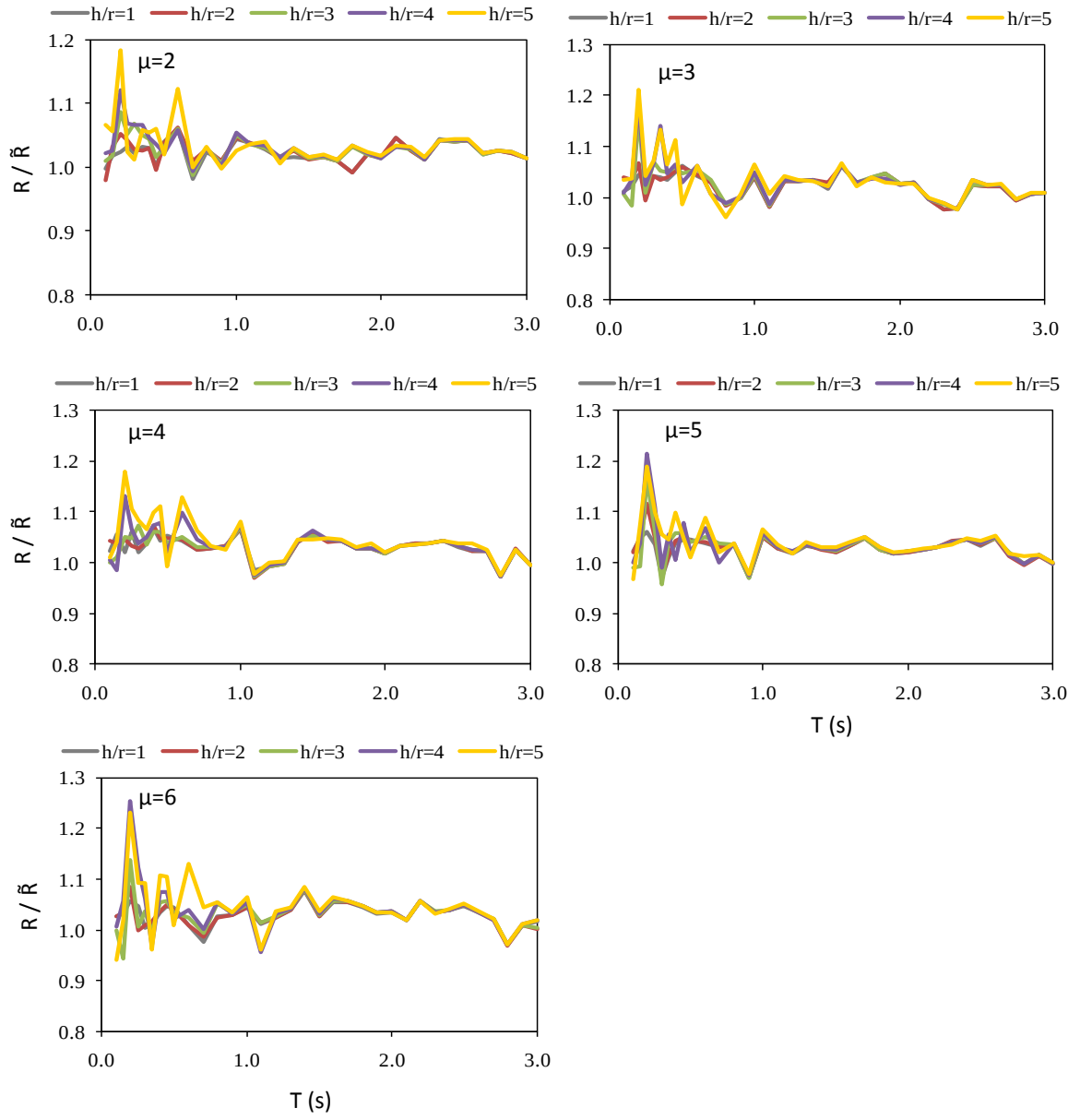
Şekil 4. 7 A zemin sınıfında etkileşimli durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi



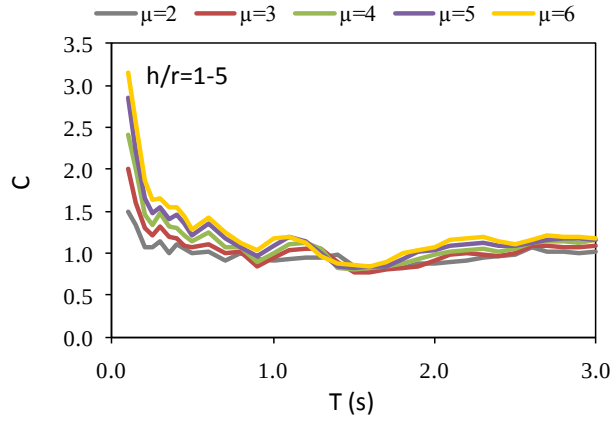
Şekil 4. 8 A zemin sınıfında etkileşimli durum için deprem yükü azaltma katsayılarının her bir narinlik oranı için süneklığe göre değişimi



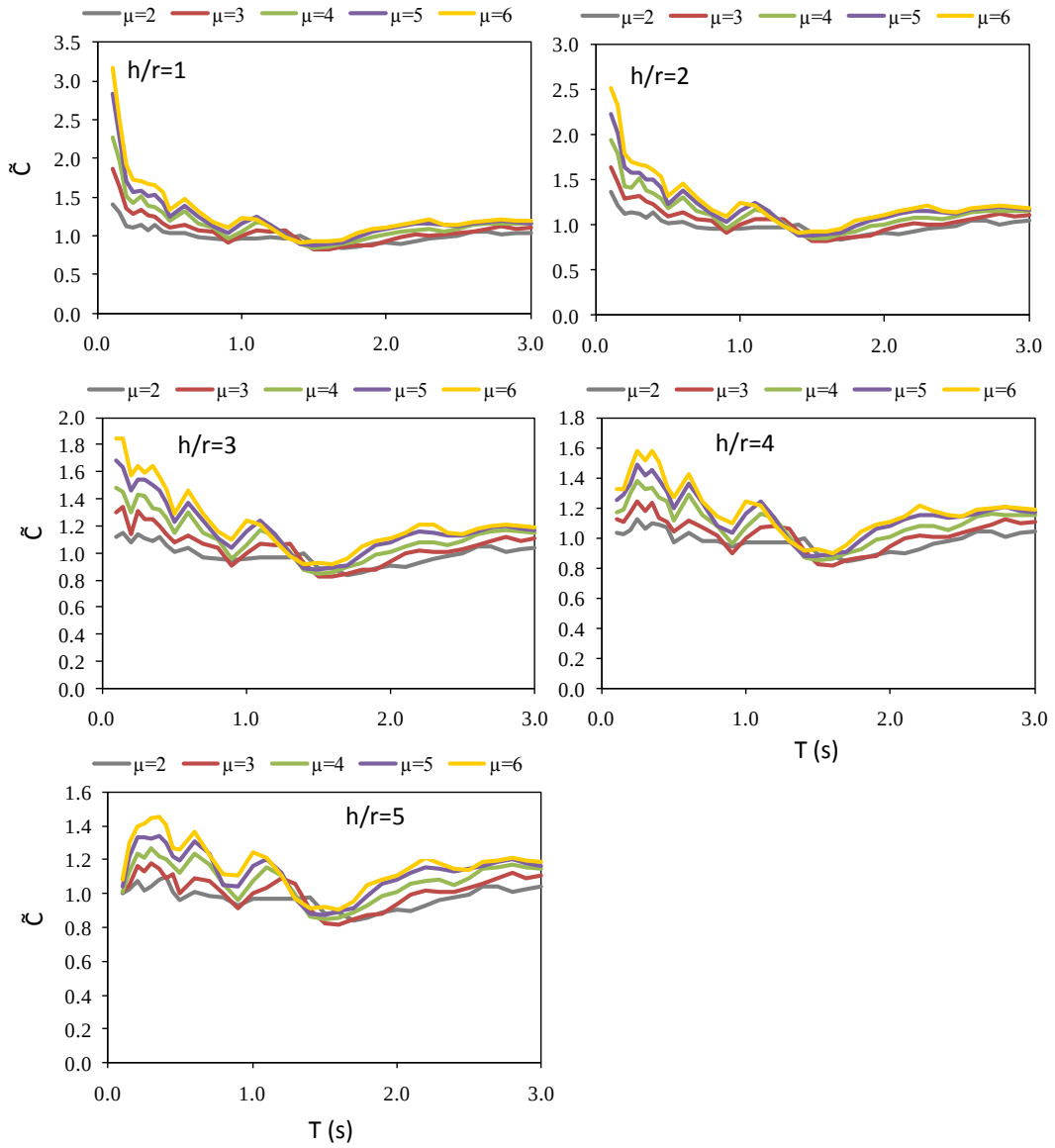
Şekil 4. 9 A zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi



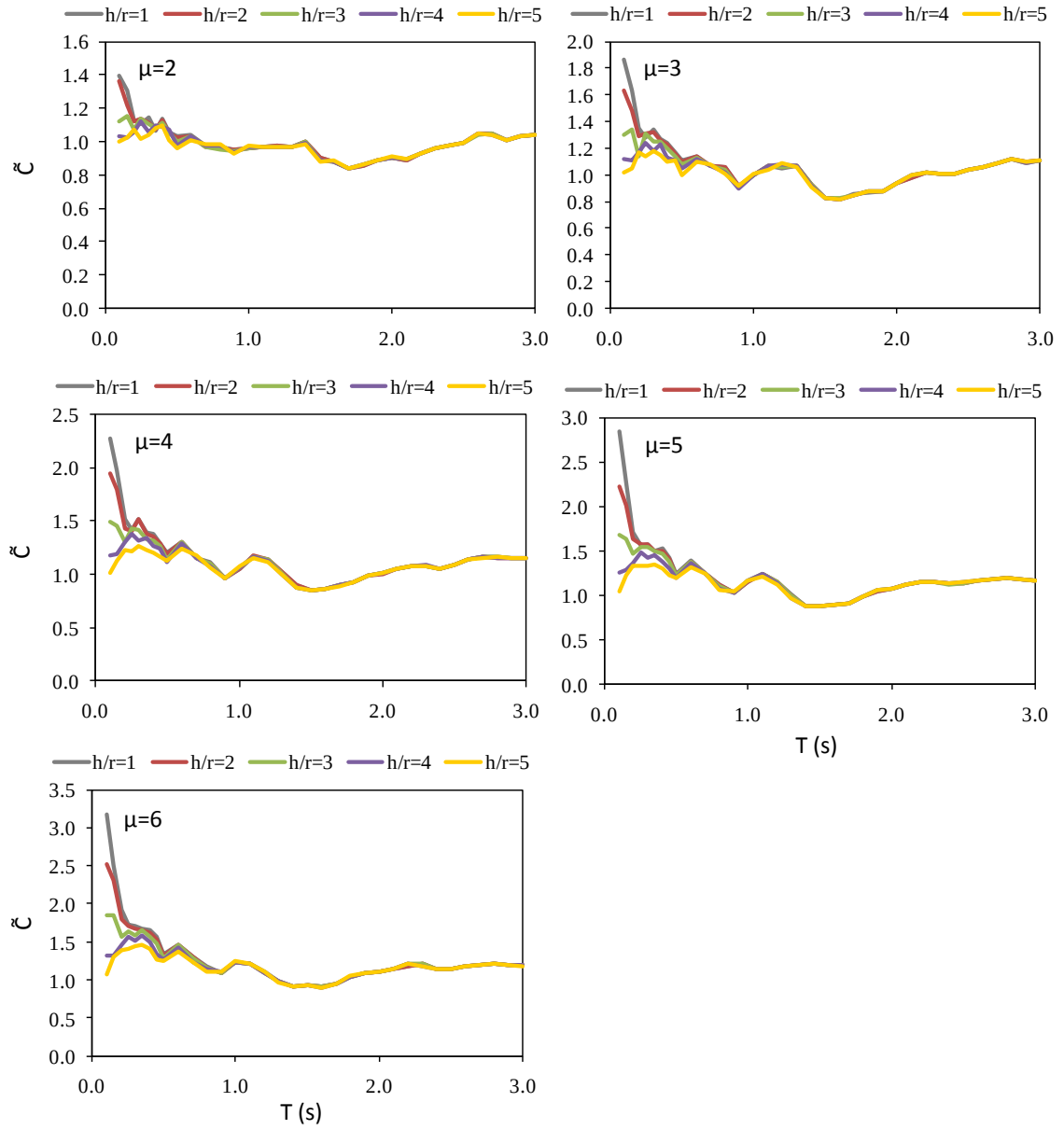
Şekil 4. 10 A zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi



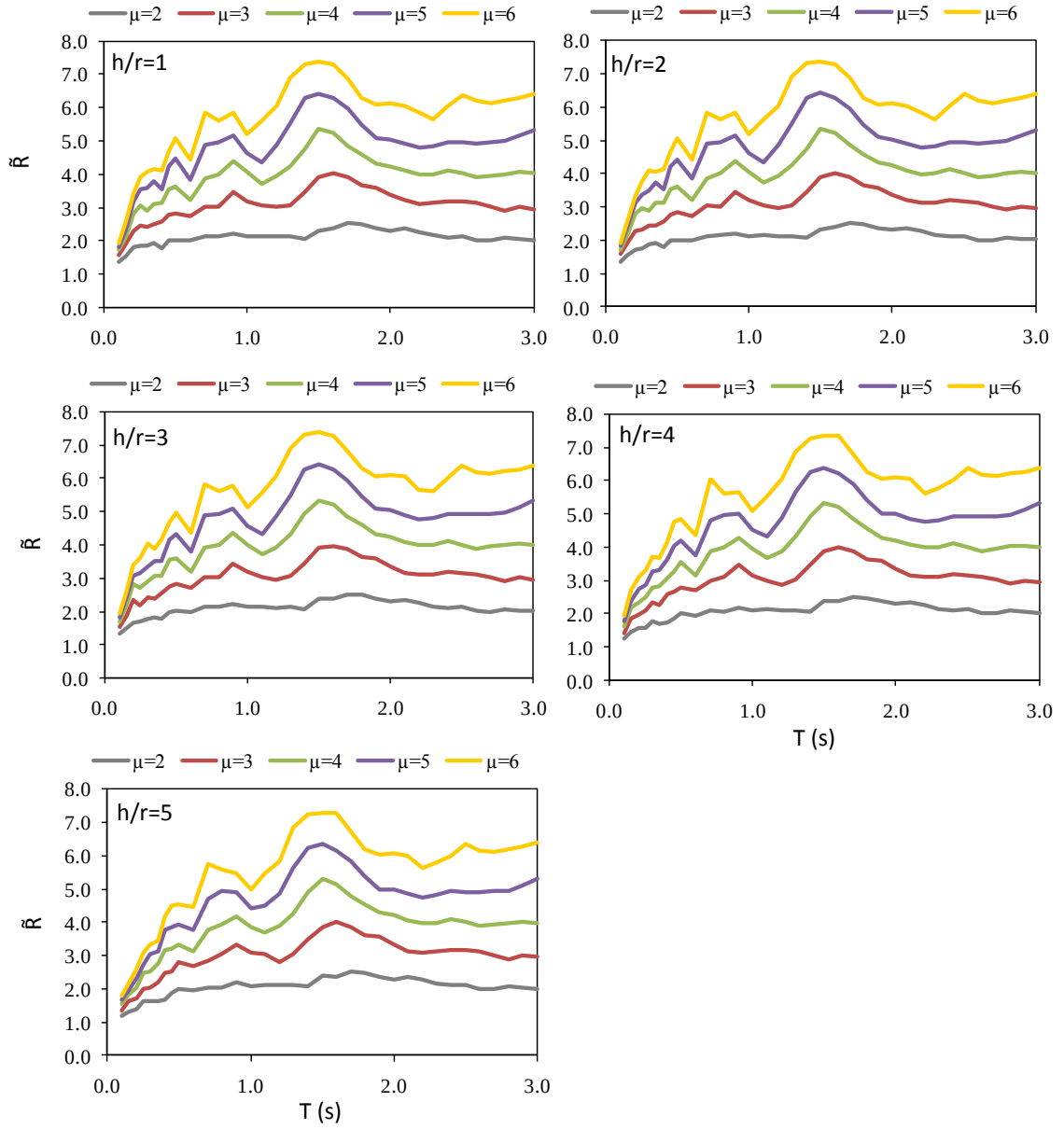
Şekil 4. 11 B zemin sınıfında etkileşimsiz durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının süneklığe göre değişimi



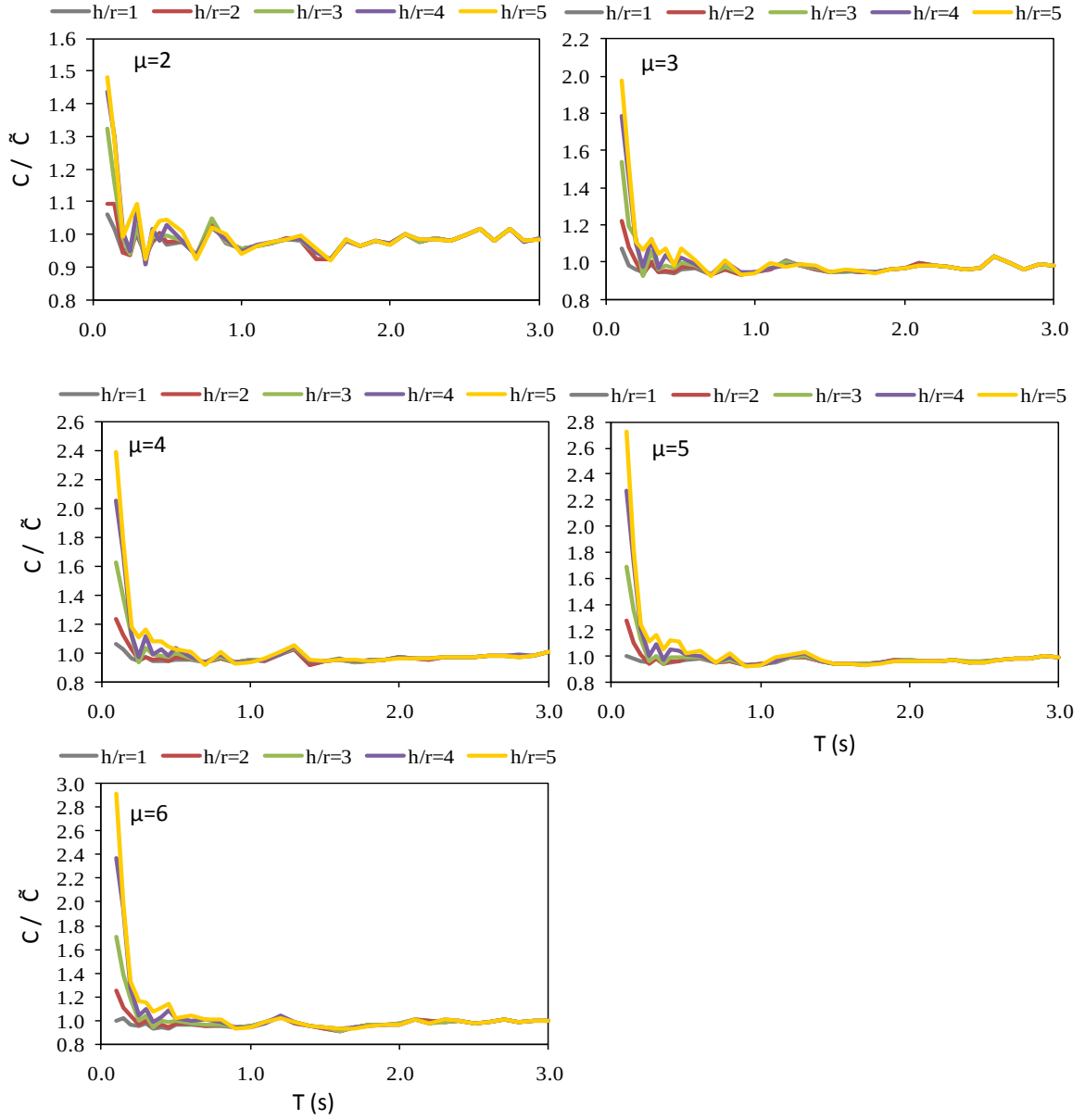
Şekil 4. 12 B zemin sınıfında etkileşimli durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir narinlik oranı için süneklığe göre değişimi



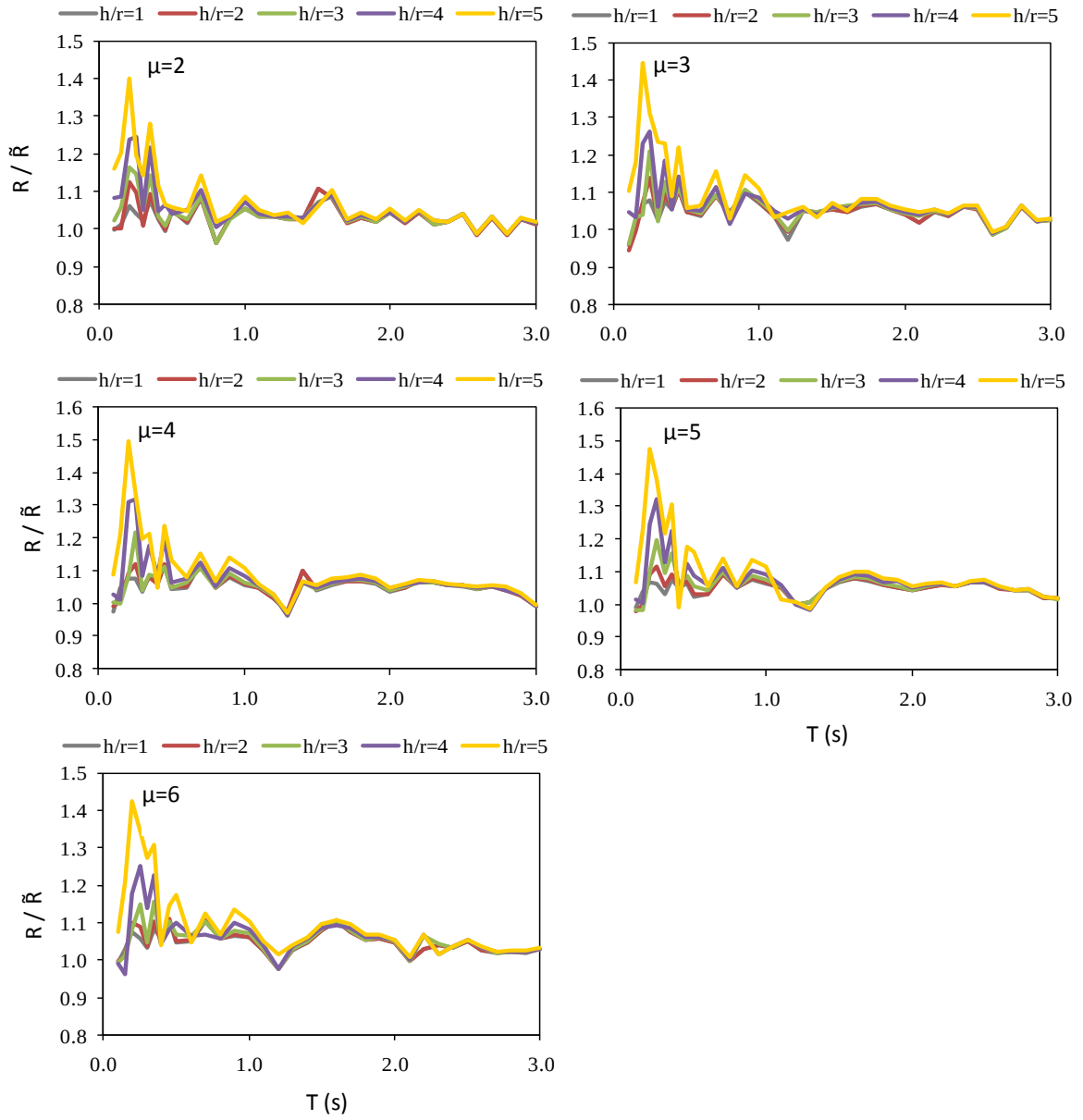
Şekil 4. 13 B zemin sınıfında etkileşimli durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi



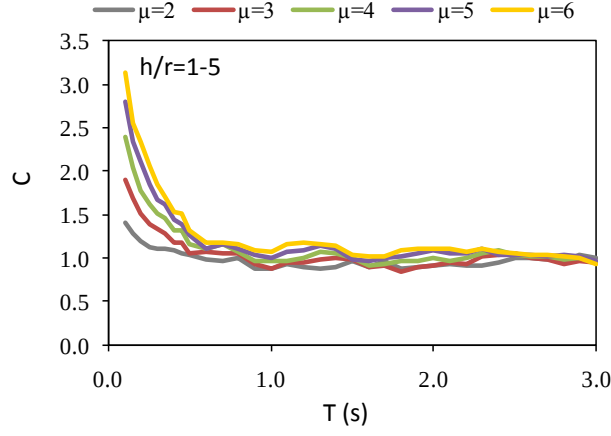
Şekil 4. 14 B zemin sınıfında etkileşimli durum için deprem yükü azaltma katsayılarının her bir narinlik oranı için süneklığe göre değişimi



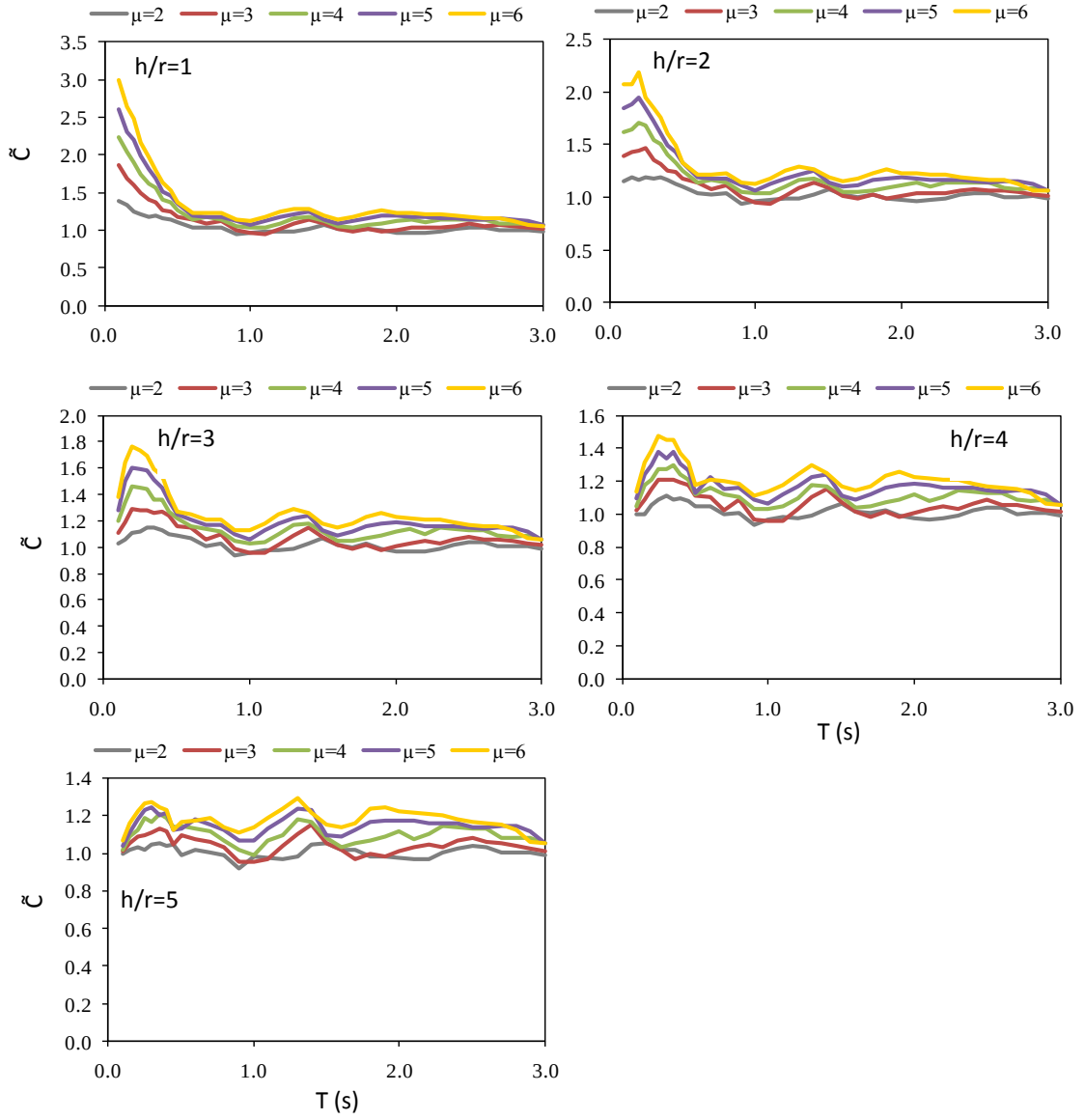
Şekil 4. 15 B zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi



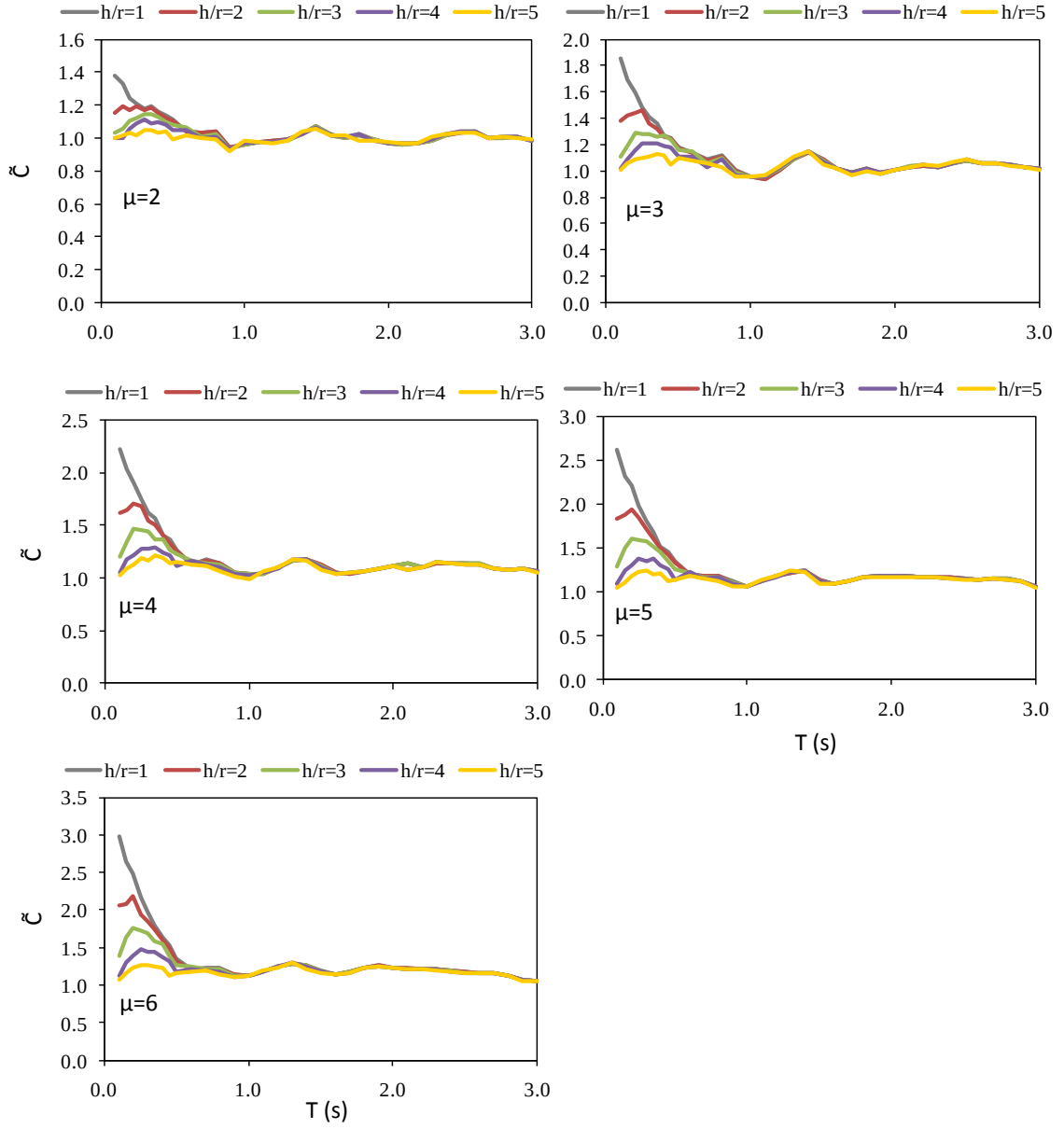
Şekil 4. 16 B zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi



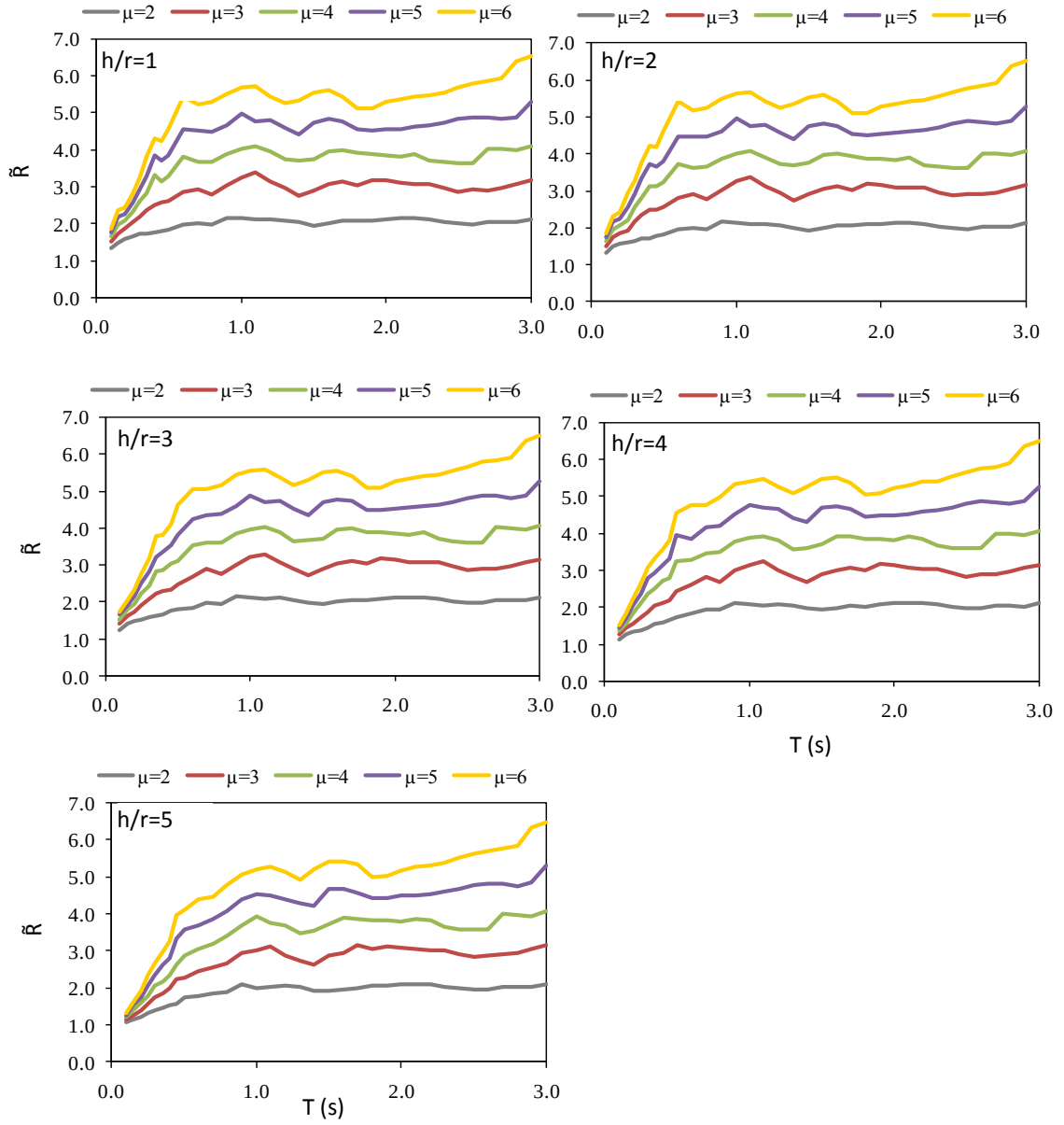
Şekil 4. 17 C zemin sınıfında etkileşimsiz durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının süneklığe göre değişimi



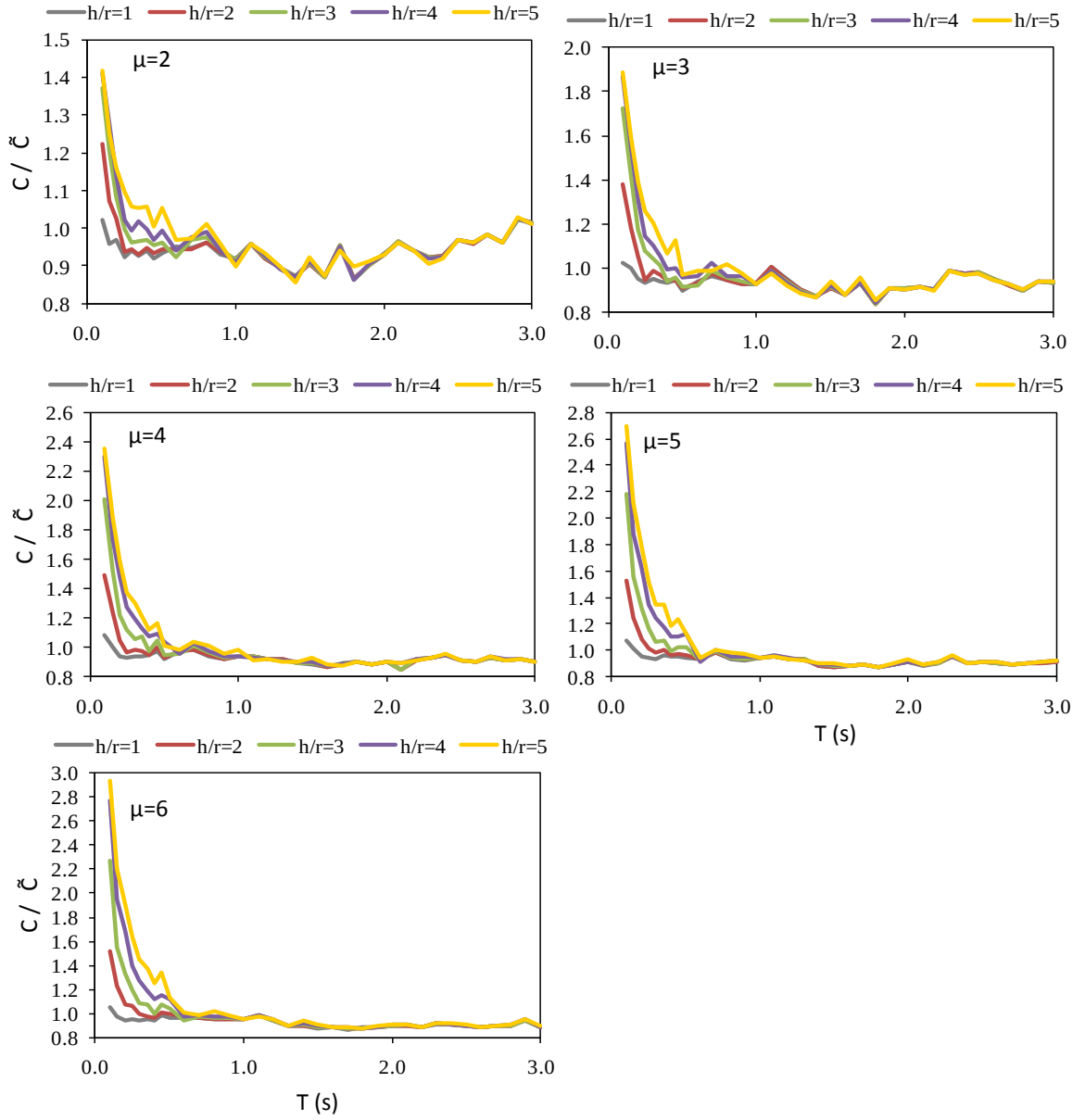
Şekil 4. 18 C zemin sınıfında etkileşimli durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir narinlik oranı için süneklığe göre değişimi



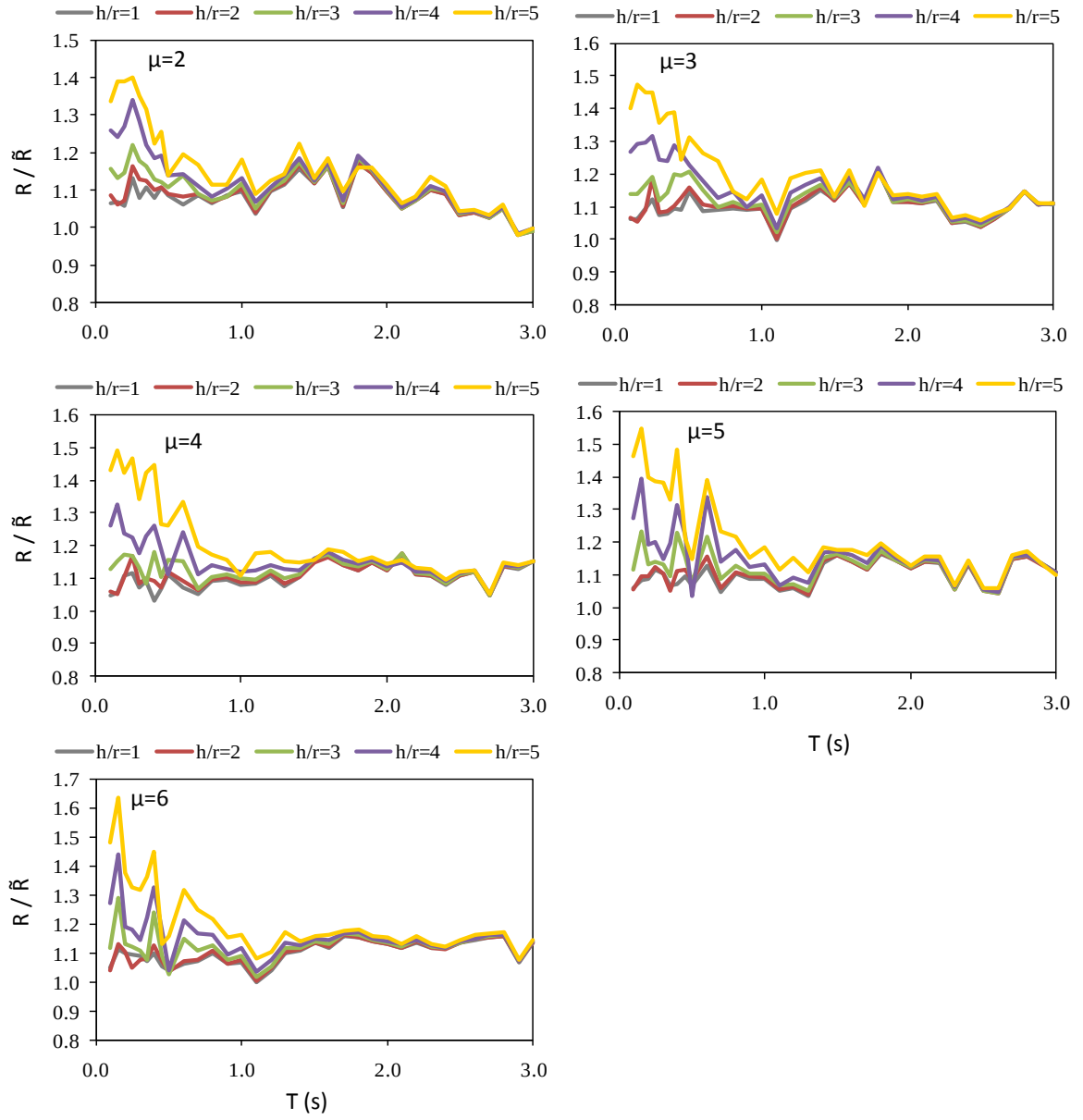
Şekil 4. 19 C zemin sınıfında etkileşimli durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi



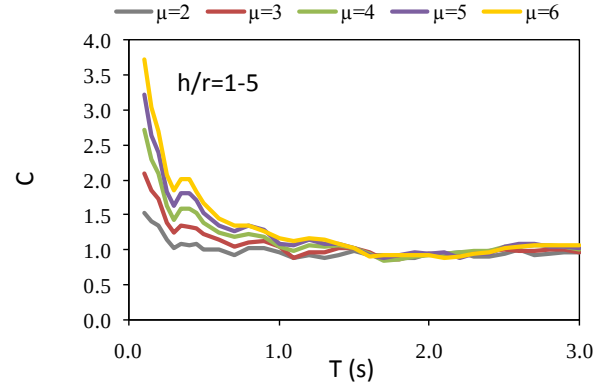
Şekil 4. 20 C zemin sınıfında etkileşimli durum için deprem yükü azaltma katsayılarının her bir narinlik oranı için süneklığe göre değişimi



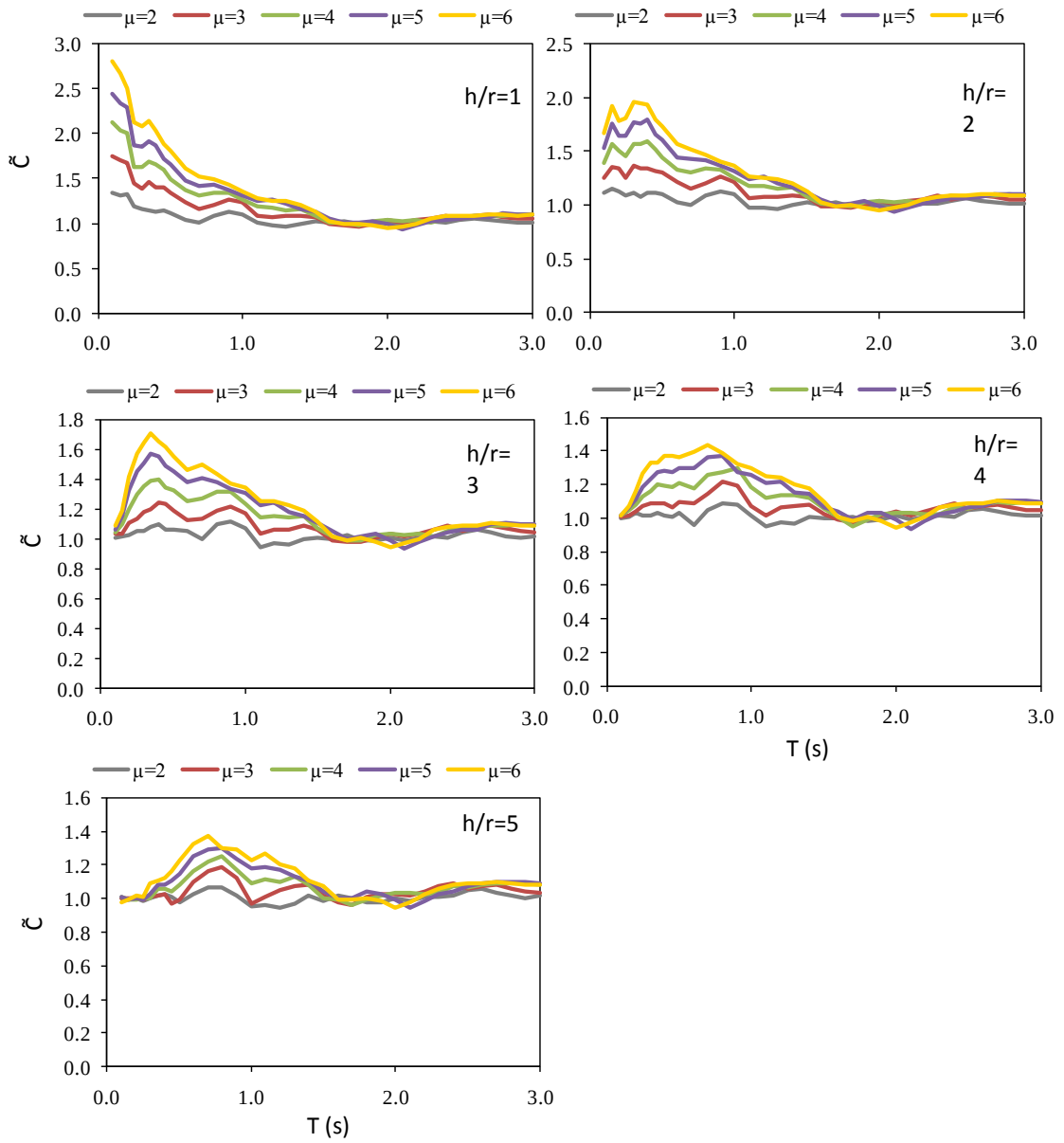
Şekil 4. 21 C zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklilik için narinlik oranına göre değişimi



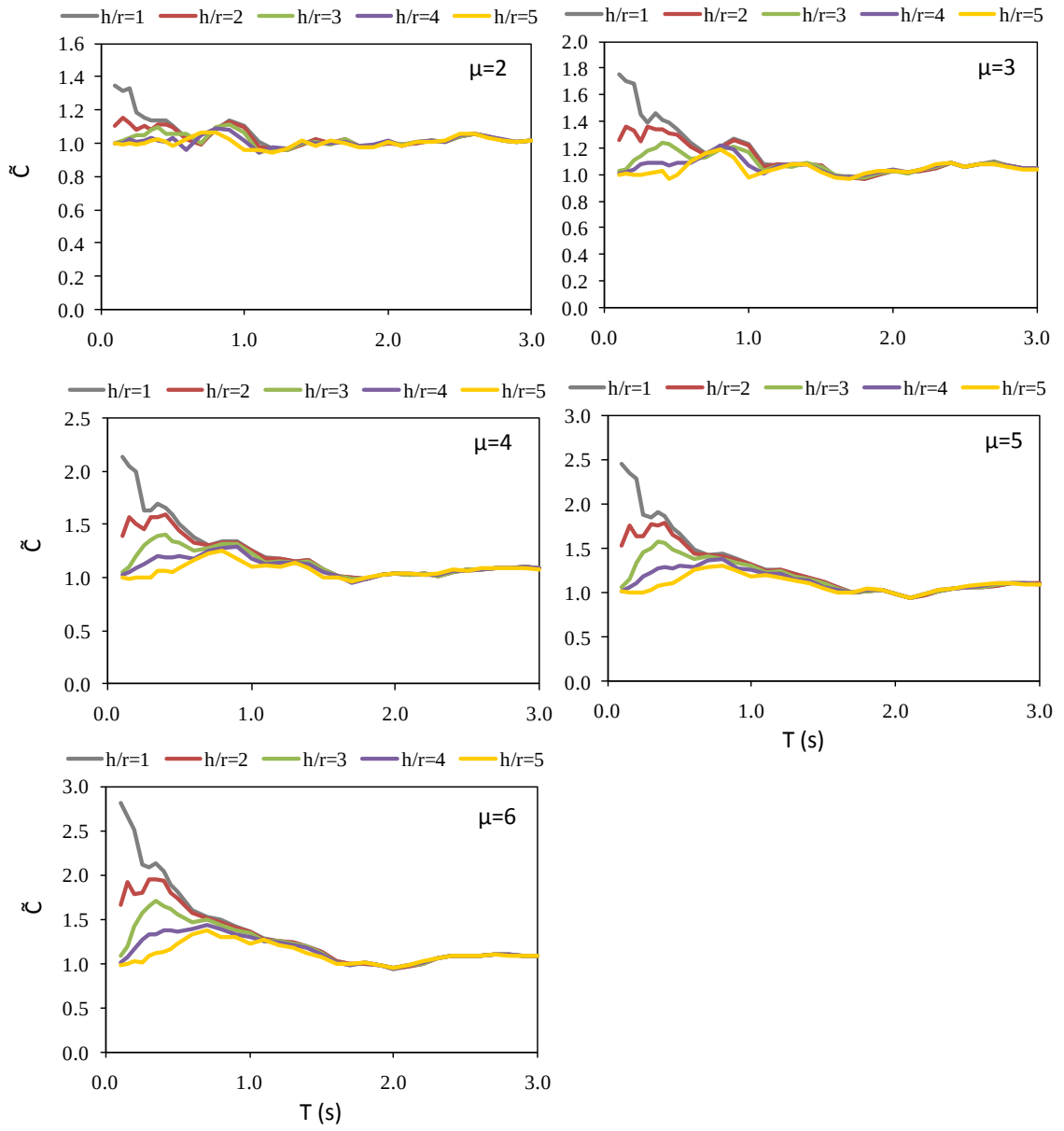
Şekil 4. 22 C zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi



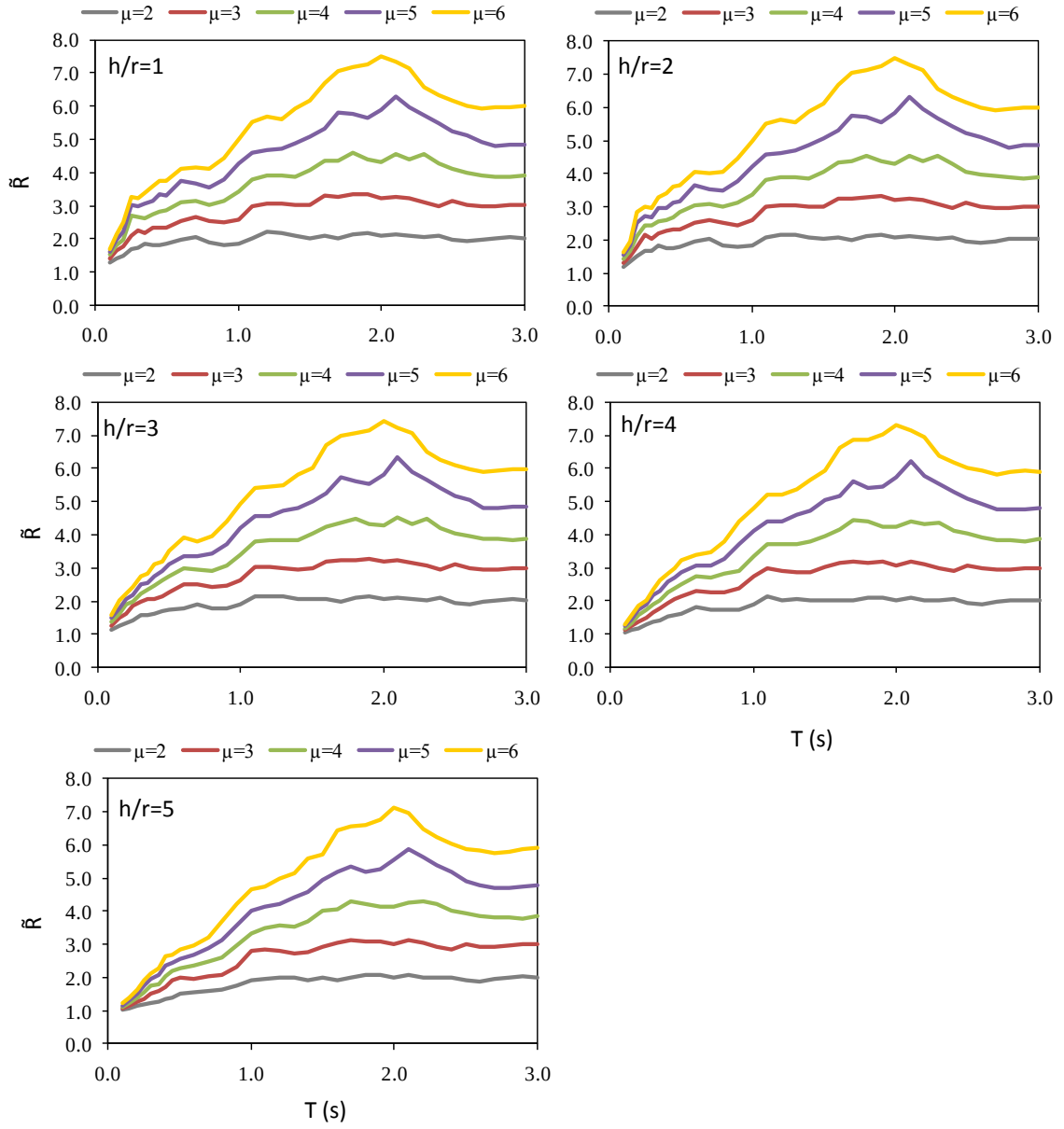
Şekil 4. 23 D zemin sınıfında etkileşimsiz durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının süneklığe göre değişimi



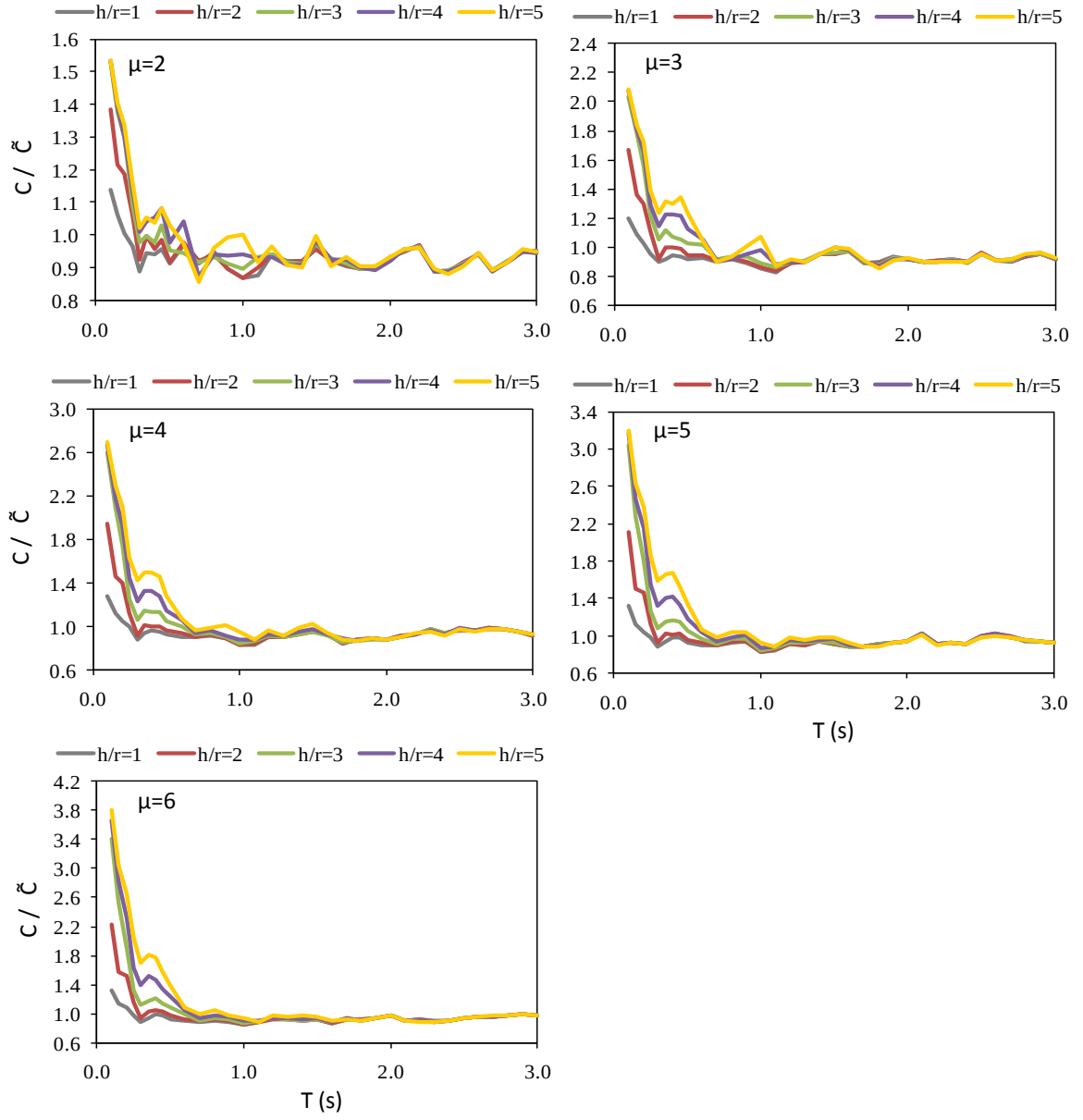
Şekil 4. 24 D zemin sınıfında etkileşimli durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir narinlik oranı için süneklığe göre değişimi



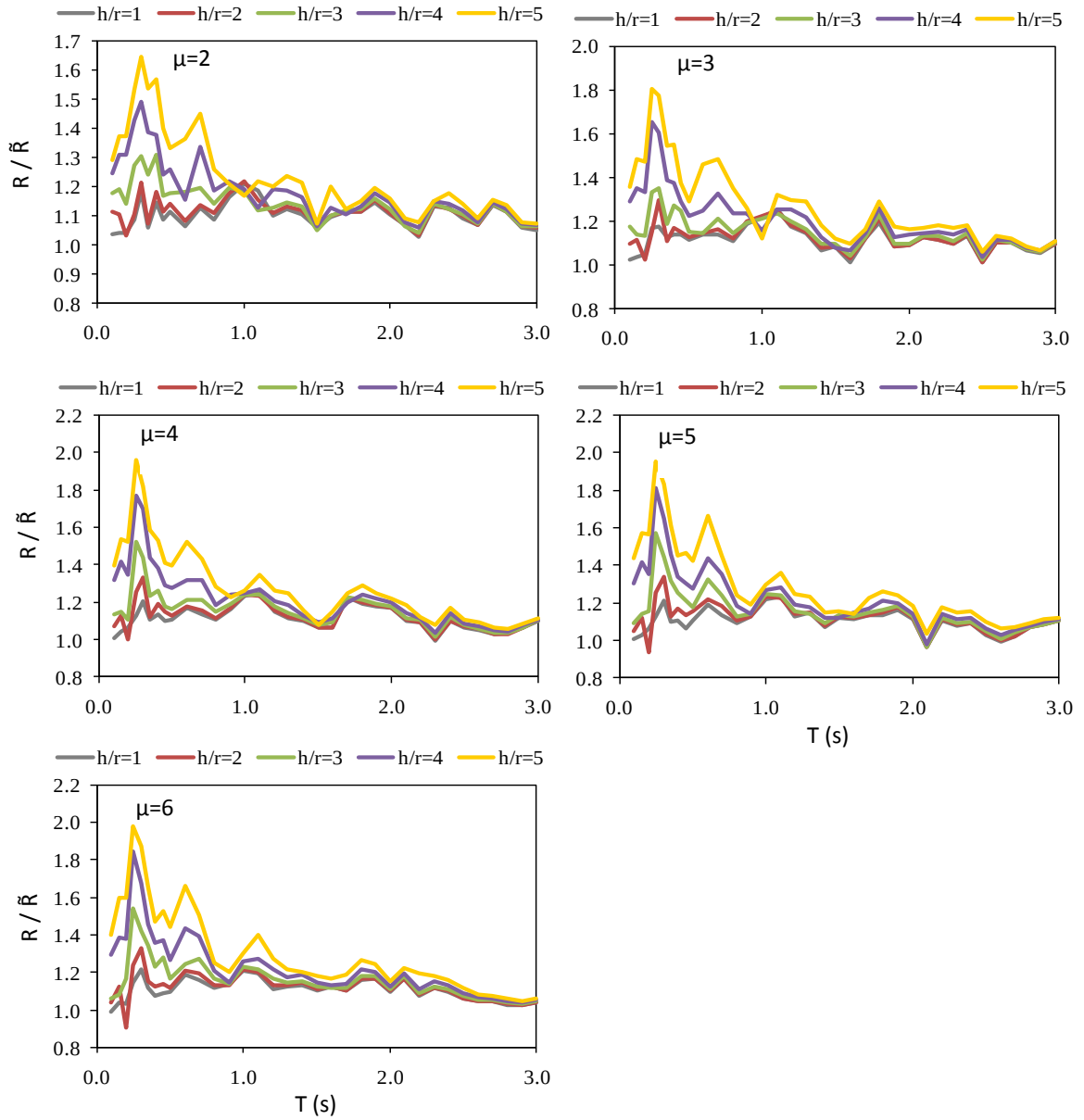
Şekil 4. 25 D zemin sınıfında etkileşimli durum için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi



Şekil 4. 26 D zemin sınıfında etkileşimli durum için deprem yükü azaltma katsayılarının her bir narinlik oranı için süneklığe göre değişimi



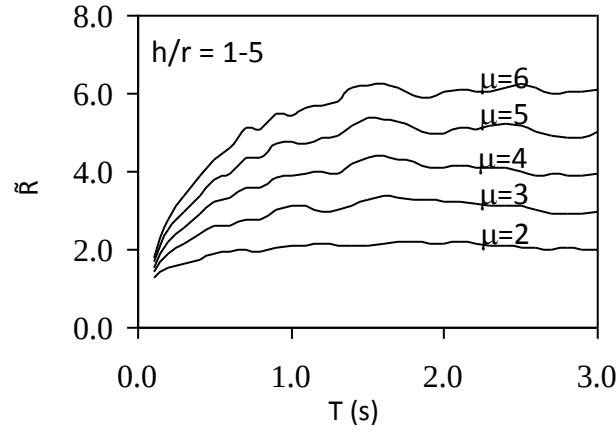
Şekil 4. 27 D zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi



Şekil 4. 28 D zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının her bir süneklik için narinlik oranına göre değişimi

4.2.1 Ortalama Deprem Yükü Azaltma Katsayıları ve Zemin Koşullarının Etkisi

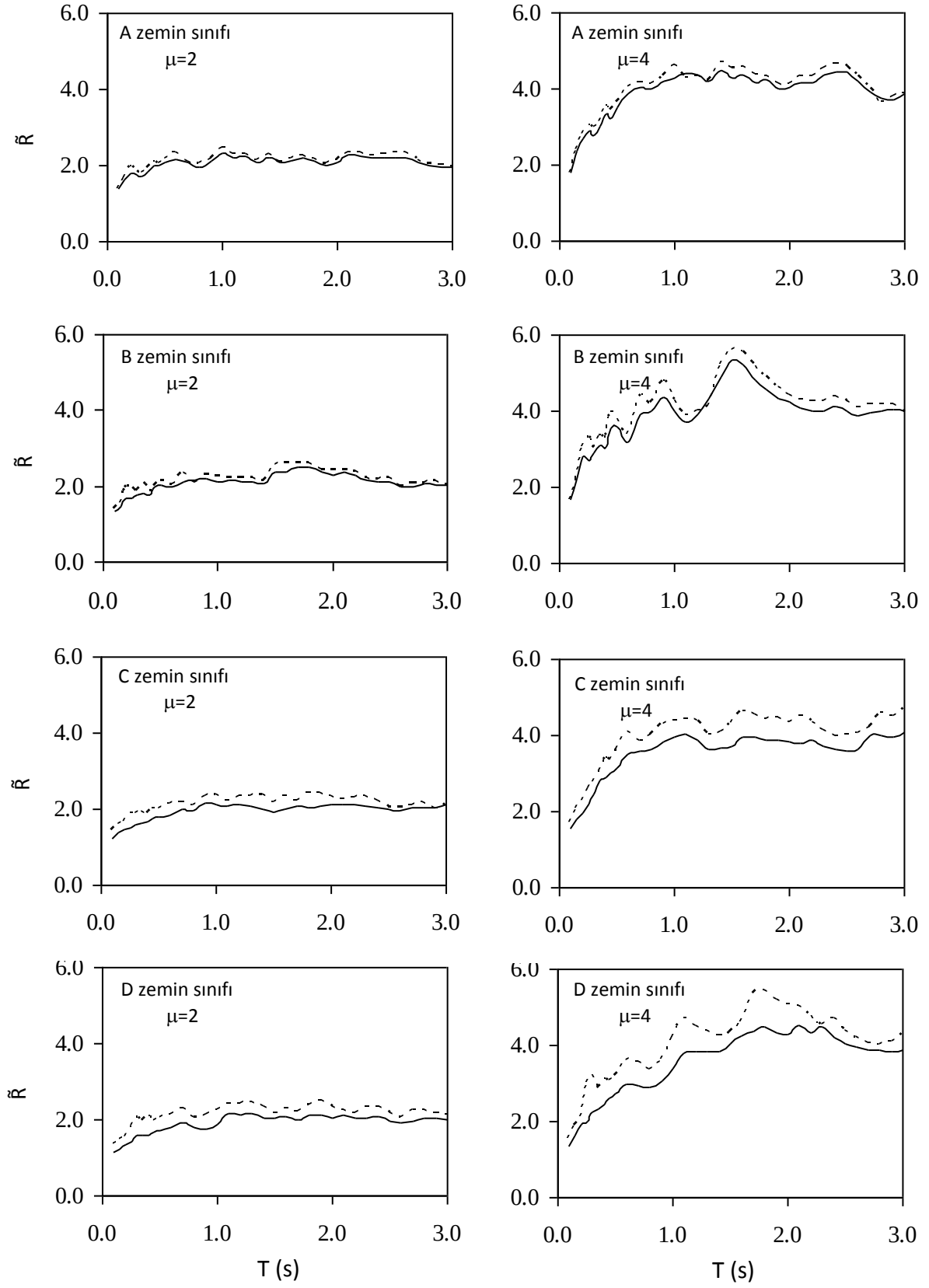
Tüm deprem kayıtları ve tüm narinlik oranları için, zemin yapı etkileşiminin göz önüne alındığı durumdaki çözümleme sonuçları ele alınarak hesaplanan ortalama deprem yükü azaltma katsayılarına ait grafik Şekil 4.29’da verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı durumda bulunan ortalama deprem yükü azaltma katsayıları, büyük periyot aralıklarında süneklik istemine eşit kabul edilebilirken, kısa periyot aralıklarında periyoda ve sünekliğe göre değişim göstermektedir.



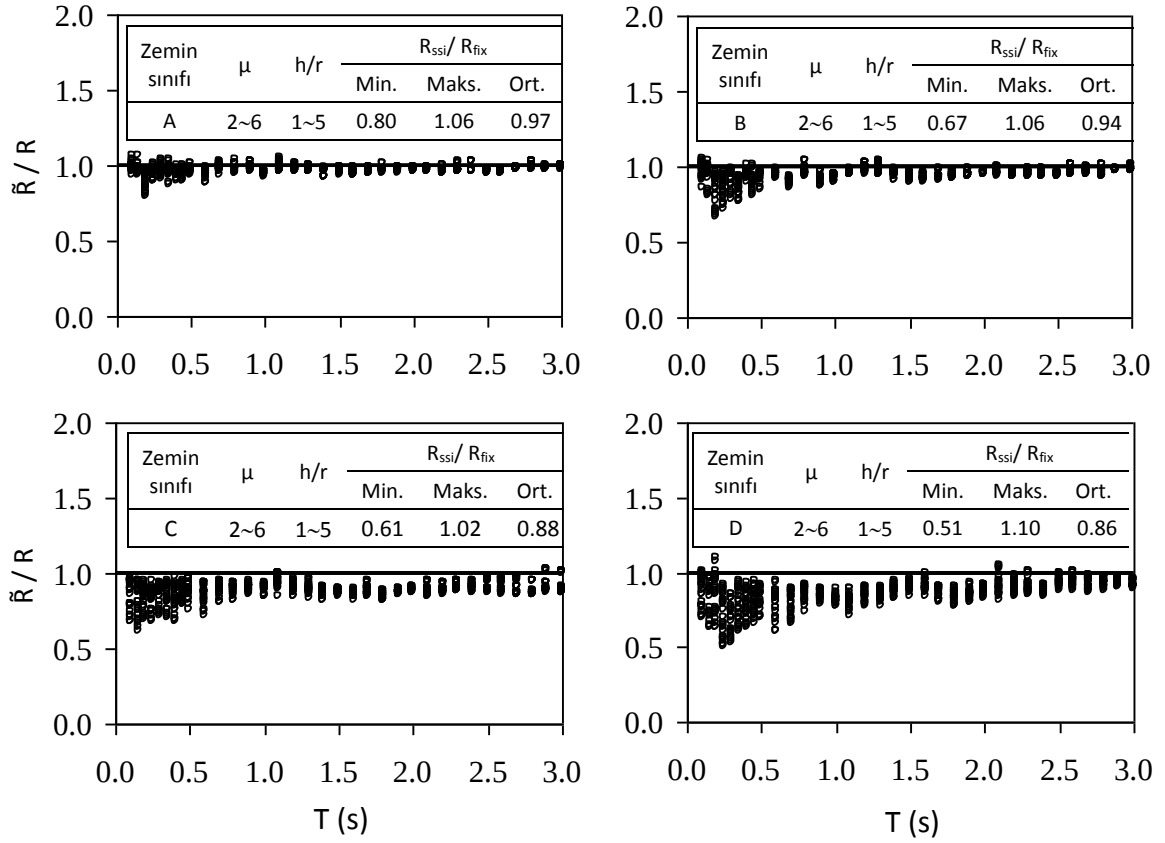
Şekil 4. 29 Etkileşimli sistemlere ait ortalama deprem yükü azaltma katsayıları

Şekil 4.30’da süneklik istemi 2 ile 4 ve narinlik oranı 3 olan bir sistem için ortalama deprem yükü azaltma katsayılarının periyoda göre değişimleri etkileşimli (sürekli çizgi) ve etkileşimsiz (kesikli çizgi) durumlar için sunulmuştur. Şekilden görüldüğü üzere, A ve B zemin sınıfları için zemin yapı etkileşiminin etkileri ihmal edilebilirken, C ve özellikle D zemin sınıfları için bu etkiler göz önüne alınmalıdır.

Zemin ile yapı arasındaki etkileşimin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlardaki deprem yükü azaltma katsayısı oranları, farklı zemin sınıfları için Şekil 4.31’de verilmiştir. Kayma dalgası hızının azalan değerleri için sözü edilen oranlar azalmaktadır. A ve B zemin sınıflarında 0.5 s’den daha büyük periyot değerleri için deprem yükü azaltma katsayılarının oranı 1.0’e yakın olduğu halde, C ve D zemin sınıfları için bu oran 1.0’dan küçüktür. 0.5 s’den daha küçük periyot değerlerinde zemin yapı etkileşimi önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle C ve D zemin sınıfları için etkileşimin etkileri daha belirgindir. Bu nedenle büyük kayma dalgası hızları için zemin yapı etkileşimini dikkate almamak çok da hatalı bir yaklaşım olmaz. Buna karşılık, yaklaşık 250 m/s’den daha küçük kayma dalgası hızları için zemin-yapı etkileşiminin sonuçlar üzerinde belirgin bir etkisi vardır.



Şekil 4. 30 Etkileşimli (sürekli çizgi) ve etkileşimsiz (kesikli çizgi) durumlar için ortalama deprem yükü azaltma katsayılarının zemin sınıflarına göre değişimleri

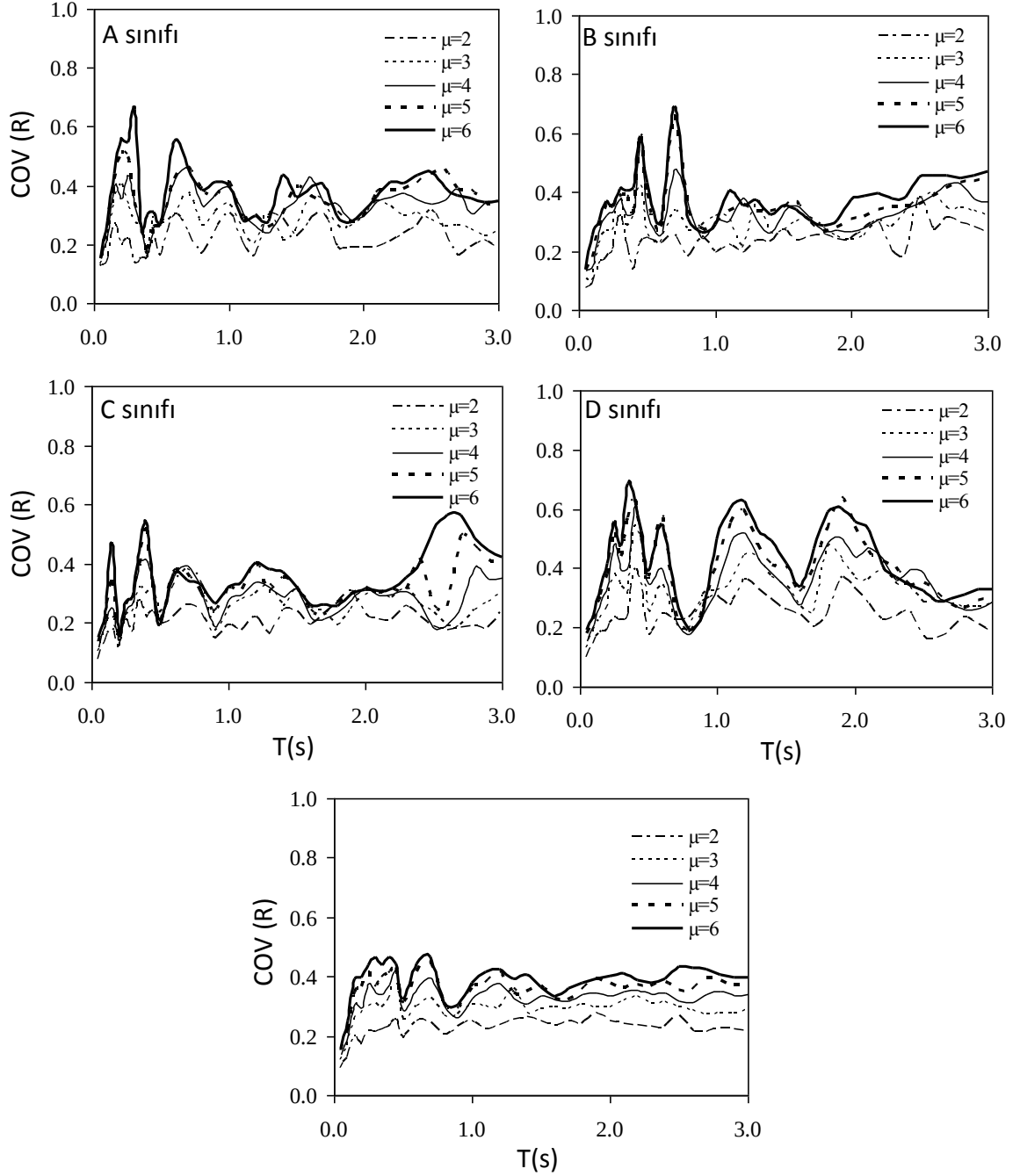


Şekil 4.31 Etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki ortalama deprem yükü azaltma katsayısı oranının zemin sınıflarına göre değişimleri

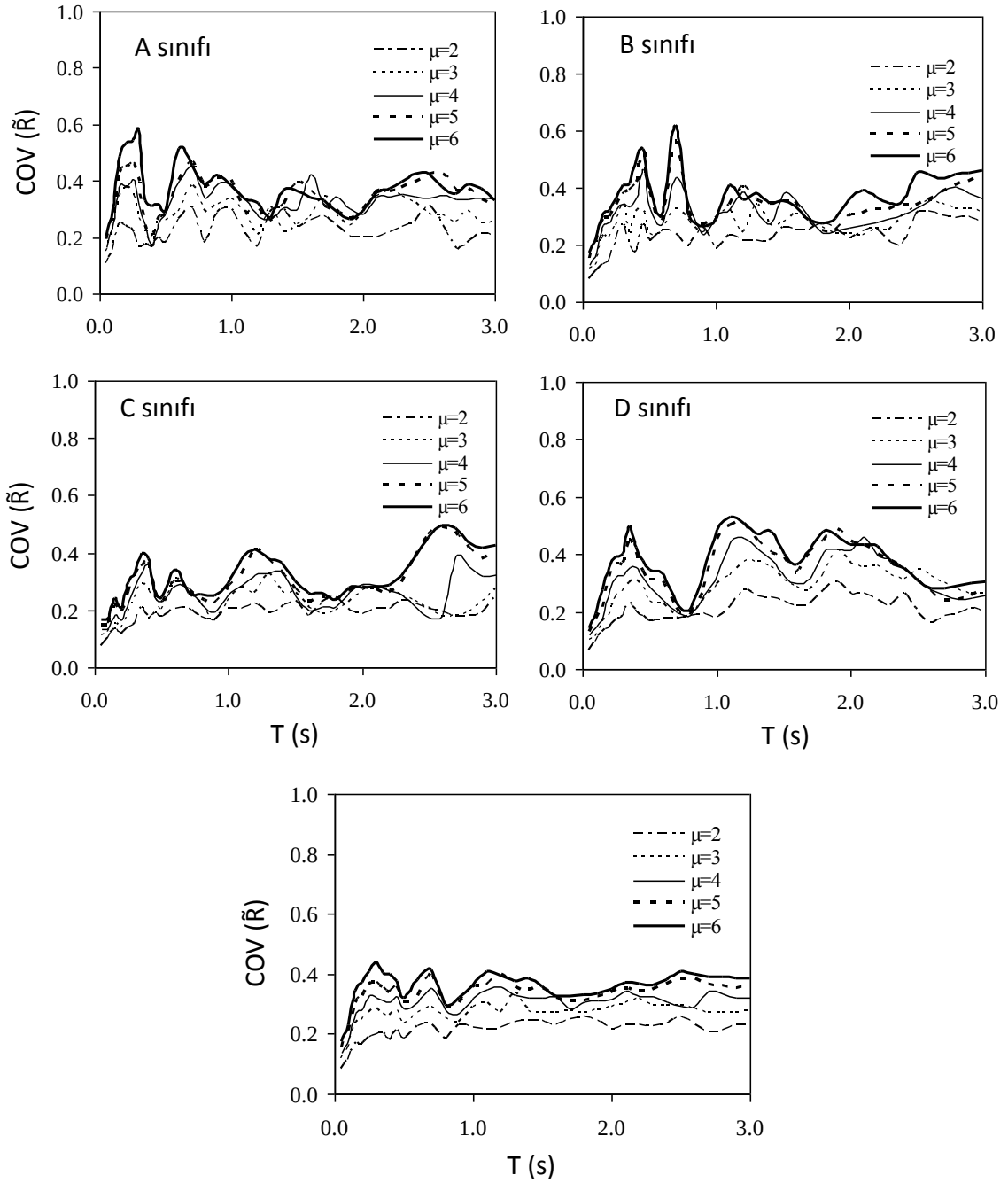
Etkileşimli ve etkileşimsiz durumda elde edilen deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının kısa periyot aralığında aldığı en küçük değerleri, A zemin sınıfı için 0.8, B zemin sınıfı için 0.67, C zemin sınıfı için 0.61 ve D zemin sınıfı için 0.51 olarak bulunmuştur. Etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki deprem yükü azaltma katsayıları arasındaki oranlar orta ve büyük periyot aralığında, A ve B zemin sınıfları için 1'e oldukça yakın olduğu halde, C ve D zemin sınıfları için 1'den daha küçüktür. Bu nedenle, büyük kayma dalgası hızları için zemin yapı etkileşiminin dikkate alınmamasının çok da hatalı bir yaklaşım olmayacağı; buna karşın, yaklaşık 250 m/s'den daha küçük kayma dalgası hızları için zemin yapı etkileşiminin sonuçlar üzerinde belirgin bir etkisi olduğu söylenebilir.

Zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlardaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait varyasyon katsayılarının periyoda göre değişimleri her bir zemin sınıfına ait deprem kayıtları için ayrı ayrı ve tüm kayıtlar için olmak üzere, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'de verilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere, artan süneklik değerleri

için, deprem yükü azaltma katsayılarının saçılımı artar. Kısa periyot bölümü dışındaki periyot değerlerinde, deprem yükü azaltma katsayılarının varyasyon katsayısı (COV) değeri çok sınırlı miktarda değişim gösterir.



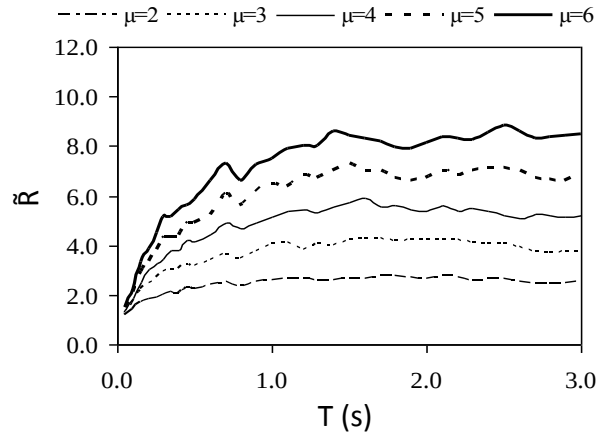
Şekil 4. 32 Zemin yapı etkileşiminin dikkate alınmadığı durumdaki ortalama deprem yükü azaltma katsayılarına ait varyasyon katsayılarının periyoda göre değişimi



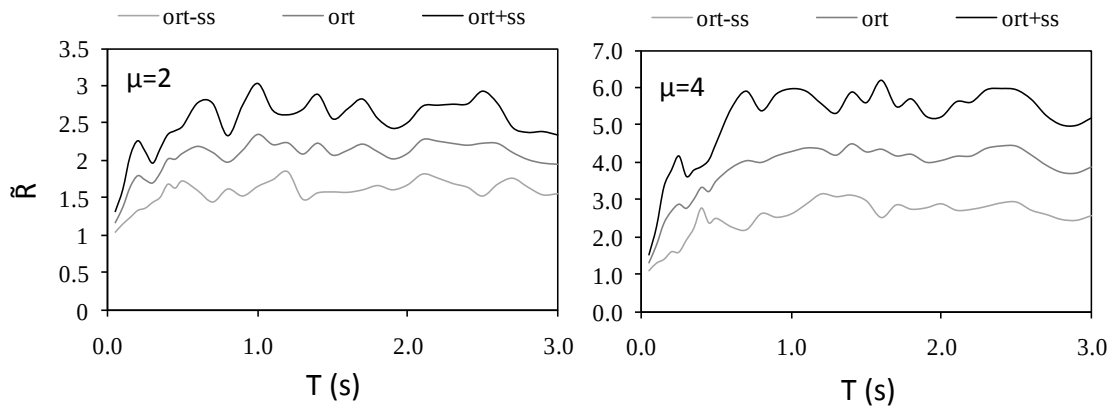
Şekil 4. 33 Zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı durumdaki ortalama deprem yükü azaltma katsayılarına ait varyasyon katsayılarının periyoda göre değişimi

Şekil 4.34’de etkileşimli durumdaki ortalama+1 standart sapma ile hesaplanmış deprem yükü azaltma katsayılarının periyoda göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.35’de ise belirli süneklik istemleri için ($\mu=2, 4$) ortalama, ortalama+1 standart sapma ve ortalama-1 standart sapma ile hesaplanan deprem yükü azaltma katsayıları gösterilmiştir. Etkileşimli duruma ait ortalama deprem yükü azaltma katsayılarının %10 ve %90 güven düzeyleri için aralık tahminleri Şekil 4.36’da verilmiştir. Başka bir deyişle,

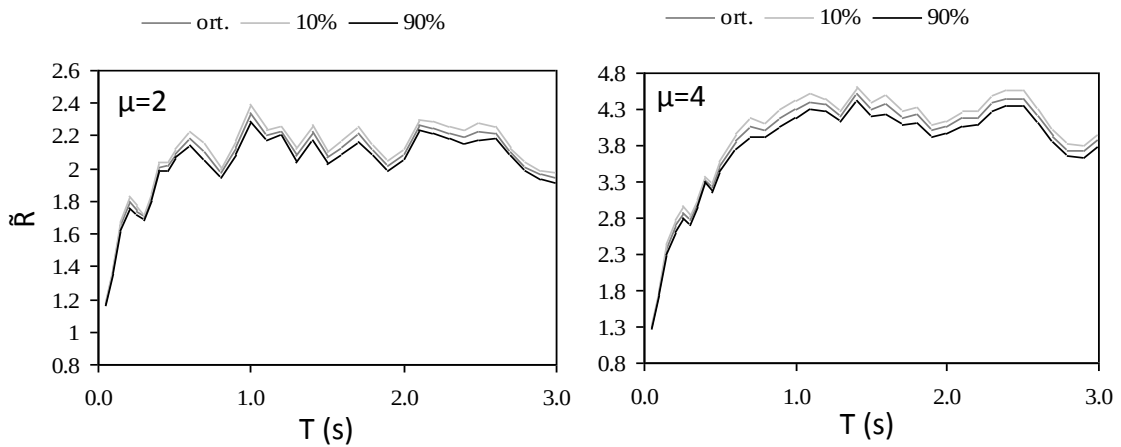
farklı bir deprem veritabanı kullanılması durumunda, %10 ve %90 güven düzeyleri için ortalama deprem yükü azaltma katsayılarının alacağı en büyük ve en küçük değerler gösterilmiştir.



Şekil 4. 34 Ortalama+1 standart sapma ile hesaplanan deprem yükü azaltma katsayıları



Şekil 4. 35 Süneklik düzeyi 2 ve 4 olması durumu için ortalama, ortalama+1 standart sapma ve ortalama-1 standart sapma ile hesaplanan deprem yükü azaltma katsayıları

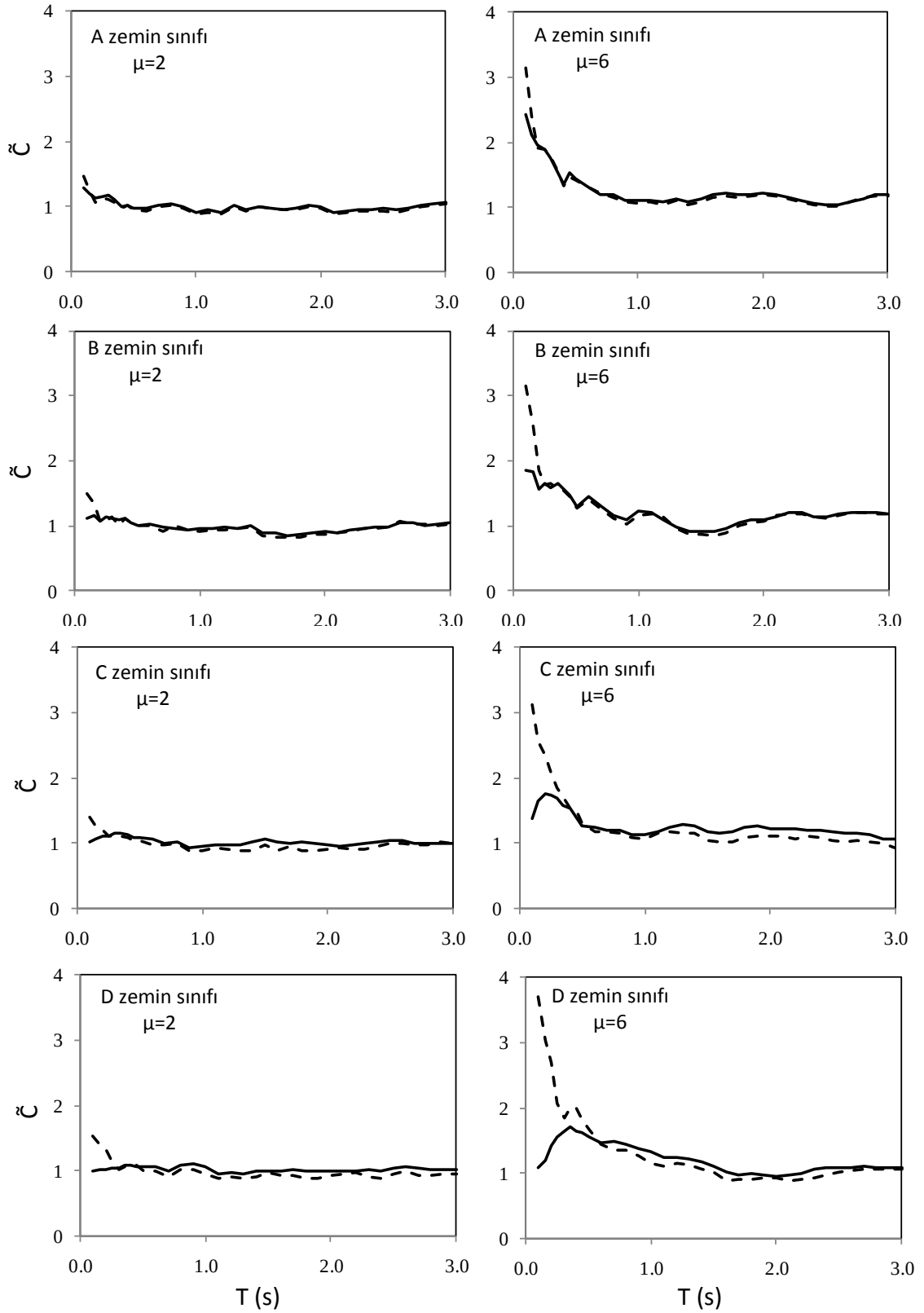


Şekil 4. 36 Etkileşimli duruma ait ortalama deprem yükü azaltma katsayılarının %10 ve %90 güven düzeyleri için aralık tahminleri

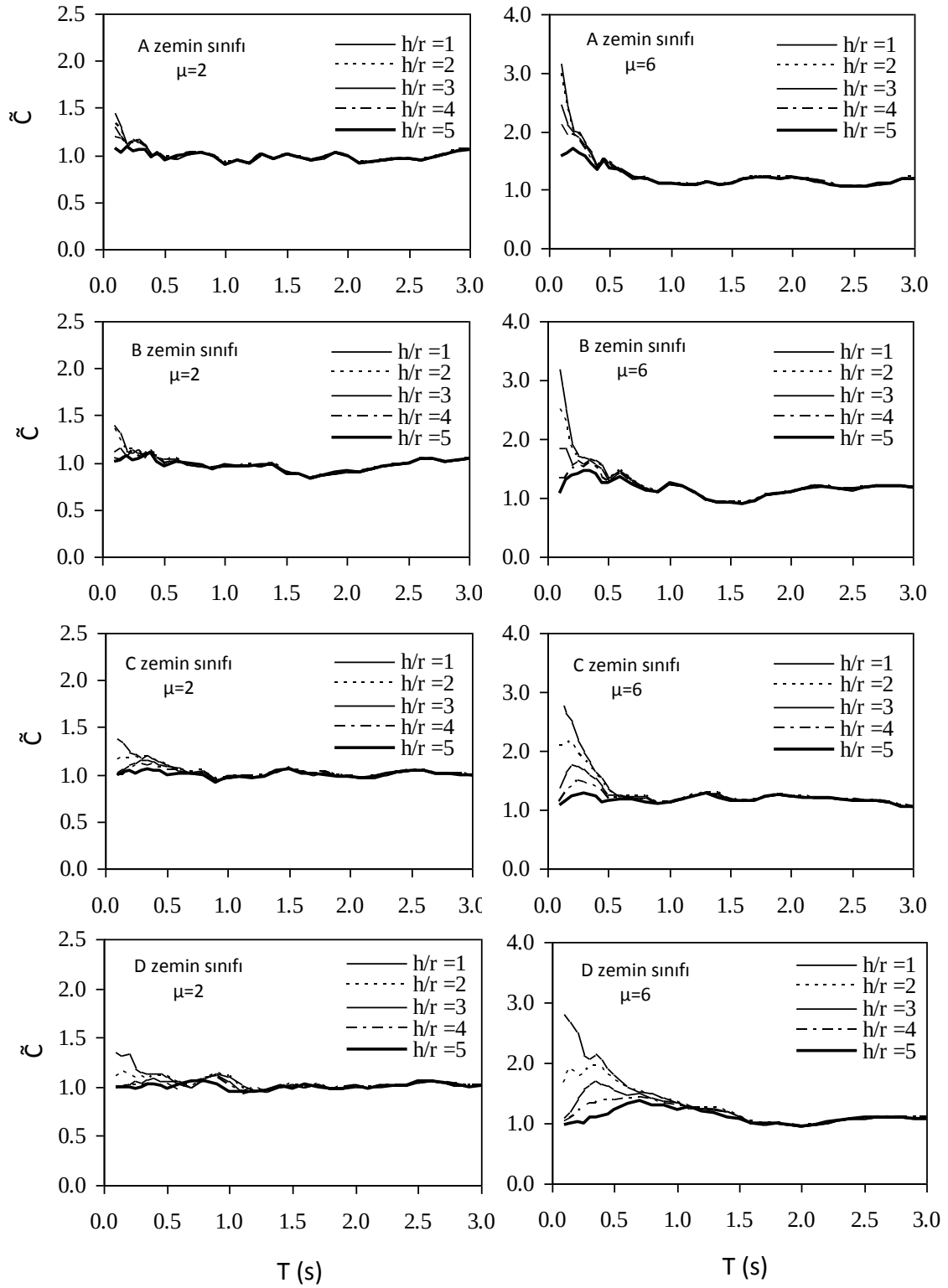
4.2.2 Ortalama Elastik Olmayan Yerdeğiştirme Oranları ve Zemin Koşullarının Etkisi

şekil 4.37’de süneklik istemi 2 ve 6 ile narinlik oranı 3 olan bir sistem için ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının periyoda göre değişimleri, zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı (sürekli çizgi) ve dikkate alınmadığı (kesikli çizgi) durumlar için sunulmuştur. şekilden görüldüğü üzere, A ve B zemin sınıfları için zemin yapı etkileşiminin etkileri ihmal edilebilirken, C ve özellikle D zemin sınıfları için bu etkiler göz önüne alınmalıdır. Özellikle kısa periyot aralıklarında artan süneklik değerleri için, etkileşimin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlardaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranları birbirinden oldukça farklıdır. C ve D zemin sınıfları için 0.5 s’den daha küçük periyot değerlerinde bir artış eğilimi olmaktadır. şekil 4.38’de ise süneklik isteminin 2 ve 6 olması durumunda artan narinlik oranları için ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının periyoda göre değişimleri sunulmuştur. şekilden görüldüğü üzere, tüm zemin sınıfları ve süneklik istemleri için büyük periyot aralıklarında narinlik oranı elastik olmayan yerdeğiştirme oranları üzerinde etkin bir parametre olup, özellikle C ve D zemin sınıfları ve süneklik isteminin yüksek değerleri için bu etki oldukça belirgindir. Sabit bir periyot değerine kadar –yaklaşık 0.5s.– artan narinlik oranları için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarında bir azalım eğilimi görölmesine karşın, bu periyot değerinden sonra narinlik oranının etkisi ihmal edilebilir.

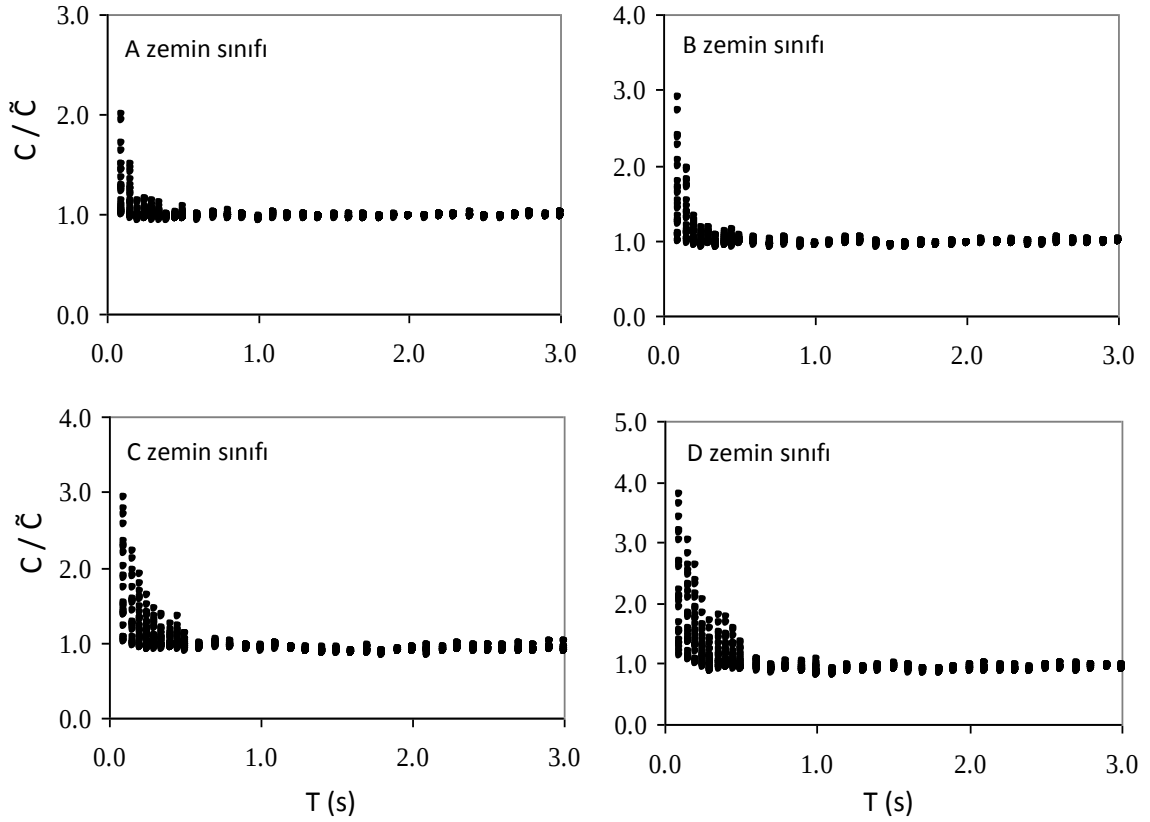
Zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlardaki elastik olmayan yerdeğiştirme katsayısı oranlarının, tüm süneklik ve narinlik oranları göz önüne alınarak belirlenen değişimleri şekil 4.39’da sunulmuştur. şekilden görölmektedir ki; etkileşimin dikkate alındığı durumdaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranları, etkileşimin dikkate alınmadığı durumdaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarından daha küçüktür. A zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumlar arasındaki en büyük oran 2.0 iken, D zemin sınıfında bu oran 4.0 olmaktadır.



Şekil 4. 37 Etkileşimli (sürekli çizgi) ve etkileşimsiz (kesikli çizgi) durumdaki ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının zemin sınıflarına göre değişimleri

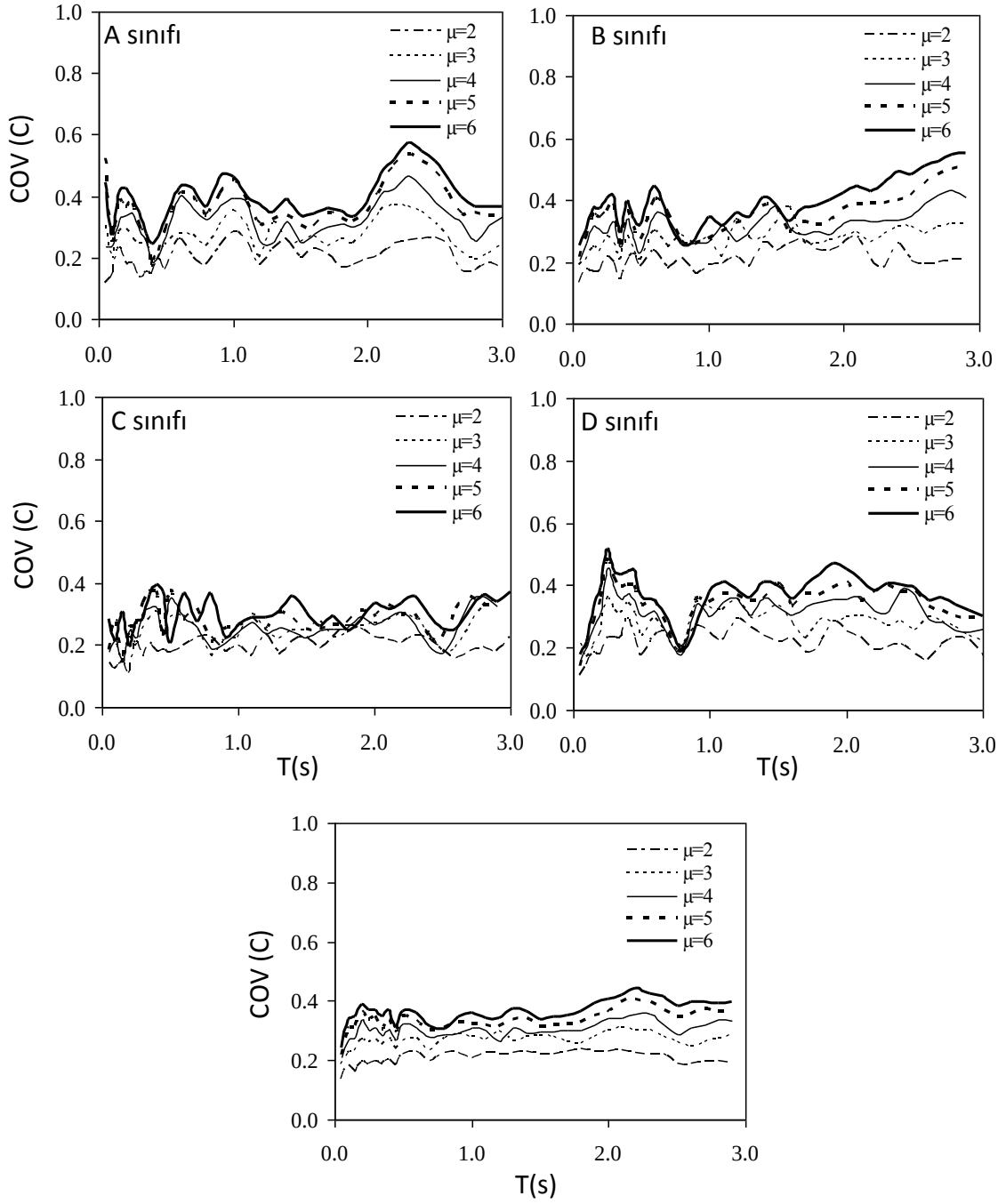


Şekil 4. 38 Etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının zemin sınıflarına ve narınlık oranlarına göre değişimleri

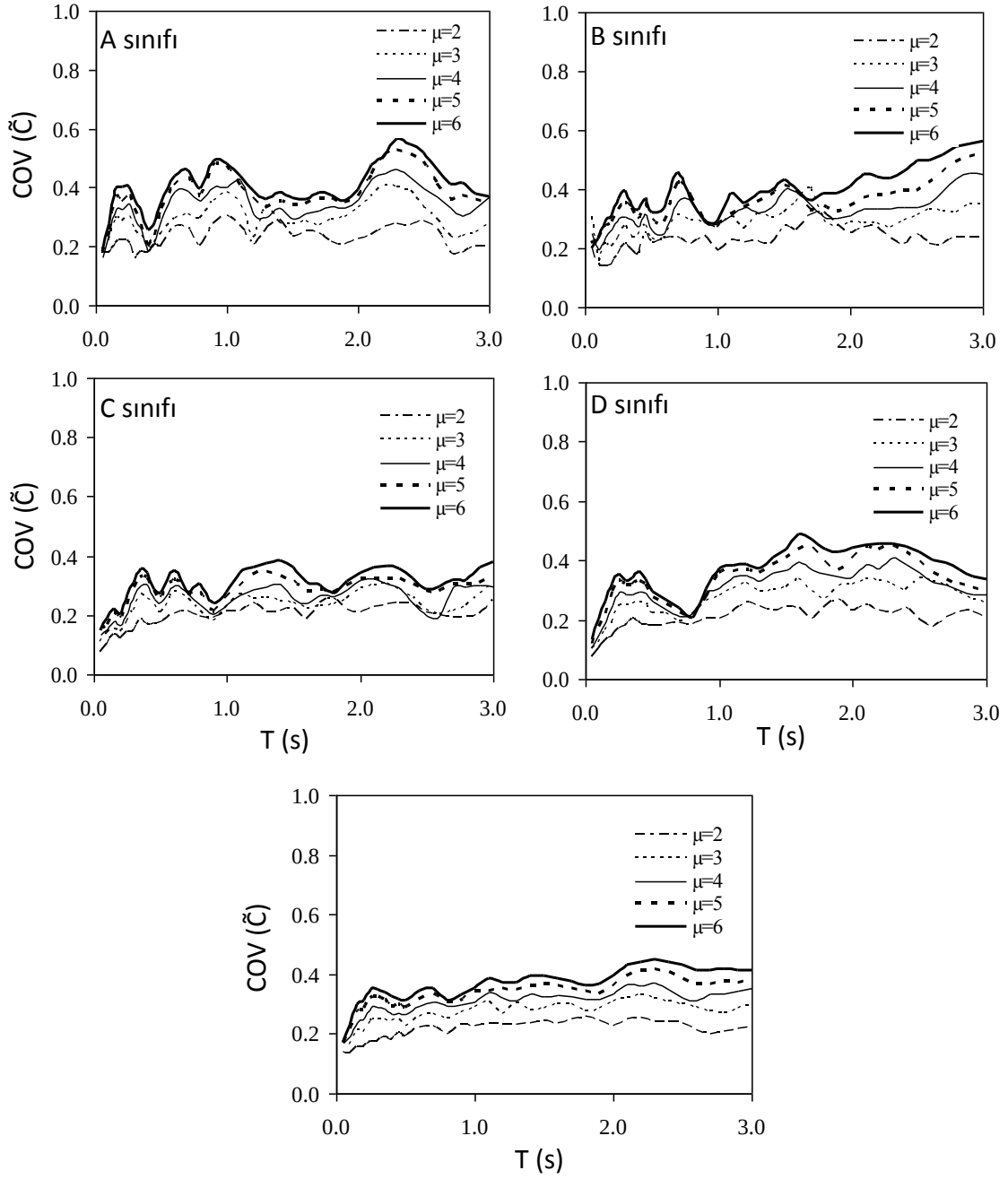


Şekil 4. 39 Etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme katsayısı oranının zemin sınıflarına göre değişimleri

Zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlardaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarına ait varyasyon katsayılarının periyoda göre değişimleri, her bir zemin sınıfına ait deprem kayıtları için ayrı ayrı ve tüm kayıtlar göz önüne alınarak, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41’de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere tüm zemin sınıfları için, etkileşimin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için hesaplanan elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarına ait varyasyon katsayıları süneklik istemi ile ilişkilidir. Süneklik isteminin artan değerleri için saçılım da artmaktadır. Tüm deprem kayıtları kullanılarak bulunan varyasyon katsayılarında, belirli bir periyot değerinden sonra varyasyon katsayılarının değişiminin yaklaşık olarak sabit olduğu söylenebilir.



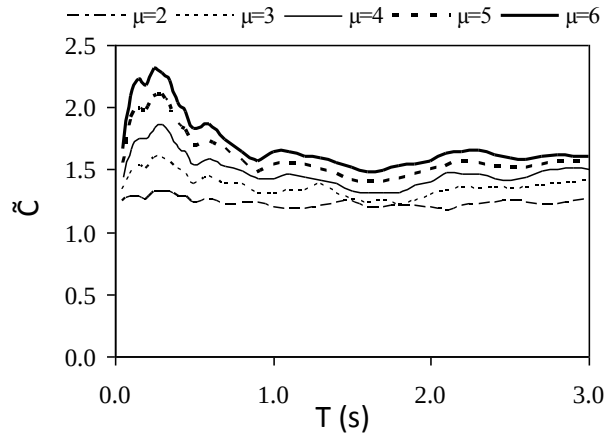
Şekil 4. 40 Zemin yapı etkileşiminin dikkate alınmadığı durumdaki ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarına ait varyasyon katsayılarının periyoda göre değişimi



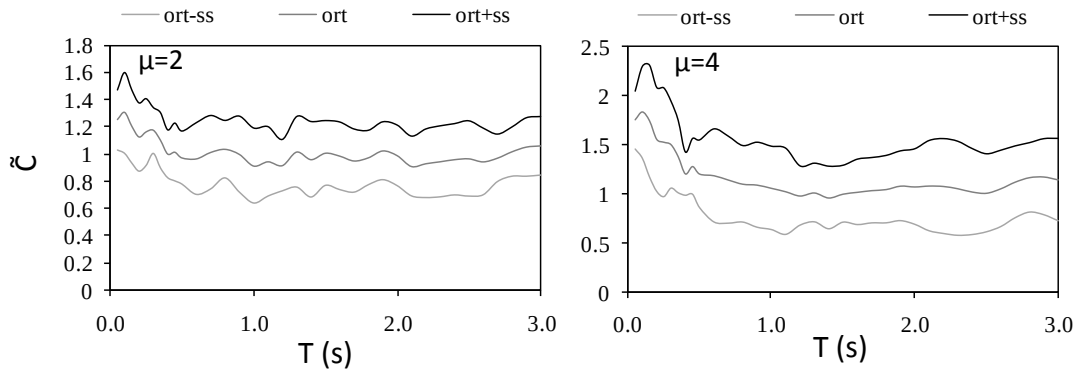
Şekil 4. 41 Zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı durumdaki ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarına ait varyasyon katsayılarının periyoda göre değişimi

Şekil 4.42’de etkileşimli durumdaki ortalama+1 standart sapma ile hesaplanmış elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının periyoda göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.43’de ise belirli iki süneklik istemi için ($\mu=2, 4$) ortalama, ortalama+1 standart sapma ve ortalama-1 standart sapma ile hesaplanan elastik olmayan yerdeğiştirme oranları gösterilmiştir. Etkileşimli duruma ait ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının %10 ve %90 güven düzeyleri için aralık tahminleri Şekil 4.44’de verilmiştir.

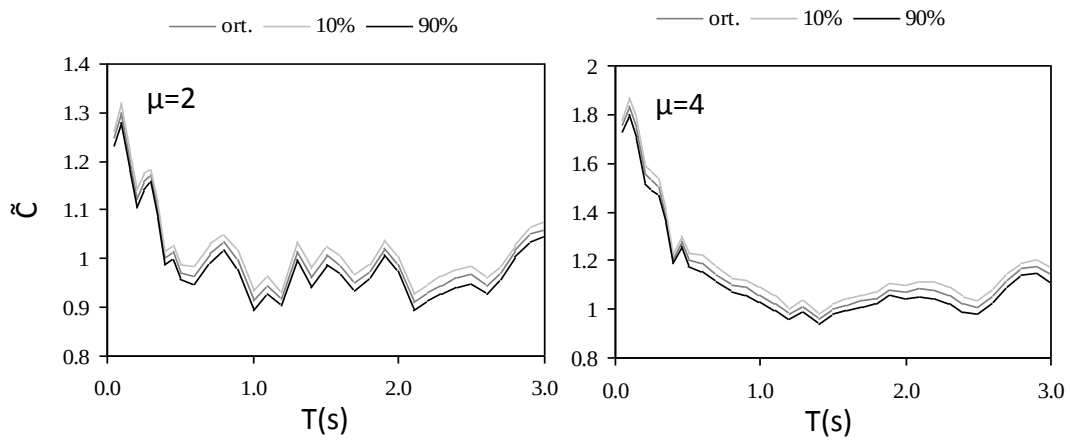
Başka bir deyişle, farklı bir deprem veritabanı kullanılması durumunda, %10 ve %90 güven düzeyleri için ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının alacağı en büyük ve en küçük değerler gösterilmiştir.



Şekil 4. 42 Ortalama+1 standart sapma ile hesaplanan elastik olmayan yerdeğiştirme oranları



Şekil 4. 43 Süneklik düzeyi 2 ve 4 olması durumu için ortalama, ortalama+1 standart sapma ve ortalama-1 standart sapma ile hesaplanan elastik olmayan yerdeğiştirme oranları



Şekil 4. 44 Etkileşimli duruma ait ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının %10 ve %90 güven düzeyleri için aralık tahminleri

4.2.3 Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi

Bu çalışma kapsamında, tüm zeminlerdeki deprem kayıtları, incelenen süneklik istemleri, narinlik oranları ve periyot aralıkları için zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı sistemlere ait ortalama deprem yükü azaltma katsayılarını ve elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarını kolay ve etkin bir şekilde belirleyebilmek amacıyla, doğrusal olmayan regresyon analizi yapılmıştır. STATISTICA [70] programı yardımıyla yapılan regresyon analizi sonucunda zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı sistemlere ait ortalama elastik olmayan yerdeğiştirme oranları ve deprem yükü azaltma katsayıları için aşağıdaki bağıntılar türetilmiştir:

$$\tilde{C} = 1 + a(\mu - 1)(\tilde{T}^b + \mu^c + d) \quad (4.29)$$

$$\tilde{R} = 1 + e(\mu - 1)(\mu^f + T^g)^{\frac{1}{T}} \quad (4.30)$$

(4.29) ve (4.30) bağıntılarında yer alan a~g katsayıları zemin yapı etkileşimi durumunda periyot uzama oranının ($\tilde{T}/T$) bir fonksiyonu olup, Çizelge 4.1 ve 4.2’de bu katsayıların değerleri, her bir zemin sınıfı için ayrı ayrı ve tüm örnekler göz önüne alınarak topluca özetlenmiş ve önerilen bağıntıların korelasyon katsayıları da verilmiştir.

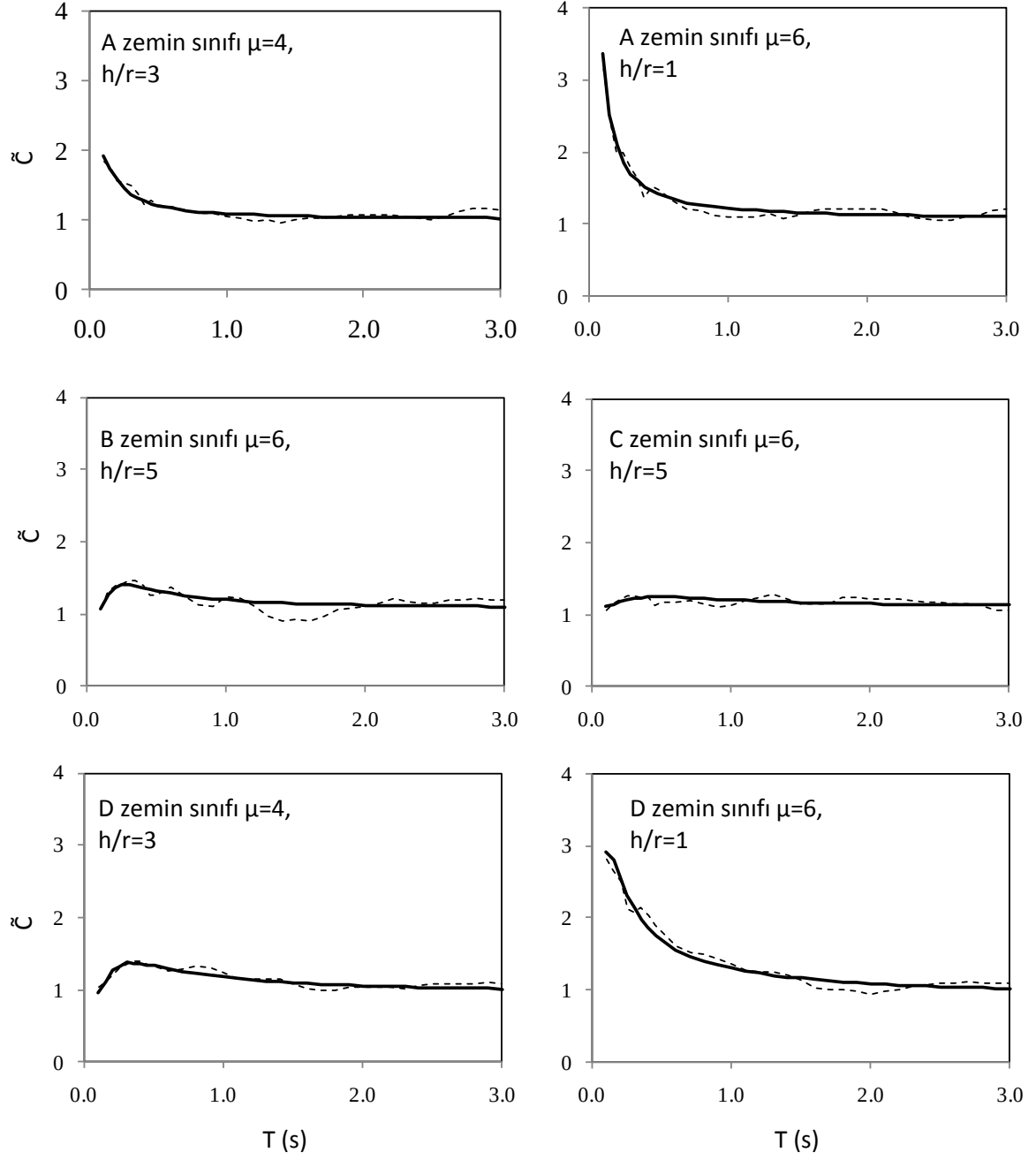
Çizelge 4. 1 (4.29) bağıntısındaki katsayılar

Zemin sınıfı	a	b	c	d	Korelasyon katsayısı
A	0.03	$0.77 \frac{\tilde{T}}{T} - 1.97$	$1.16 - 0.69 \frac{\tilde{T}}{T}$	$0.67 \frac{\tilde{T}}{T} - 2.56$	0.97
B	0.027	$0.88 \frac{\tilde{T}}{T} - 2.14$	$1.06 - 0.5 \frac{\tilde{T}}{T}$	$0.66 \frac{\tilde{T}}{T} - 2.9$	0.92
C	0.04	$0.64 \frac{\tilde{T}}{T} - 1.79$	$2.63 - 2.38 \frac{\tilde{T}}{T}$	$0.44 \frac{\tilde{T}}{T} - 1.61$	0.96
D	0.09	$1.03 \frac{\tilde{T}}{T} - 1.94$	$-0.16 + 0.14 \frac{\tilde{T}}{T}$	$-0.32 \frac{\tilde{T}}{T} - 0.98$	0.96
Tüm veriler	0.04	$0.76 \frac{\tilde{T}}{T} - 1.85$	$0.59 - 0.27 \frac{\tilde{T}}{T}$	$0.22 \frac{\tilde{T}}{T} - 1.82$	0.93

Çizelge 4. 2 (4.30) bağıntısındaki katsayılar

Zemin sınıfı	e	f	g	Korelasyon katsayısı
A	0.54	$-0.11 + 0.04 \frac{\tilde{T}}{T}$	$0.65 + 0.89 \frac{\tilde{T}}{T}$	0.98
B	0.54	$-0.06 - 0.01 \frac{\tilde{T}}{T}$	$-0.375 + 2.03 \frac{\tilde{T}}{T}$	0.97
C	0.48	$-0.07 - 0.02 \frac{\tilde{T}}{T}$	$-0.14 + 1.70 \frac{\tilde{T}}{T}$	0.98
D	0.42	$0.05 - 0.07 \frac{\tilde{T}}{T}$	$0.01 + 2.47 \frac{\tilde{T}}{T}$	0.98
Tüm veriler	0.49	$0.02 - 0.06 \frac{\tilde{T}}{T}$	$-2.88 + 4.65 \frac{\tilde{T}}{T}$	0.97

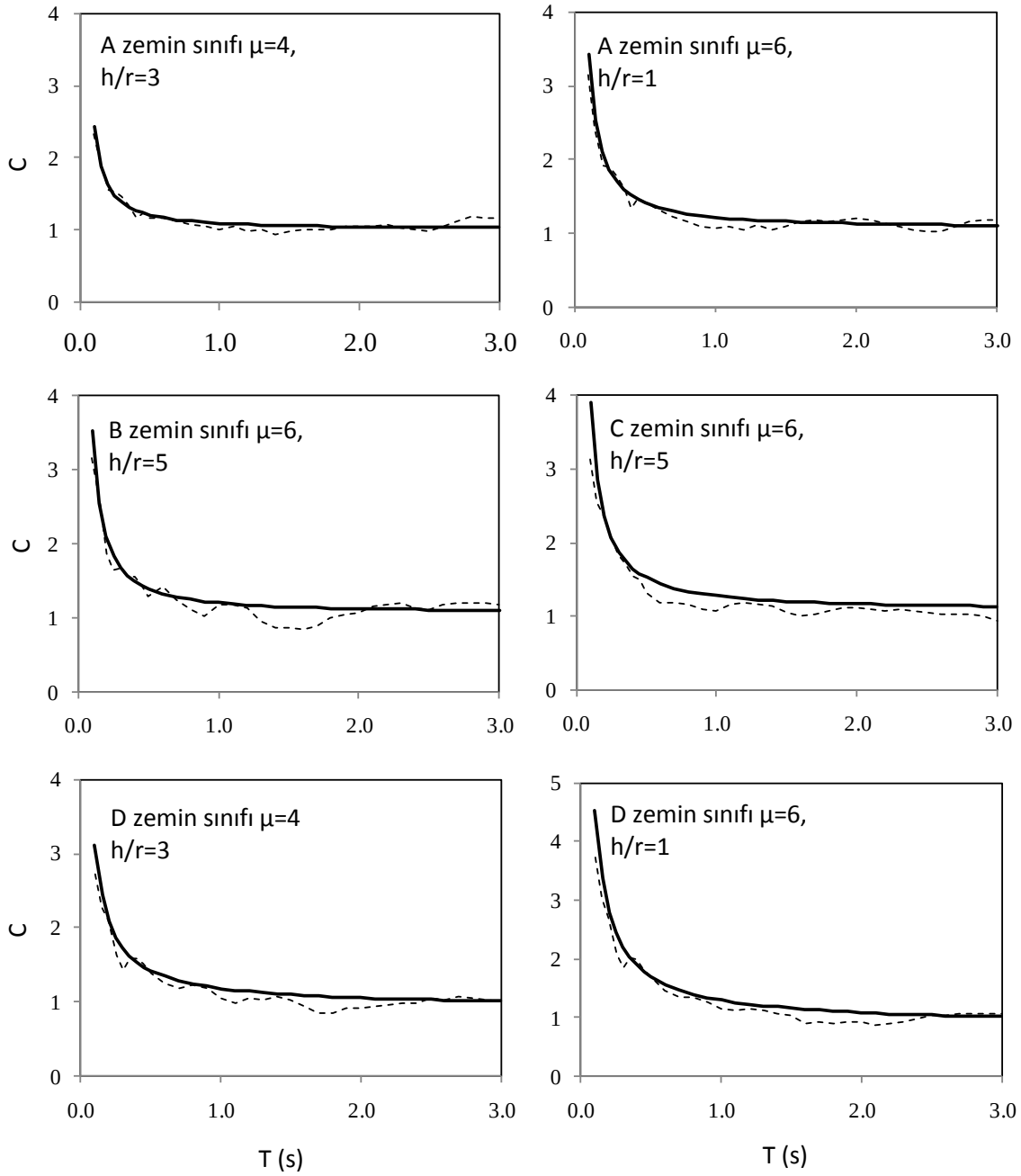
Şekil 4.45’de elastik olmayan yerdeğiştirme oranları için önerilen (4.29) bağıntısının uygunluğu farklı zemin sınıfları için gösterilmiştir. Diyagramlarda, önerilen bağıntı ile bulunan sonuçlar sürekli çizgiyle, dinamik çözümlemeden bulunan gerçek sonuçlar ise kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Karşılaştırmalar çeşitli süneklik istemleri ve narinlik oranları için gösterilmiş olup, sözü edilen değişkenlerin farklı değerleri için de benzer uyum sözkonusudur.



Şekil 4. 45 Önerilen (4.29) bağıntısı ile bulunan sonuçların gerçek sonuçlarla karşılaştırılması

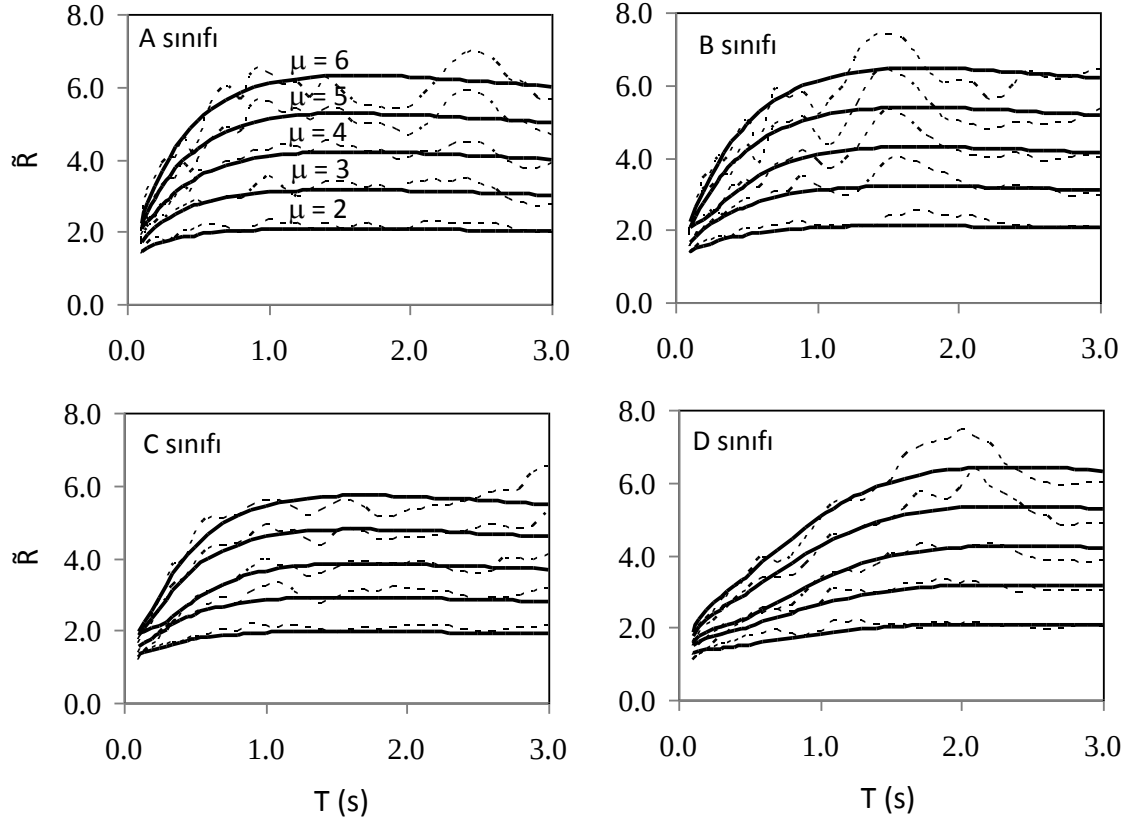
(4.29) bağıntısının etkileşimli sistemin elastik olmayan yerdeğiştirme oranları için türetilmiş olmasına rağmen, etkileşimsiz sisteme ait elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarını da bu bağıntı ile belirleyebilmek mümkündür. (4.29) bağıntısındaki etkileşimli sistemin periyodu ($\tilde{T}$) yerine, etkileşimsiz sistemin periyodunu (T) yazarak ve zemin yapı etkileşimli durumdaki periyot uzama oranını ($\tilde{T}/T$) bire eşitleyerek, etkileşimsiz sisteme ait elastik olmayan yerdeğiştirme oranları da bulunabilmektedir. Bu şekilde yeniden

düzenlenen bağıntı ile bulunan sonuçların etkileşimsiz sisteme ait elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarıyla karşılaştırılması Şekil 4.46’da gösterilmiştir.



Şekil 4. 46 (4.29) bağıntısının etkileşimsiz sistemler için yeniden düzenlenmesi ile bulunan sonuçların, gerçek sonuçlarla karşılaştırılması

Şekil 4.47’de ise deprem yükü azaltma katsayıları için önerilen (4.30) bağıntısının uygunluğu farklı zemin sınıfları için gösterilmiştir. Diyagramlarda, önerilen bağıntı ile bulunan sonuçlar sürekli çizgiyle, dinamik çözümlemeden bulunan gerçek sonuçlar ise kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Karşılaştırmalar narinlik oranının 3 ve süneklik isteminin 2~6 değerleri için verilmiştir.



Şekil 4. 47 Önerilen (4.30) bağıntısı ile bulunan sonuçların gerçek sonuçlarla karşılaştırılması

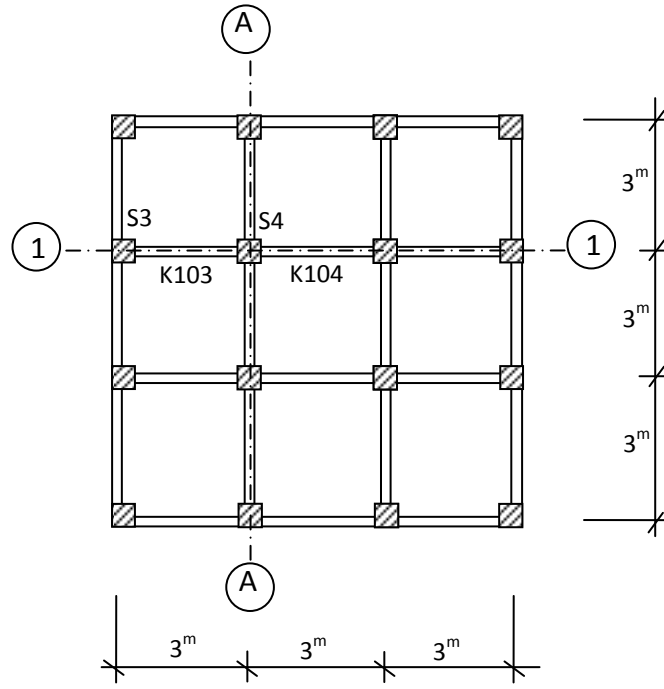
ÇOK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLER İÇİN YAPILAN ÇÖZÜMLEMELER

Bu bölümde, çok serbestlik dereceli yapıları temsil eden ve taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek çerçevelerden oluşan örnek betonarme binalar boyutlandırılmış ve etkileşimin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlardaki davranışları, analizlerde gözlenen yapısal davranış parametrelerine bağlı olarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ele alınan örnek binalar Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik [44] esas alınarak boyutlandırılmış ve artımsal dinamik çözümleme yöntemi ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemeye tabi tutulmuştur.

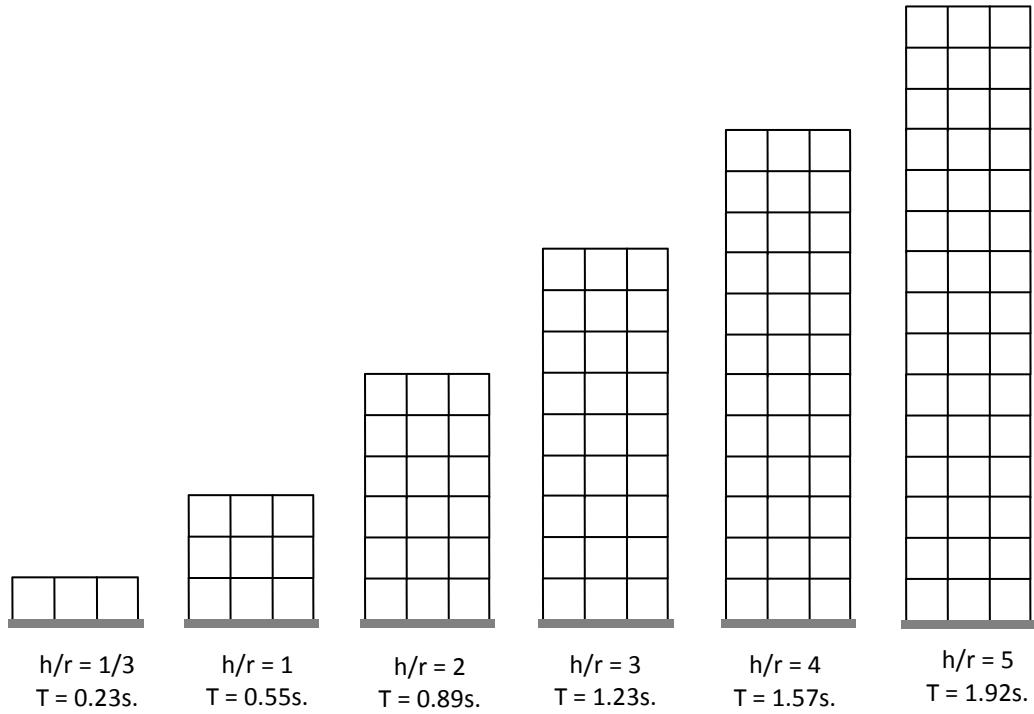
5.1 Örnek Binalar ve Mesnetlenme Özellikleri

5.1.1 Yapısal Sistem Özellikleri

Çözümlemelerde esas alınan taşıyıcı sistemlerin boyutlandırılmasında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik [44] esas alınmıştır. Taşıyıcı sistem olarak her iki doğrultuda da süneklik düzeyi yüksek üç açıklıklı çerçeve sistemler seçilmiştir. Birbirinden farklı altı kat sayısına (1, 3, 6, 9, 12 ve 15) dolayısıyla altı farklı narinlik oranına ($h/r = 1/3, 1, 2, 3, 4, 5$) sahip taşıyıcı sistemin malzemesi C25/S420'dir. Çözümlemeler iki boyutlu düzlem çerçeveler için yapılmış olup, h , yapının temelden itibaren yüksekliğini, r ise, yapının plandaki uzunluğunu ifade eder. Tipik kat planı Şekil 5.1'de verilen sistemde tüm açıklıklar ve kat yükseklikleri 3 m olarak alınmıştır. Tasarım sonucunda belirlenen eleman boyutları ve donatı detayları Ek 5'de verilmiştir.



Şekil 5. 1 Tipik kat planı.



Şekil 5. 2 A-A ve 1-1 eksenlerine ait düzlem çerçeveler.

5.1.2 Yapısal Sistemlerin Mesnetlenme Özellikleri

Yapı – zemin etkileşiminin yapısal davranış parametreleri üzerine etkilerinin araştırıldığı çözümlemelerde, zemin yapı etkileşiminin göz önüne alındığı ve alınmadığı durumlar için ayrı ayrı çözümleme yoluna gidilmiştir. Birinci durumda, taşıyıcı sistemin zemine ankastre bağlı olduğu kabul edilmiş ve gözlenen yapısal davranış parametreleri bu durum için belirlenmiştir. İkinci durumda ise, zemin yapı etkileşiminin göz önüne alınması için, literatürde geniş kullanım alanına sahip bir yöntem olan, yay ve sönüm elemanları kullanılarak zemine mesnetlenme sağlanmıştır. Sözü edilen bu modelleme, bir boyutlu dalga yayılımı teorisine dayanan Koni Modeli esas alınarak gerçekleştirilmiştir [19]. Bu modele göre, yay ve sönüm elemanları için esas alınan değerler Çizelge 5.1’de verilmiştir. Burada A_o , temel alanını, I_o , temel atalet momentini, r_o , eşdeğer temel yarıçapını, ν , zeminin Poisson oranını, v_s , zeminin kayma dalgası hızını, v_p , zeminin basınç dalgası hızını ve ρ , zeminin birim hacim kütlesini (birim hacim ağırlığı (γ) / yerçekimi ivmesi) göstermektedir. Zeminin Poisson oranı, kayada 0.2, alüvyon-yumuşak zeminde 0.4, çok yumuşak zeminde ise 0.5 olmaktadır.

Çizelge 5. 1 Zemin yapı etkileşiminde kullanılan yay ve sönüm elemanlarına ait değerler [71]

Hareket	Yatay ötelenme	Dönme
Eşdeğer yarıçap (r_o)	$\sqrt{\frac{A_o}{\pi}}$	$\sqrt[4]{\frac{4I_o}{\pi}}$
Boyut oranı (z_o / r_o)	$\frac{\pi}{8}(2 - \nu)$	$\frac{9\pi}{32}(1 - \nu)\left(\frac{v}{v_s}\right)^2$
Poisson oranı (ν)	ν (tüm değerler için)	$\leq \frac{1}{3} \quad \frac{1}{3} < \nu \leq \frac{1}{2}$
Dalga hızı (v)	v_s	$v_p \quad 2v_s$
Yay ve sönüm elemanlarına ait değerler	$K_h = \rho \cdot v^2 \cdot A_o / z_o$ $C_h = \rho \cdot v \cdot A_o$	$K_\theta = 3 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot I_o / z_o$ $C_\theta = \rho \cdot v \cdot I_o$

Poisson oranının 1/3 ile 1/2 arasındaki değerleri için yatay ötelenme hareketinde $v = v_s$, dönme hareketinde $v = 2v_s$ olduğundan, yay ve sönüm elemanlarına ait değerler şu şekilde hesaplanır:

$$K_h = \rho \cdot v^2 \cdot A_o / z_o = \rho \cdot v_s^2 \cdot \pi \cdot r_o^2 / z_o = \rho \cdot v_s^2 \cdot \pi \cdot r_o \cdot r_o / z_o \quad (5.1)$$

Bu denklemde, z_o / r_o boyut oranı olup, izelge 5.1’de öteleme hareketi için aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{z_o}{r_o} = \frac{\pi(2-v)}{8} \quad (5.2)$$

(5.2) ifadesini, (5.1) denkleminde yerine koyarak, ötelenme hareketi için yay elemanına ait (5.3) ifadesi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$K_h = \rho \cdot v_s^2 \cdot \pi \cdot r_o \cdot \frac{r_o}{z_o} = \rho \cdot v_s^2 \cdot \pi \cdot r_o \cdot \frac{8}{\pi \cdot (2-v)} = \frac{8\rho \cdot v_s^2 \cdot r_o}{(2-v)} \quad (5.3)$$

Benzer şekilde, ötelenme hareketi iin snm elemanına ait (5.4) denklemi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$C_h = \rho \cdot v \cdot A_o = \rho \cdot v_s \cdot \pi \cdot r_o^2 \quad (5.4)$$

Dönme hareketi iin yay elemanına ait denklem (5.5) bağıntısı ile gsterilmiştir:

$$K_\theta = 3 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot I_o / z_o \quad (5.5)$$

(5.5) denkleminde $v = 2v_s$ ve $I_o = \pi \cdot r_o^4 / 4$ yazılarak (5.6) bağıntısı elde edilir:

$$K_\theta = 3\rho \cdot v^2 \cdot I_o / z_o = 3\rho \cdot (2v_s)^2 \cdot \frac{\pi \cdot r_o^4}{4 \cdot z_o} = 3\rho \cdot 4v_s^2 \cdot \pi \cdot \frac{r_o^3}{4} \cdot \frac{r_o}{z_o} \quad (5.6)$$

(5.6) denkleminde yer alan z_o / r_o ifadesinin izelge 5.1’de verilen ifadesi yerine konularak, dönme hareketi için yay elemanına ait (5.8) denklemi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\frac{z_o}{r_o} = \frac{9\pi(1-v)}{32} \left(\frac{v}{v_s} \right)^2 = \frac{9\pi(1-v)}{32} \left(\frac{2v_s}{v_s} \right)^2 \quad (5.7)$$

$$K_\theta = 3\rho \cdot 4v_s^2 \cdot \pi \cdot \frac{r_o^3}{4} \cdot \frac{32}{9\pi(1-v) \cdot 4} = \frac{8 \cdot \rho \cdot v_s^2 \cdot r_o^3}{3(1-v)} \quad (5.8)$$

Benzer şekilde, dönme hareketi için sönüm elemanına ait (5.9) denklemi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$C_{\theta} = \rho \cdot v \cdot I_0 = \rho \cdot (2v_s) \cdot \pi \cdot \frac{r_0^4}{4} = \frac{\pi}{2} \cdot \rho \cdot v_s \cdot r_0^4 \quad (5.9)$$

Poisson oranının 1/3 den küçük değerleri için yatay ötelenme hareketinde $v = v_s$, dönme hareketinde $v = v_p$ olduğundan, yay ve sönüm elemanlarına ait değerler şu şekilde hesaplanır:

$$K_h = \rho \cdot v_s^2 \cdot A_0 / z_0 = \rho \cdot v_s^2 \cdot \pi \cdot r_0^2 / z_0 = \rho \cdot v_s^2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot r_0 / z_0 \quad (5.10)$$

Bu denklemde, z_0 / r_0 boyut oranı olup, Çizelge 5.1'de öteleme hareketi için (5.2) bağıntısı ile ifade edilen değeri, (5.10) bağıntısında yerine konularak, ötelenme hareketi için yay elemanına ait (5.11) ifadesi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$K_h = \rho \cdot v_s^2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot \frac{r_0}{z_0} = \rho \cdot v_s^2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot \frac{8}{\pi \cdot (2-v)} = \frac{8 \rho \cdot v_s^2 \cdot r_0}{(2-v)} \quad (5.11)$$

Benzer şekilde, ötelenme hareketi için sönüm elemanına ait (5.12) denklemi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$C_h = \rho \cdot v \cdot A_0 = \rho \cdot v_s \cdot \pi \cdot r_0^2 \quad (5.12)$$

Dönme hareketi için yay elemanına ait denklem (5.13) bağıntısı ile gösterilmiştir:

$$K_{\theta} = 3 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot I_0 / z_0 \quad (5.13)$$

(5.13) denklemde $v = v_p$ ve $I_0 = \pi \cdot r_0^4 / 4$ yazılarak (5.14) bağıntısı elde edilir:

$$K_{\theta} = 3 \rho \cdot v_p^2 \cdot I_0 / z_0 = 3 \rho \cdot v_p^2 \cdot \frac{\pi \cdot r_0^4}{4 \cdot z_0} = 3 \rho \cdot v_p^2 \cdot \pi \cdot \frac{r_0^3}{4} \cdot \frac{r_0}{z_0} \quad (5.14)$$

(5.14) denklemde yer alan z_0 / r_0 ifadesinin Çizelge 5.1'de verilen ifadesi yerine konularak, dönme hareketi için yay elemanına ait (5.16) denklemi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\frac{z_0}{r_0} = \frac{9\pi(1-v)}{32} \left(\frac{v}{v_s} \right)^2 = \frac{9\pi(1-v)}{32} \left(\frac{v_p}{v_s} \right)^2 \quad (5.15)$$

$$K_{\theta} = 3 \rho \cdot v_p^2 \cdot \pi \cdot \frac{r_0^3}{4} \cdot \frac{32}{9\pi(1-v)} \cdot \frac{v_s^2}{v_p^2} = \frac{8 \cdot \rho \cdot v_s^2 \cdot r_0^3}{3(1-v)} \quad (5.16)$$

Benzer şekilde, dönme hareketi için sönüm elemanına ait (5.17) denklemi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$C_{\theta} = \rho \cdot v \cdot I_0 = \rho \cdot (v_p) \cdot \pi \cdot \frac{r_0^4}{4} \quad (5.17)$$

5.2 Yöntem – Artımsal Dinamik Çözümleme

Artımsal dinamik çözümleme (incremental dynamic analysis – IDA), yapısal davranışın tüm evrelerinin (elastik davranıştan, global stabilite kaybına kadar) belirlenmesinde, farklı şiddet seviyelerine göre ölçeklendirilmiş bir ya da daha fazla deprem kaydı kullanılarak, doğrusal olmayan dinamik çözümleme yapılan bir yöntemdir. Bu çalışmada artımsal dinamik çözümleme yönteminin kullanılmasının nedeni, incelenen yapısal davranış parametrelerinin hesaplanabilmesi için gerekli olan akma noktasının çok serbestlik dereceli sistemlerde belirlenmesinin kolay ve pratik olmayışındır. Bu nedenle deprem kaydını sürekli arttırarak, sistemin tüm davranışının bir başka deyişle, akma ve göçme noktalarının tam olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu yöntem ilk kez 1977 yılında Bertero tarafından kullanılmıştır [72]. Sonraki yıllarda da çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Son olarak Vamvatsikos ve Cornell tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir [73]. Artımsal dinamik çözümleme için belirlenmesi gereken iki parametre bulunmaktadır. Bunlardan ilki depremin şiddetini ifade eden ve ölçeklendirmede esas alınacak olan parametredir (şiddet ölçütü). Diğeri ise depremin şiddetini ifade eden parametrenin karşılığı olan ve hasarı ifade eden yapısal davranış parametresidir (hasar ölçütü). Bir depremin farklı şiddet seviyelerine göre ölçeklendirilmesi, o depremin süresinde ve frekans içeriğinde herhangi bir değişikliğe neden olmaz. Sadece yer hareketine ait tüm ivme değerlerinin sabit bir sayı ile çarpılması esasına dayanır. Bu ölçeklendirmenin iki şekilde yapılması mümkündür. Birinci yaklaşımda, deprem kaydı doğrudan en büyük yer ivmesine göre ölçeklendirilirken, ikinci yaklaşımda ise yapısal sistemin birinci moduna ait spektral ivme değerinden hareketle ölçeklendirme yapılmaktadır. Artımsal dinamik çözümleme için gereken ikinci parametre ise, çözümlemelerde yapısal hasarı tanımlayabilmek için gerekli olan hasar parametresidir. Bu parametre, görelî tepe deplasmanı, herhangi bir katın görelî deplasmanı, en büyük taban kesme kuvveti veya en büyük görelî kat ötelemesi gibi farklı parametreler olabilir. Genellikle hasar parametresi olarak, en büyük görelî kat ötelemesi değeri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, ölçeklendirme doğrudan en büyük yer ivmesine göre yapılmış olup, hasar parametresi olarak da en büyük görelî kat ötelemesi seçilmiştir.

ÇSD sistemlere ait deprem yükü azaltma katsayılarının hesabı için izlenen yol şu şekilde özetlenebilir. Öncelikle, her bir deprem kaydı için elastik taban kesme kuvvetleri

hesaplanır. Bu elastik taban kesme kuvveti, yapının birinci titreşim periyoduna karşı gelen spektral ivme ile yapı ağırlığının ve her bir deprem kaydı için bulunan ölçeklendirme katsayısının çarpımına eşittir. Deprem kayıtlarına ait ölçeklendirme katsayıları ise, artımsal dinamik çözümleme ile bulunan ve elastik davranışın artık geçerli olmadığı, akma noktasındaki deprem kaydının ölçeklendirildiği katsayıdır. Deprem yükü azaltma katsayıları ise, her bir deprem kaydı için hesaplanan elastik taban kesme kuvvetlerinin, tasarım taban kesme kuvvetine oranı olarak belirlenmektedir.

ÇSD sistemlere ait elastik olmayan yerdeğiştirme oranları ve süneklikler hesaplanırken, en üst kata ait en büyük ve akma yerdeğiştirmeleri (tepe yerdeğiştirmesi) dikkate alınmıştır.

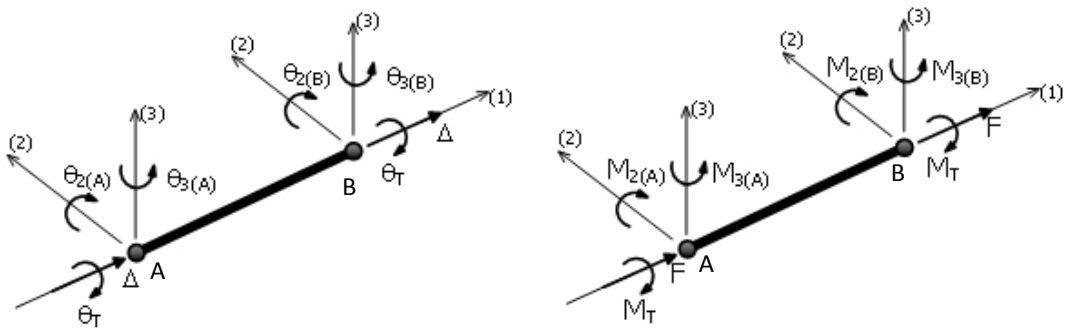
5.2.1 Akma Tanımı

Bu çalışmada, zemin yapı etkileşiminin göz önüne alındığı ve alınmadığı durumdaki çözümlemeler, hem bir serbestlik dereceli hem de çok serbestlik dereceli sistemler için yapılmıştır. İncelenen yapısal davranış parametrelerinin hesabı için akma noktasının ve bu noktadaki yerdeğiştirmenin ve yapısal kuvvetin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bir serbestlik dereceli sistemler için akma anı kolaylıkla bulunabilirken, çok serbestlik dereceli sistemlerde akma noktası için yaklaşık bir kabul yapılması ve akma kriteri tanımlanması gerekir. Bu çalışmada, çok serbestlik dereceli sistemler için akma kriterleri olarak, yerel ve global anlamda olmak üzere iki kriter tanımlanmıştır. Yerel akma kriteri olarak, örtü betonun dağılması veya donatı çeliğinin akması tanımlanmıştır. Bu durumlara karşılık gelen malzeme birim şekil değiştirmeleri, örtü beton için (ϵ_{co}) 0.002 ve donatı çeliği için (ϵ_{sy}) 0.0021 kabul edilmiştir. Bu değerlerden birine ulaşıldığı anda, yapıda akma noktasına ulaşıldığı kabul edilmiştir. Global anlamda ise, artımsal dinamik çözümleme eğrisinin doğrusallıktan uzaklaştığı ve eğiminde azalmanın olduğu nokta, akma noktası olarak kabul edilmiştir. Çözümlemelerde en büyük görece kat ötelemesi değeri 0.03 ile sınırlandırılmış ve bu anda yapıda göçme olduğu kabul edilmiştir [74].

5.2.2 Çözümleme Platformu

Bu çalışmada; çok serbestlik dereceli sistemlerin artımsal dinamik çözümleri için SEISMOSTRUCT [75] yazılımı kullanılmıştır. SeismoStruct, iki ve üç boyutlu, çelik, betonarme ve kompozit sistemlerin, hem geometri hem de malzeme bakımından doğrusal olmama durumunu göz önüne alarak statik ve dinamik yükler altında analiz yapabilen bir sonlu eleman programıdır. SeismoStruct programında, statik analiz, özdeğer analizi, itme analizi (pushover), doğrusal olmayan dinamik analiz ve artımsal dinamik analiz yapılabilmektedir. Ayrıca programda, onbir farklı malzeme modeli ve onbeş farklı enkesit tanımı mevcuttur.

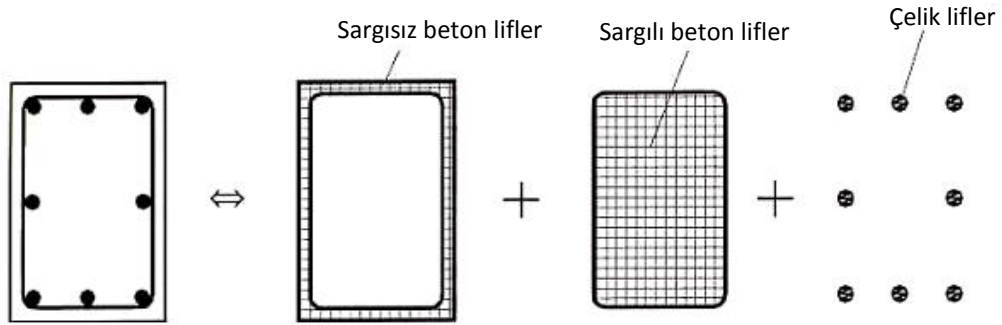
SeismoStruct programında, doğrusal olmayan malzeme davranışı, lif (fiber) eleman yaklaşımı kullanılarak, plastiklik bir noktada yığılı olarak değil, eleman uzunluğu ve kesit yüksekliği boyunca yayılı olarak ele alınmaktadır. Lif eleman modelleri, eğilme davranışı ile eksenel kuvvet arasındaki etkileşimi tanımlamanın uygun olması sebebiyle literatürde geniş kullanım alanına sahiptir. Kesite ait gerilme-şekil değiştirme durumu ise, kesiti oluşturan her bir lif için elastik ötesi malzeme davranışının integrasyonundan hareketle bulunmaktadır. Bunun yanı sıra program, geometrik olarak doğrusal olmayan davranışı, hem yerel (kiriş-kolon elemanlarda, $P-\delta$), hem de genel (sisteme ait büyük yerdeğiştirme / dönme etkileri, $P-\Delta$) olarak dikkate almaktadır. Programın büyük şekil değiştirme seviyelerindeki yakınsaklığı ve sayısal stabilitesi sebebiyle, elastik ötesi tepkinin ve göçme yükünün bulunması kolaydır. Kiriş ve kolonlar kübik üç boyutlu elastoplastik kiriş kolon elemanları kullanılarak modellenmiştir. Elemanın yerdeğiştirme ve dönmeleri Şekil 5.3'de görülen şekilde tanımlanır.



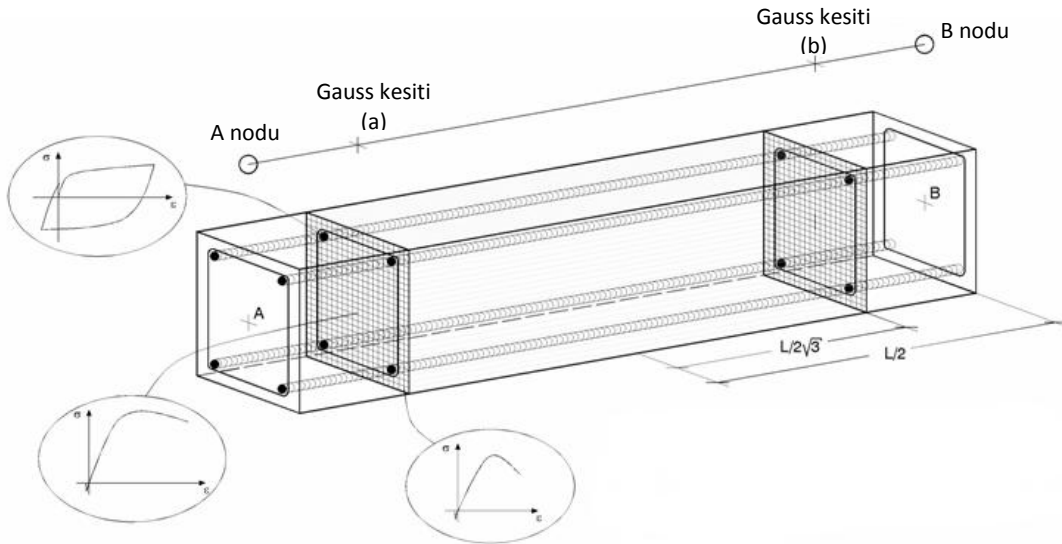
Şekil 5. 3 Elemanın yerdeğiştirme ve dönmeleri [75]

Bu eleman tipinde nümerik integrasyonlar iki Gauss kesitinde yapılmaktadır. Her bir Gauss kesitinde gerilmeler ve şekil değiştirmeler malzeme ilişkilerine dayanan lif (fiber)

yaklaşımıyla eleman uzunluğu ve kesit yüksekliği boyunca değişken olarak elde edilir. Bu nedenle mafsall oluşması beklenen bölgelerde ayrıca bir mafsall tanımlaması yapmaya gerek yoktur. Bu yaklaşım Şekil 5.4 ve 5.5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 4 Tipik betonarme kesitin liflere ayrılması [75]



Şekil 5. 5 Eleman boyunca tipik betonarme kesitin gösterimi [75]

Çözümlemelerde sönümün etkisi, literatürde sıklıkla kullanılan rijitlik orantılı sönüm olarak dikkate alınmıştır. Rijitlik orantılı sönüm için, rijitlik matrisine ait sönüm parametresi α_k , T, yapı periyodu, ξ , sönüm oranı olmak üzere,

$$\alpha_k = \frac{T\xi}{\pi} \quad (5.18)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

SeismoStruct yazılımı, Newmark Yöntemini [69] kullanarak, t_{i+1} anındaki davranışı t_i anındaki davranıştan faydalanarak, Bölüm 4.1’de bir serbestlik dereceli sistemler için anlatılan çözüm yöntemine dayanarak bulur. SeismoStruct, γ' nın 0.5, β' nın 0.25

değerini aldığı, Newmark yönteminin özel bir hali olan, sabit ortalama ivme yöntemini kullanır. Bu yöntemde, Δt zaman aralığı boyunca ivmenin sabit kaldığı ve t_i ve t_{i+1} anlarındaki ivmelerin ortalamasına eşit olduğu varsayılır.

5.2.3 Artımsal Dinamik Çözümleme Eğrileri

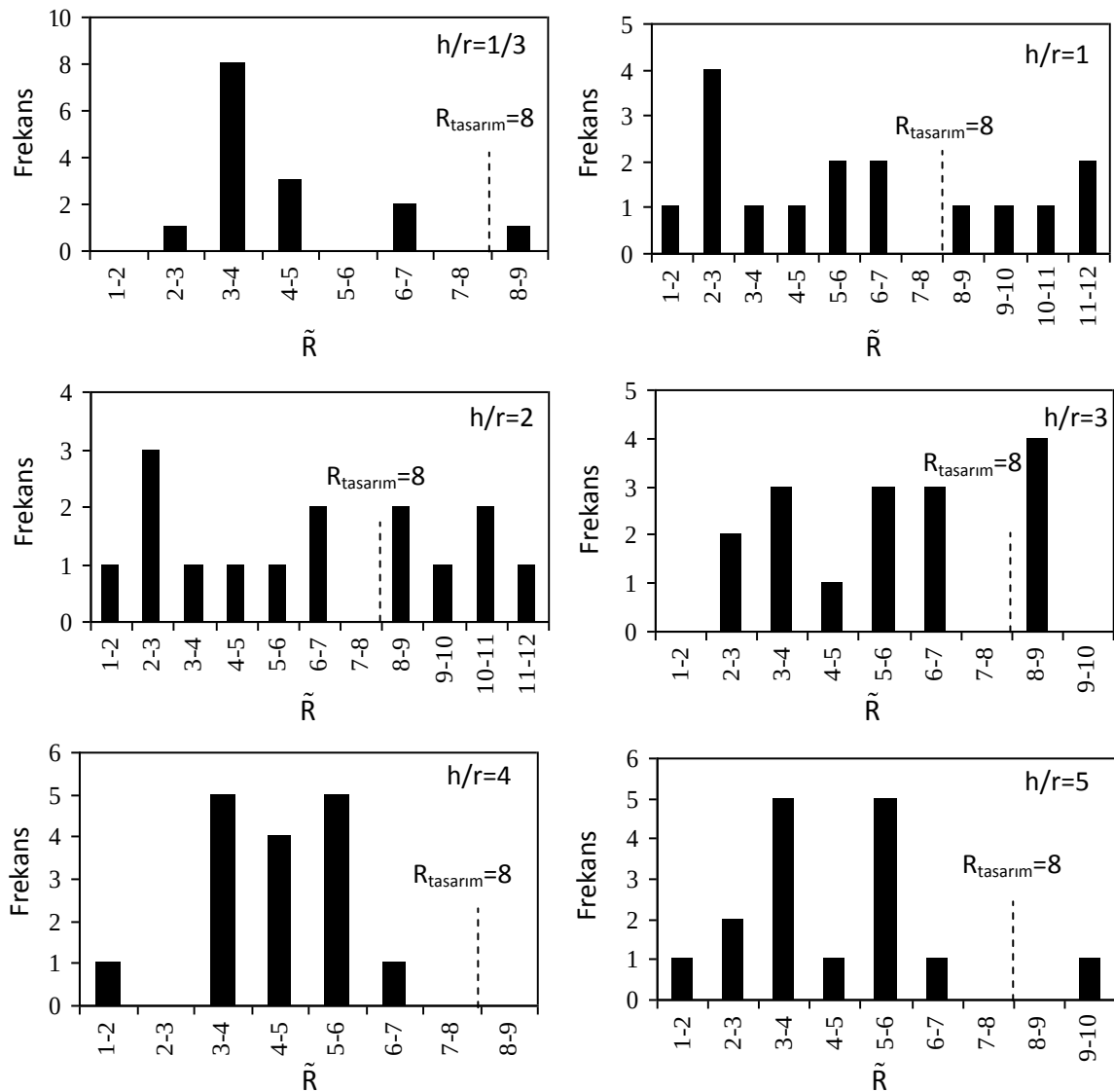
Artımsal dinamik çözümlemeler sonucunda tüm çerçevelerin farklı zemin sınıflarına göre zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için oluşturulan artımsal dinamik çözümleme eğrileri Ek 6'da verilmiştir.

5.3 Artımsal Dinamik Çözümleme Sonuçları

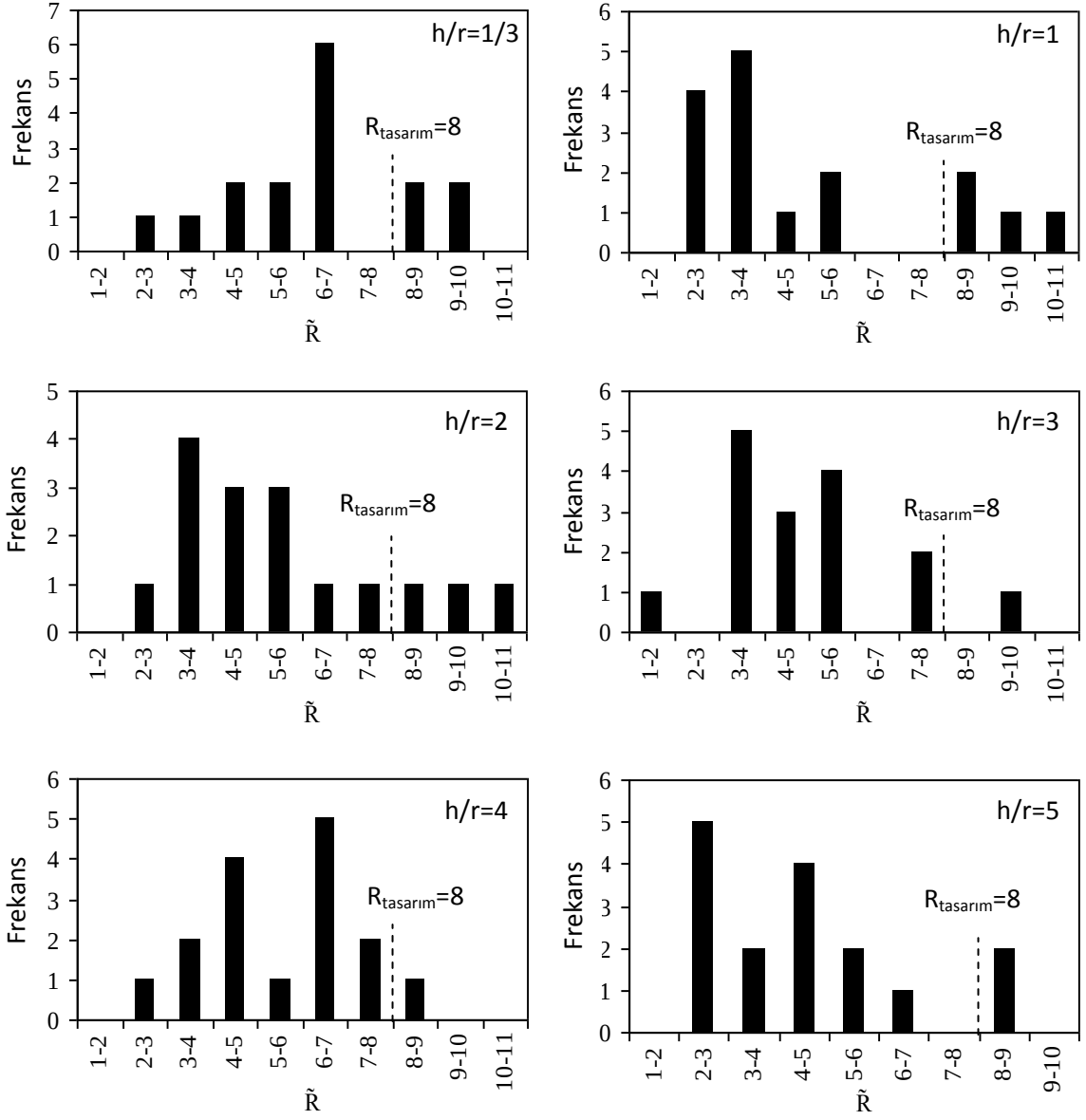
Çözümlemeler sonucunda tüm çerçeve sistemlerin zemin yapı etkileşiminin göz önüne alındığı ve alınmadığı durumlardaki bazı yapısal davranış parametreleri örneğin; deprem yükü azaltma katsayıları (R), elastik olmayan yerdeğiştirme oranları (C) ve sistem süneklik kapasiteleri (μ) hesaplanmıştır. Bu parametreler hesaplanırken, Bölüm 3.3'de tanımlanan akma kriterleri kullanılmıştır.

Şekil 5.6 ile Şekil 5.9'da zemin yapı etkileşimi dikkate alınarak hesaplanan deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar her bir narinlik oranı için verilmiştir. Ayrıca bu histogramlarda, örnek binalar için yönetmelikte tanımlanan deprem yükü azaltma katsayısı da kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere, zemin yapı etkileşiminin deprem yükü azaltma katsayıları üzerinde azaltıcı bir etkisinden söz etmek mümkündür. Bu etki, özellikle C ve D zemin sınıflarına ait deprem kayıtları ve zemin özellikleri kullanılarak yapılan çözümlemelerde oldukça belirgindir. A ve B zemin sınıflarına ait deprem kayıtları ve zemin özellikleri kullanılarak yapılan çözümlemelerde de benzer bir eğilim olmakla birlikte bu eğilim sınırlı miktarda kalmaktadır. Şekil 5.10'da ise zemin sınıflarına göre etkileşimli durumda hesaplanan ortalama deprem yükü azaltma katsayılarının narinlik oranlarına göre değişimi gösterilmiştir. Burada, en üstteki çizgi A zemin sınıfı için bulunan ortalama deprem yükü azaltma katsayılarını, en alttaki çizgi ise D zemin sınıfı için bulunan ortalama deprem yükü azaltma katsayılarını göstermektedir. B ve C zemin sınıflarına ait ortalama deprem yükü azaltma katsayıları ise bu iki çizginin arasında kalmaktadır. Bu durum, deprem yükü azaltma katsayılarının A zemin sınıfından D zemin sınıfına doğru giderek azaldığını göstermektedir. Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de ise sırasıyla, zemin sınıflarına göre tüm örnek sistemler dikkate alınarak

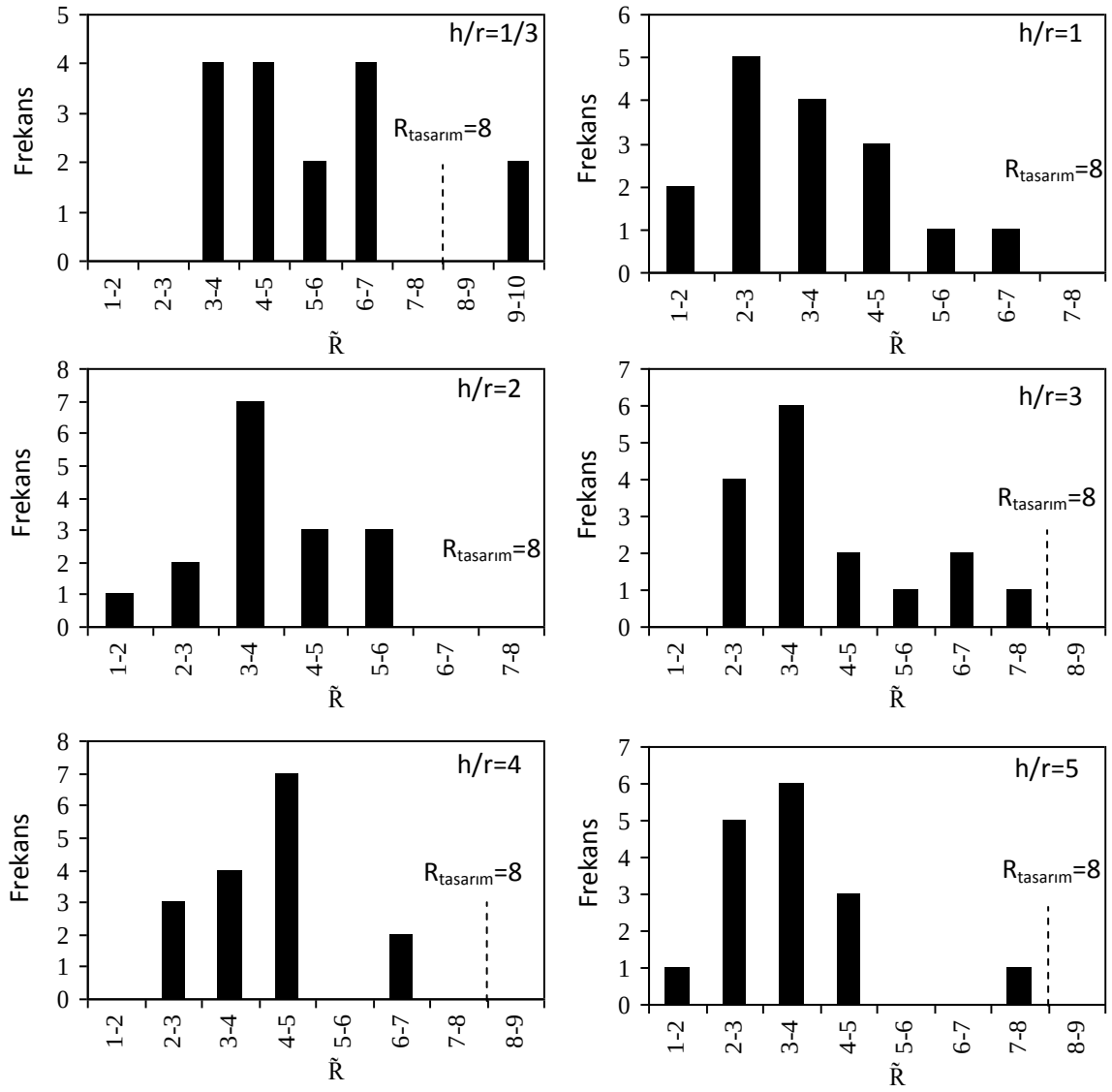
bulunan etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar, zemin sınıflarına göre ayrı ayrı ve topluca sunulmuştur. Yine bu histogramlarda, örnek binalar için yönetmelikte tanımlanan deprem yükü azaltma katsayısı da kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.11’de zemin sınıflarına göre verilmiş histogramlar incelendiğinde, özellikle C ve D zemin sınıflarında zemin ile yapı arasındaki etkileşim dikkate alınarak bulunan deprem yükü azaltma katsayılarının büyük bir kısmının yönetmelikte tanımlanan deprem yükü azaltma katsayısından küçük olduğu görülmektedir. A ve B zemin sınıflarında ise bu eğilim sınırlıdır. Şekil 5.12’deki tüm çözümleme sonuçlarına göre bulunan histogram incelendiğinde de benzer eğilim olduğu açıkça görülmektedir.



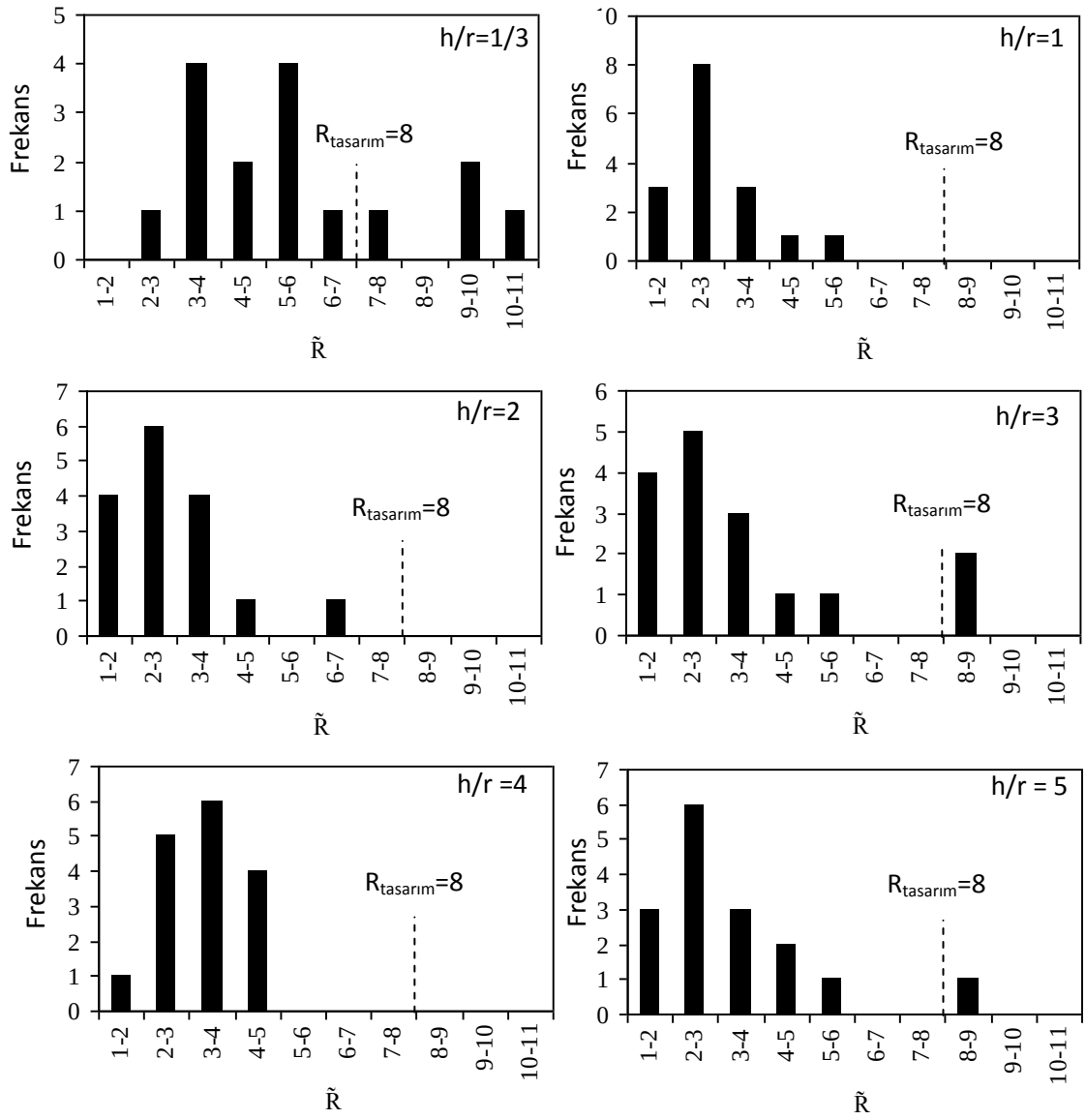
Şekil 5. 6 A zemin sınıfında farklı narinlik oranları için etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar



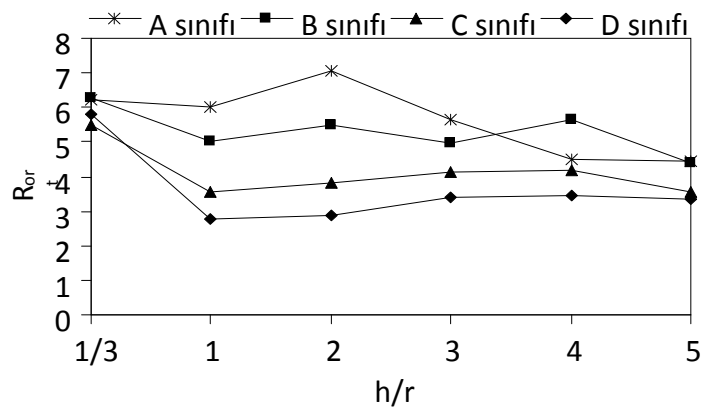
Şekil 5. 7 Her bir narinlik oranı ve B zemin sınıfı için etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar



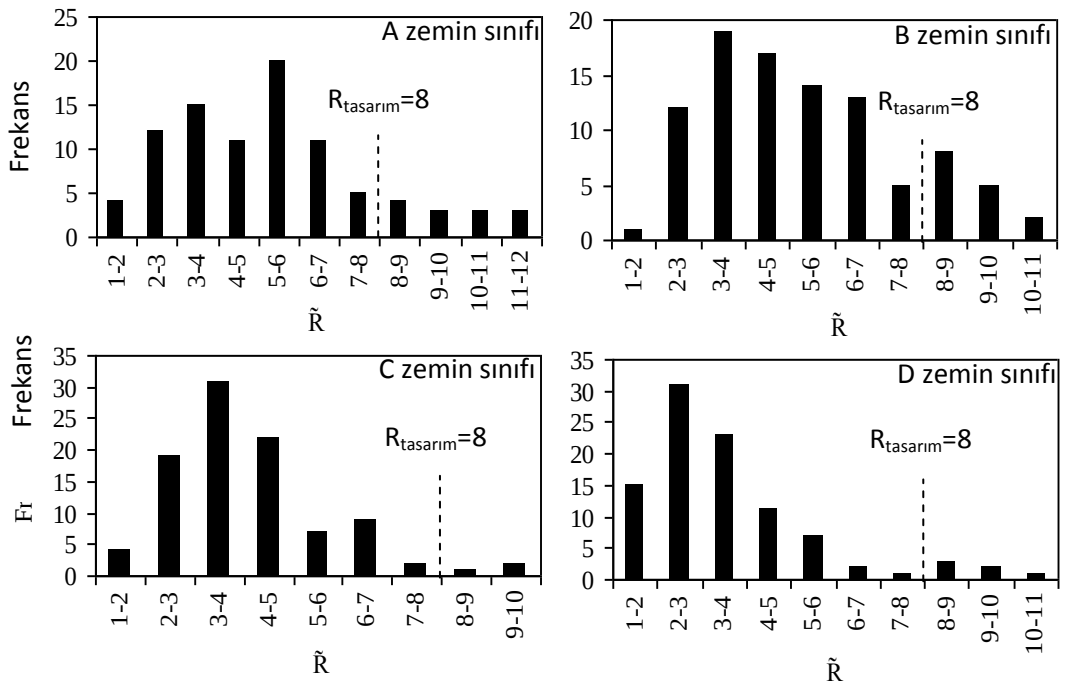
Şekil 5. 8 Her bir narinlik oranı ve C zemin sınıfı için etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar



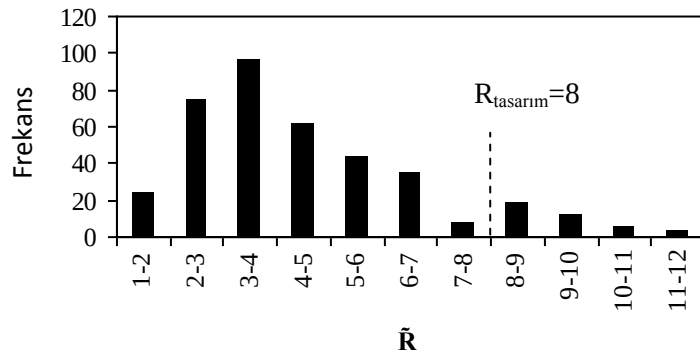
Şekil 5. 9 Her bir narinlik oranı ve D zemin sınıfı için etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar



Şekil 5. 10 Zemin sınıflarına göre etkileşimli durumdaki ortalama deprem yükü azaltma katsayılarının narinlik oranlarına göre değişimi



Şekil 5. 11 Zemin sınıflarına göre tüm narınlık oranları dikkate alınarak bulunan etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar



Şekil 5. 12 Tüm zemin sınıfları ve narınlık oranları göz önüne alınarak etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar

ı için etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar

Şekil 5. 8 Her bir narinlik oranı ve C zemin sınıfı için etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar

Şekil 5. 9 Her bir narinlik oranı ve D zemin sınıfı için etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar

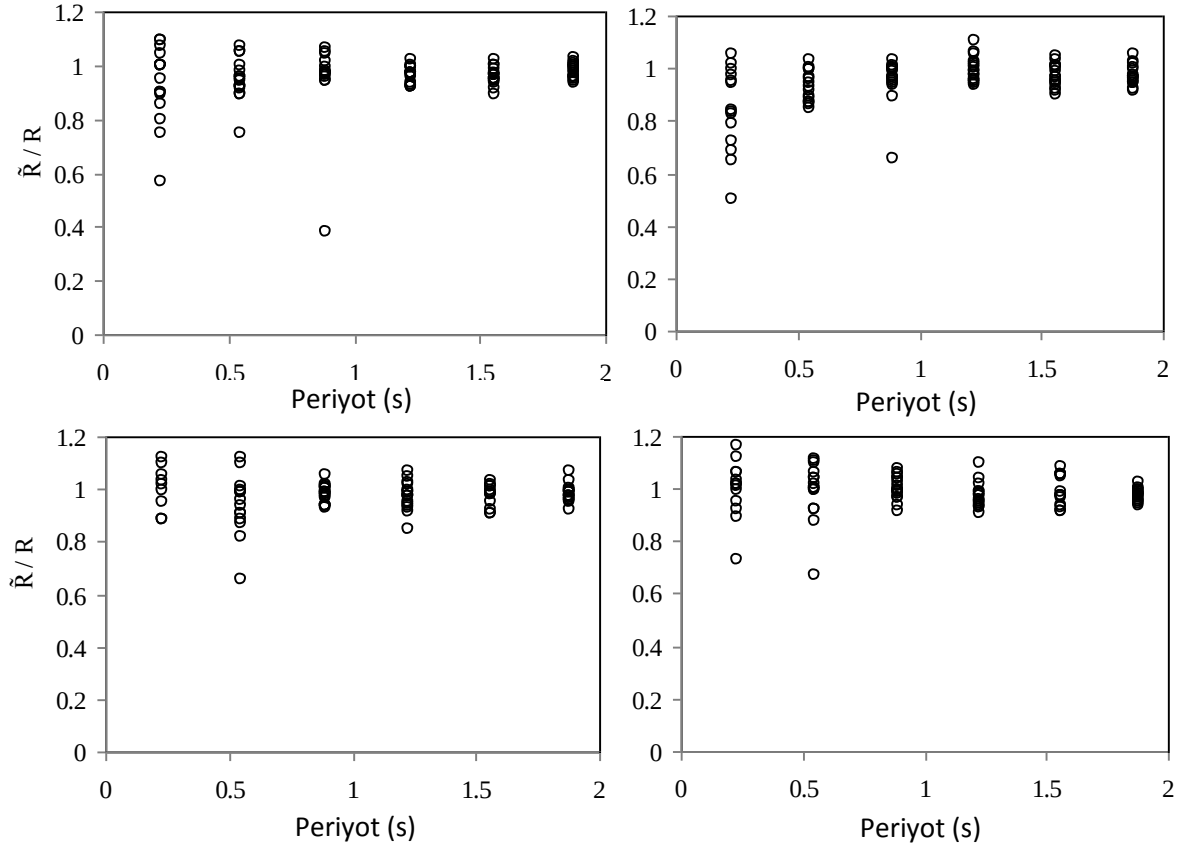
Şekil 5. 10 Zemin sınıflarına göre etkileşimli durumdaki ortalama deprem yükü azaltma katsayılarının narinlik oranlarına göre değişimi

Şekil 5. 11 Zemin sınıflarına göre tüm narinlik oranları dikkate alınarak bulunan etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar

Şekil 5. 12 Tüm zemin sınıfları ve narinlik oranları göz önüne alınarak etkileşimli durumdaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait histogramlar

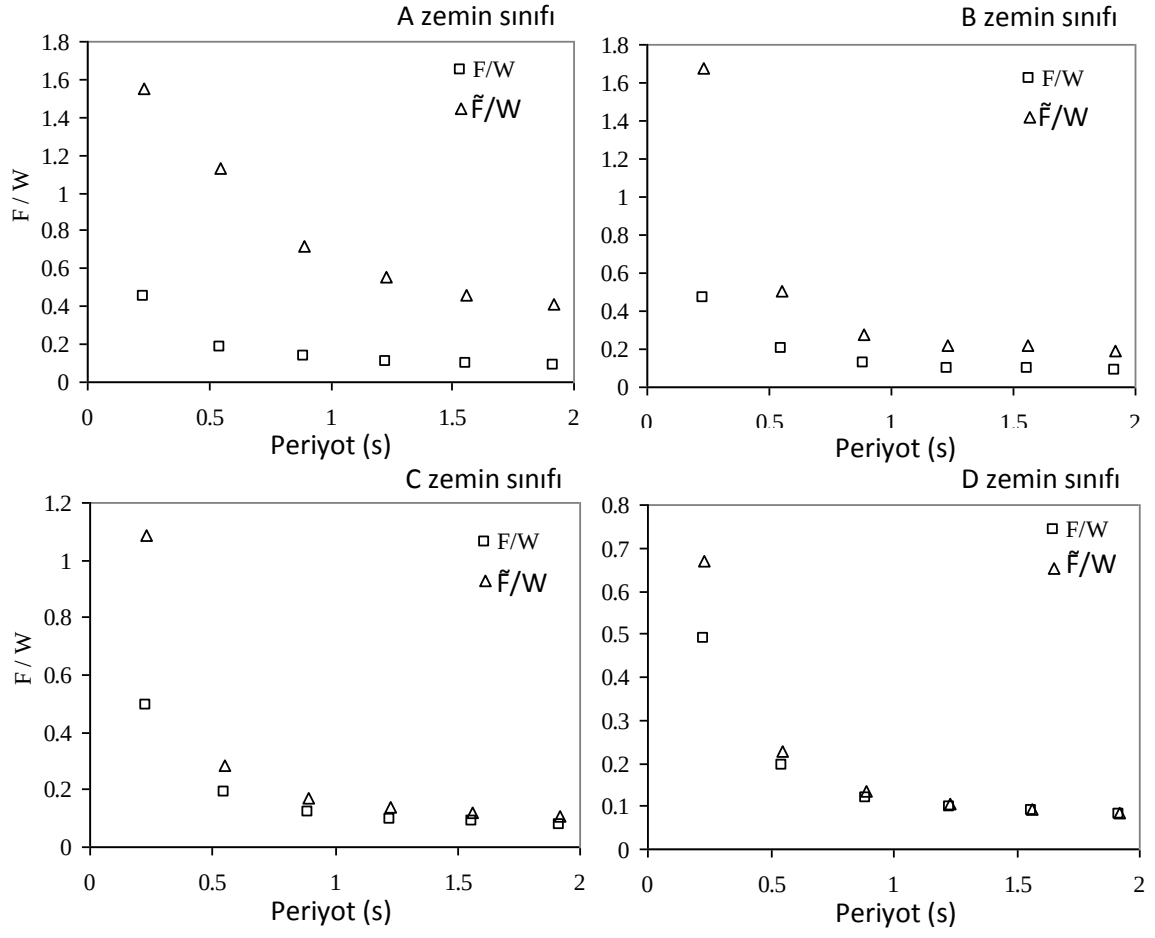
Şekil 5.13’de zemin sınıflarına göre etkileşimli ve etkileşimsiz durumlar için bulunan deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının periyoda göre değişimleri topluca gösterilmiştir. Etkileşimli durumda bulunan deprem yükü azaltma katsayılarının etkileşimli durumda bulunan deprem yükü azaltma katsayılarına oranları genellikle 1.0’dan küçük olup, bu oran özellikle küçük periyot değerleri için 0.6 mertebesine kadar inebilmektedir. Şekil 5.14’de ise zemin sınıflarına göre etkileşimli ve etkileşimsiz durumlar için, akma anındaki taban kesme kuvveti / yapı ağırlığı oranının periyoda göre değişimi verilmiştir. Etkileşimli durum için bulunan akma anındaki taban kesme kuvveti / yapı ağırlığı oranının, A zemin sınıfından D zemin sınıfına doğru giderek azaldığı ve

genellikle etkileşimsiz durum için bulunan akma anındaki taban kesme kuvveti / yapı ağırlığı oranından büyük olduğu görülmektedir.

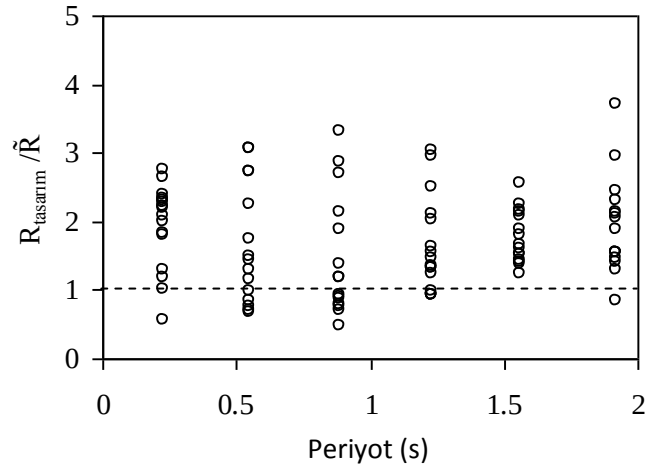


Şekil 5. 13 Zemin sınıflarına göre etkileşimli ve etkileşimsiz durumlar için bulunan deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının periyoda göre değişimi

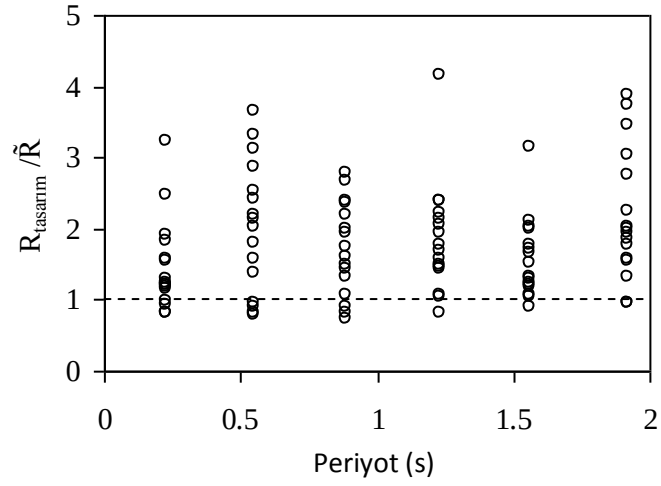
Şekil 5.15–5.18’de zemin sınıflarına göre, tasarımda kullanılan deprem yükü azaltma katsayılarının etkileşimli durumlar için bulunan deprem yükü azaltma katsayılarına oranlarının periyoda göre değişimi verilmiştir. Şekil 5.19’de ise, bu oranların ortalaması tüm zemin sınıfları için topluca sunulmuştur. Şekillerden görüleceği üzere etkileşimli durumda deprem yükü azaltma katsayıları azalmaktadır. Tasarımda, etkileşimsiz durum için kabul edilen (yönetmeliklerde mevcut bulunan) deprem yükü azaltma katsayılarının kullanılması, daha küçük bir taban kesme kuvvetine göre tasarıma yol açacağından güvenli olmayan tarafta kalır.



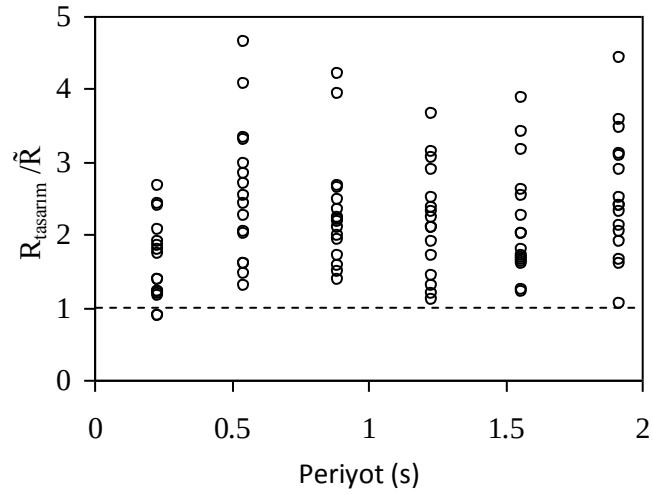
Şekil 5. 14 Zemin sınıflarına göre etkileşimli ve etkileşimsiz durumlar için akma anındaki taban kesme kuvveti / yapı ağırlığının periyoda göre değişimi



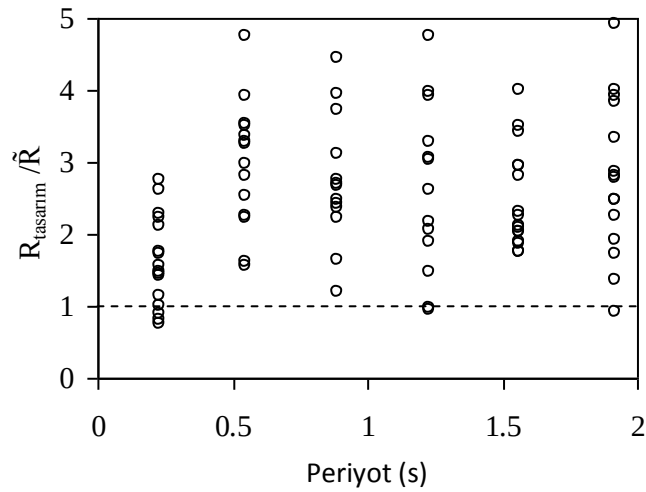
Şekil 5. 15 A zemin sınıfı için, tasarımda kullanılan ve etkileşimli durum için bulunan deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının periyoda göre değişimi



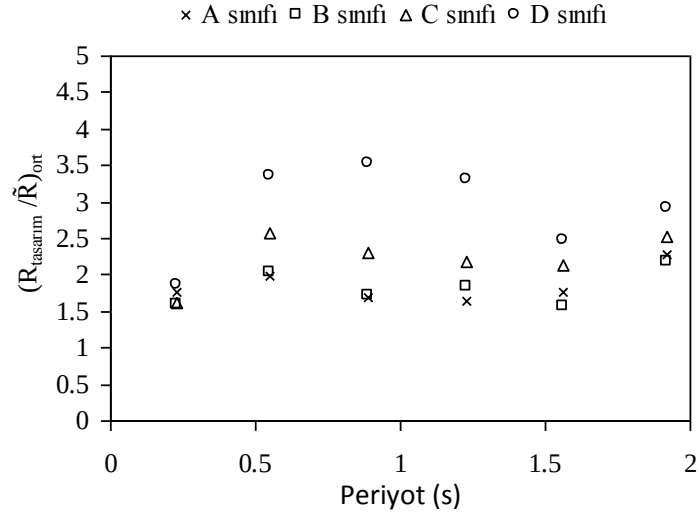
Şekil 5. 15 B zemin sınıfı için, tasarımda kullanılan ve etkileşimli durum için bulunan deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının periyoda göre değişimi



Şekil 5. 17 C zemin sınıfı için, tasarımda kullanılan ve etkileşimli durum için bulunan deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının periyoda göre değişimi

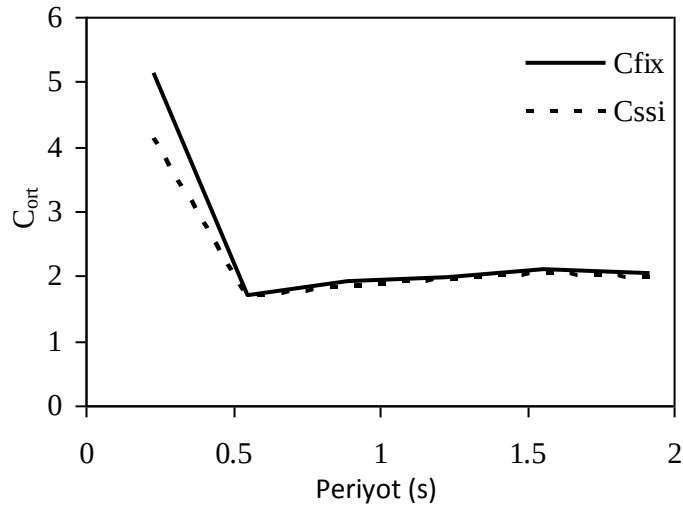


Şekil 5. 18 D zemin sınıfı için, tasarımda kullanılan ve etkileşimli durum için bulunan deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının periyoda göre değişimi

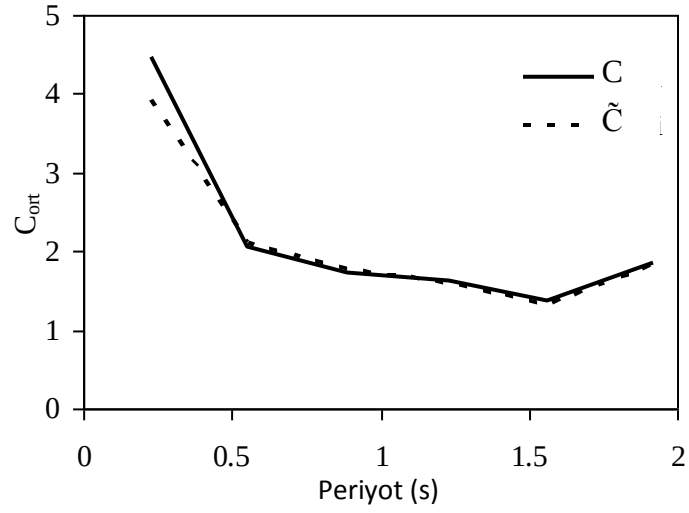


Şekil 5. 19 Tüm zemin sınıfları için tasarımda kullanılan ve etkileşimli durum için bulunan deprem yükü azaltma katsayısı oranlarının periyoda göre değişimi

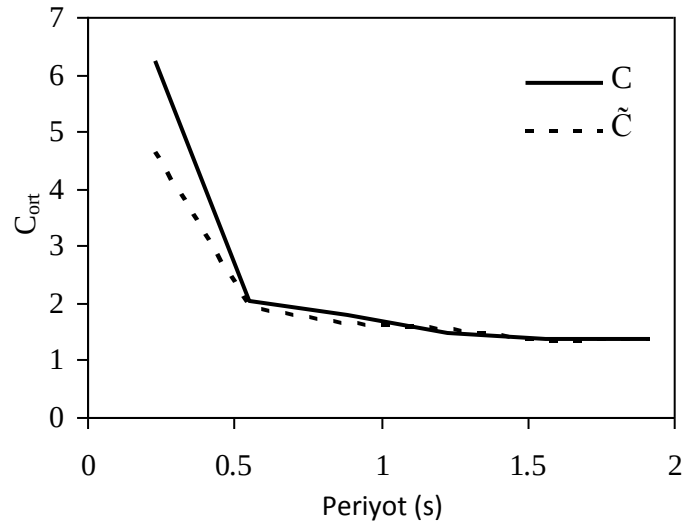
Şekil 5.20-5.23’de etkileşimli ve etkileşimsiz durumlar için elastik olmayan yerdeğiştirme oranları gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere özellikle $T=0.5$ s den büyük periyot değerlerinde elastik olmayan yerdeğiştirme oranları etkileşimli ve etkileşimsiz durumlar için birbirine çok yakın olup yaklaşık olarak 1.0 civarındadır. Bu durum, büyük periyot değerleri için bilinen “eşit yerdeğiştirme kuralı” ile uyumludur. Ancak $T=0.5$ s den daha küçük periyot değerlerinde, etkileşimli ve etkileşimsiz durumlar için bulunan elastik olmayan yerdeğiştirme oranları birbirinden farklı olup, bu oran 4-7 arasında değişmektedir.



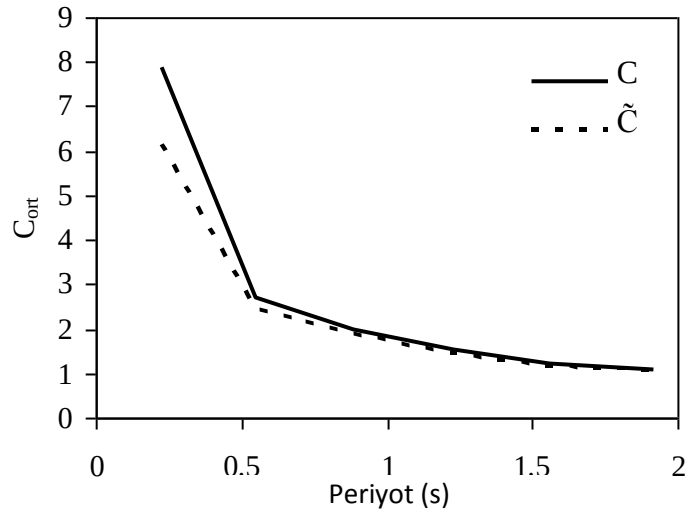
Şekil 5. 20 A zemin sınıfı için elastik olmayan yerdeğiştirme oranları



Şekil 5. 21 B zemin sınıfı için elastik olmayan yerdeğiştirme oranları

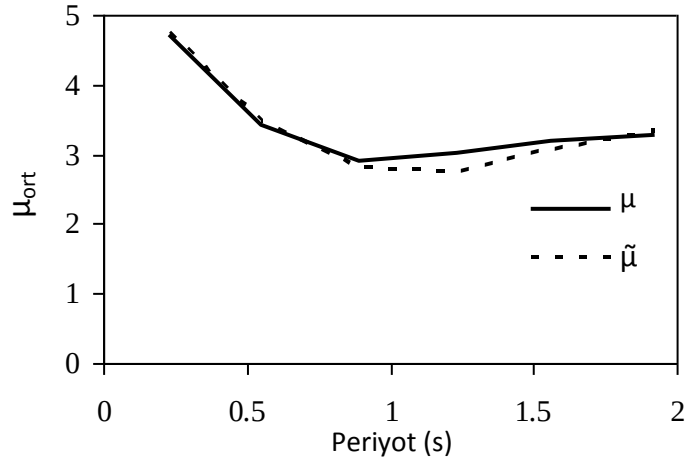


Şekil 5. 22 C zemin sınıfı için elastik olmayan yerdeğiştirme oranları

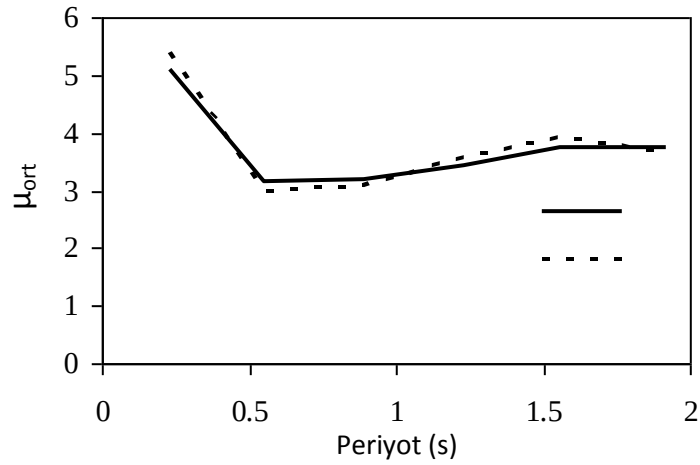


Şekil 5. 23 D zemin sınıfı için elastik olmayan yerdeğiştirme oranları

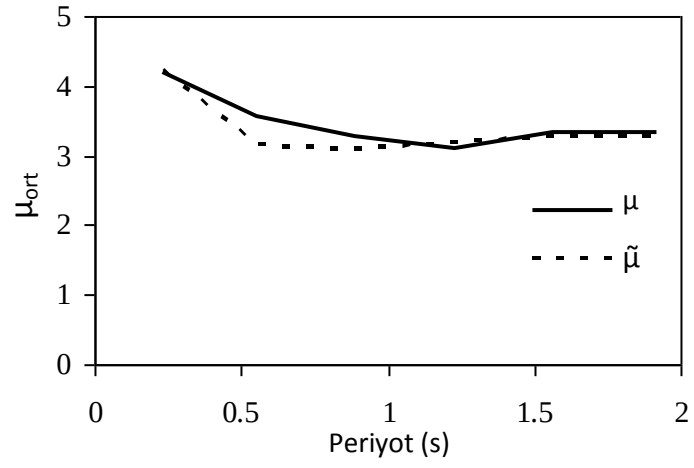
Çözümlemeler sonucunda, zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için süneklik kapasiteleri (μ) de incelenmiş olup, her iki duruma ait süneklik değerleri Şekil 5.24 ile Şekil 5.27 arasında gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere iki durum arasında çok büyük farklardan söz etmek mümkün değildir.



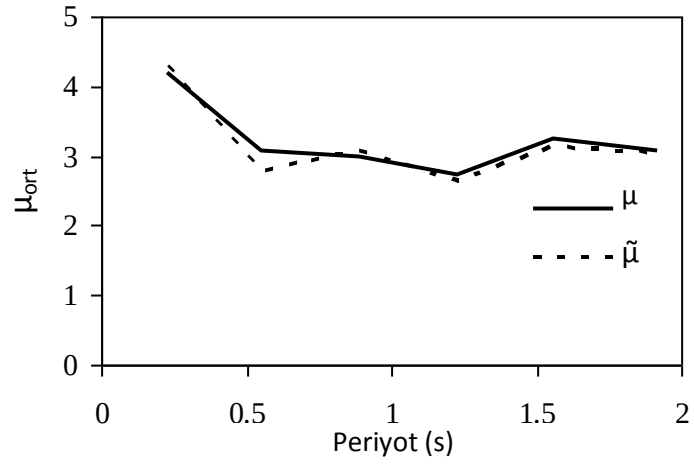
Şekil 5. 24 A zemin sınıfı için süneklik kapasiteleri



Şekil 5. 25 B zemin sınıfı için süneklik kapasiteleri



Şekil 5. 26 C zemin sınıfı için süneklik kapasiteleri



Şekil 5. 27 D zemin sınıfı için süneklik kapasiteleri

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında; öncelikle zemin yapı dinamik etkileşiminin ilk adımı olan saha davranış çözümlemesi ayrıntılı bir şekilde açıklanmış ve örnek bir inceleme bölgesi için çözümlemeler yapılmıştır. Daha sonra, periyotları (T) 0.1 – 3.0 s ile süneklik istemleri (μ) 2 – 6 arasında değişen bir serbestlik dereceli sistemler (BSD), zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için, doğrusal olmayan zaman tanım alanında çözümlemeye tabi tutulmuştur. Çözümlemeler sonucunda, bir serbestlik dereceli sistemler için bulunan sonuçlar, istatistiksel değerlendirmeye tabi tutularak, zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı durumdaki deprem yükü azaltma katsayısı ve elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının tahmini için yeni bağıntılar türetilmiştir. Bir sonraki bölümde ise, çok serbestlik dereceli sistemleri temsil eden örnek düzlem çerçeveler boyutlandırılmış ve etkileşimin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için artımsal dinamik çözümleme yöntemi ile çözümlemeler yapılmıştır. Çözümlemeler sonucunda, çok serbestlik dereceli sistemlere ait yapısal davranış parametreleri (deprem yükü azaltma katsayısı, elastik olmayan yerdeğiştirme oranları gibi) hesaplanarak, zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlardaki sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında yapılan çözümlemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

İkinci bölümde yapılan saha davranış çözümlemeleri sonucunda göz önüne alınan zemin profilleri için elde edilen en büyük zemin büyütme değeri 5.4, etkili zemin büyütme değerlerine karşı gelen periyotlar $T_1 = 0.48$ ve $T_2 = 0.16$ s dir. Bu durum, -her ne kadar 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde 2~6 katlı konutlarda görülen ağır hasar veya tümünden göçmelerin tamamen zemin koşullarının etkisiyle meydana geldiğini

söylemek mümkün olmasa da- zemin büyütmesinin önemini göstermesi açısından önemlidir. Söz konusu bölgede, doğal titreşim periyodu T_1 ve T_2 'ye yakın binalar için tehlike söz konusudur.

İvme kaydında yapılan ölçeklendirmenin büyütme spektrumları üzerine etkisi incelendiğinde, en büyük yer ivmesi 0.04g olan kayıt kullanılarak bulunan zemin büyütme değerlerinin, 0.2g lik kayıt kullanılarak bulunan zemin büyütme değerlerinden oldukça büyük olduğu görülebilir. Bu durum anakaya hareketinin daha küçük değerleri için daha etkin zemin büyütmesini açıklamaktadır (Şekil 2.7).

%5 sönüm oranı için zemin yüzeyindeki ortalama davranış spektrumları incelendiğinde DBYBHY, 2007'de verilen elastik davranış spektrumu için verilen artış değeri olan 2.5'dan [20] daha büyük artış değerleri söz konusudur. Bu artış değerleri, Çizelge 2.5'de verilmiş olup, en büyük bağıl artış oranı, en büyük yer ivmesi 0.04g olan kayıta %72, en büyük yer ivmesi 0.2g olan kayıta ise %64 olarak bulunmuştur (Şekil 2.8-2.9).

Anakaya hareketinin enerji değişimini gözlemek amacıyla çizilen genlik spektrumları incelendiğinde, göz önüne alınan deprem kayıtları için zemin yüzeyindeki Fourier genliğinin en alt tabakadaki genliğe oranının 3~5 kat arasında değiştiği görülmüştür. Bu durum, yüzeyde oluşacak hareketin alt tabakalarda oluşacak hareketten daha kuvvetli olacağının bir göstergesidir (Şekil 2.10-2.11).

Dördüncü bölümde, bir serbestlik dereceli sistemlerin etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki davranışları karşılaştırılmış ve çarpıcı sonuçlar bulunmuştur. Etkileşimli sisteme ait ortalama deprem yükü azaltma katsayıları, büyük periyot aralıklarında süreklilik istemine eşit olarak kabul edilebilirken, kısa periyot aralıklarında deprem yükü azaltma katsayıları periyoda ve sürekliliğe göre değişkendir. Zemin yapı etkileşimi, A zemin sınıfındaki tüm periyot aralıkları ile B zemin sınıfında 0.5 s. den daha büyük periyot aralığı için ihmal edilebilir. Ancak B zemin sınıfında 0.5 s. den daha küçük periyot aralığı ile C ve D zemin sınıflarındaki tüm periyot aralıkları için zemin yapı etkileşimi göz önüne alınmalıdır. Özellikle C ve D zemin sınıfları için etkileşimin etkileri daha belirgindir. Bu nedenle büyük kayma dalgası hızları için zemin yapı etkileşimini dikkate almamak çok da hatalı bir yaklaşım olmaz. Buna karşılık, yaklaşık 250 m/s'den daha küçük kayma dalgası hızları için zemin-yapı etkileşiminin sonuçlar üzerinde belirgin bir etkisi vardır. Zemin yapı etkileşiminin göz önüne alındığı ve alınmadığı durumlardaki deprem yükü azaltma katsayılarına ait varyasyon katsayılarının (COV)

periyoda göre değişimleri incelendiğinde, süneklik istemlerindeki artışın, deprem yükü azaltma katsayılarındaki saçılımı arttırdığı söylenebilir. Sözü edilen değişim, kısa periyot bölümünde belirginken, bu bölgenin dışındaki periyot değerleri için sınırlı miktarda değişim göstermektedir. A, B ve C zemin sınıflarındaki deprem yükü azaltma katsayıları süneklik istemindeki ve narinlik oranındaki değişimden fazla etkilenmezken; D zemin sınıfındaki deprem yükü azaltma katsayıları öncelikle süneklik isteminden, ikincil olarak da narinlik oranından etkilenmektedir. D zemin sınıfı için bulunan deprem yükü azaltma katsayıları, yaklaşık 1.2 s.den daha küçük periyot aralığında ve artan süneklik istemi ile narinlik oranları için, A, B ve C zemin sınıfları için bulunan deprem yükü azaltma katsayılarından daha küçüktür. Bu periyot değerinden sonra ise, D zemin sınıfı için bulunan deprem yükü azaltma katsayıları, A, B ve C zemin sınıfları için bulunan deprem yükü azaltma katsayılarından daha büyük olmaktadır.

Etkileşimli sisteme ait deprem yükü azaltma katsayılarının tahmini için yeni bir bağıntı (4.30) türetilmiştir. Bu bağıntı, yapısal periyodun, süneklik isteminin ve periyot uzama oranının bir fonksiyonu olup, elastoplastik davranışa sahip TSD sistemler için güvenilir sonuçlar vermektedir.

$$\tilde{R} = 1 + e(\mu - 1)(\mu^f + T^g)^{\frac{1}{T}} \quad (4.30)$$

Zemin yapı etkileşiminin, elastik olmayan yerdeğiştirme oranları üzerine etkisi A ve B zemin sınıfları için ihmal edilebilir düzeydeyken, C ve D zemin sınıfları için bu etkiler göz önüne alınmalıdır. Etkileşimli ve etkileşimsiz sisteme ait elastik olmayan yerdeğiştirme oranları, artan süneklik istemi için birbirinden oldukça farklıdır. Tüm zemin sınıfları ve süneklik istemleri için büyük periyot aralıklarında narinlik oranı elastik olmayan yerdeğiştirme oranları üzerinde etkin bir parametre olup, özellikle C ve D zemin sınıfları ve süneklik isteminin yüksek değerleri için bu etki oldukça belirgindir. Sabit bir periyot değerine kadar –yaklaşık 0.5 s olduğu söylenebilir– artan narinlik oranları için elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarında bir azalım eğilimi görölmesine karşın, bu periyot değerinden sonra narinlik oranının elastik olmayan yerdeğiştirme oranları üzerine etkisi ihmal edilebilir. Etkileşimli durumdaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranları, etkileşimsiz durumdaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarından daha küçüktür. A zemin sınıfında etkileşimli ve etkileşimsiz durumdaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranları arasındaki en büyük oran 2.0 iken, D zemin sınıfında bu oran 4.0 olmaktadır.

Zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlardaki elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarına ait varyasyon katsayılarının (COV) periyoda göre değişimleri incelendiğinde, elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarına ait varyasyon katsayılarının süneklik istemi ile ilişkili olduğu ve süneklik isteminin artan değerleri için saçılımın da arttığı söylenebilir. Etkileşimli sisteme ait elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarının tahmini için yeni bir bağıntı (4.29) türetilmiştir. Bu bağıntı, etkileşimli sistemin yapısal periyodunun, süneklik isteminin ve periyot uzama oranının bir fonksiyonu olup, elastoplastik davranışa sahip BSD sistemler için güvenilir sonuçlar sunmaktadır.

$$\tilde{C} = 1 + a(\mu - 1)(\tilde{T}^b + \mu^c + d) \quad (4.29)$$

Önerilen (4.29) bağıntısı etkileşimli sistemin elastik olmayan yerdeğiştirme oranları için türetilmiş olsa da, etkileşimsiz sisteme ait elastik olmayan yerdeğiştirme oranlarını da bu bağıntı ile belirleyebilmek mümkündür. (4.29) bağıntısındaki etkileşimli sistemin periyodu ($\tilde{T}$) yerine, etkileşimsiz sistemin periyodunu (T) yazmak suretiyle ve periyot uzama oranını bire eşitleyerek, etkileşimsiz sisteme ait elastik olmayan yerdeğiştirme oranları da bulunabilmektedir.

Beşinci bölümde ÇSD sistemler için etkileşimli ve etkileşimsiz durumlar göz önüne alınarak artımsal dinamik çözümlemeler yapılmıştır. Zemin yapı etkileşiminin deprem yükü azaltma katsayıları üzerinde azaltıcı bir etkisinden söz etmek mümkündür. Bu etki, özellikle C ve D zemin sınıflarına ait deprem kayıtları ve zemin özellikleri kullanılarak yapılan çözümlemelerde oldukça belirgindir. A ve B zemin sınıflarına ait deprem kayıtları ve zemin özellikleri kullanılarak yapılan çözümlemelerde de benzer bir eğilim olmakla birlikte bu eğilim sınırlı miktarda kalmaktadır. Özellikle C ve D zemin sınıflarında zemin ile yapı arasındaki etkileşim dikkate alınarak bulunan deprem yükü azaltma katsayılarının büyük bir kısmının yönetmelikte tanımlanan deprem yükü azaltma katsayısından küçük olduğu görülmektedir. Bu nedenle tasarımda, etkileşimsiz durum için kabul edilen (yönetmeliklerde mevcut bulunan) deprem yükü azaltma katsayılarının kullanılması, daha küçük bir taban kesme kuvvetine göre tasarıma yol açacağından güvenli olmayan tarafta kalır. Etkileşimli durumda bulunan deprem yükü azaltma katsayılarının etkileşimli durumda bulunan deprem yükü azaltma katsayılarına oranları genellikle 1.0'dan küçük olup, bu oran özellikle küçük periyot değerleri için 0.6 mertebesine kadar inebilmektedir. Etkileşimli ve etkileşimsiz durumlar için bulunan

elastik olmayan yerdeşistirme oranları özellikle $T=0.5$ s den büyük periyot değerlerinde birbirine çok yakın olup, bu katsayı yaklaşık olarak 1.0 civarındadır. Bu durum, büyük periyot değerleri için bilinen “eşit yerdeğistirme kuralı” ile uyumludur. Ancak $T=0.5$ s den küçük periyot değerlerinde, etkileşimli ve etkileşimsiz durumlar için bulunan elastik olmayan yerdeğistirme oranları birbirinden farklı olup, bu oran 4-7 arasında değişmektedir.

BSD ve  SD sistemlerin   z mlmeleri işığında elde edilen bu sonuçların, bu çalışmada ele alınan yapılar dışındaki tüm yapılar için de geçerli olduğunu iddia etmek şüphesiz olanaklı değildir. Bununla beraber, sonuçların, çalışmada göz önüne alınan yapı tipi ve malzeme modeli için geçerli olmak koşuluyla, zemin yapı dinamik etkileşiminin tasarım aşamasında dikkate alınması gerektiğini gösterdiği düşünülmektedir.

Gelecekte, farklı malzeme modellerine, farklı geometriye ve farklı taşıyıcı sistem düzenlerine sahip yapısal sistemlerin de, zemin yapı etkileşimi dikkate alınarak çözümlenmesi ve sonuçların yorumlanması gereklı ve yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

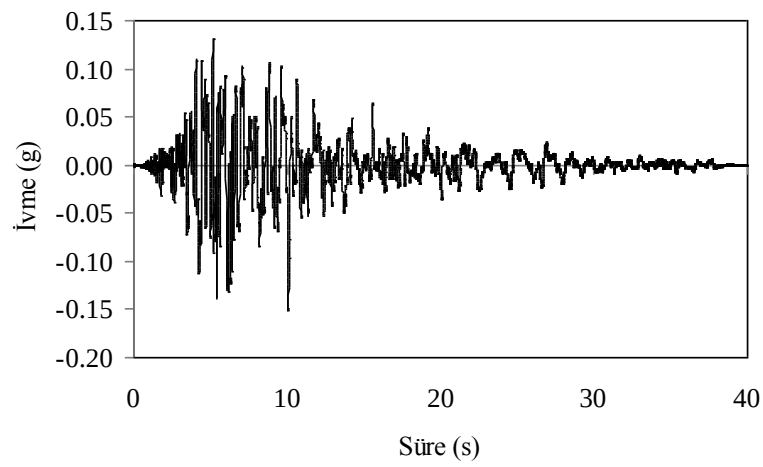
-
- [1] Aydınoğlu, M.N., (1977), Üstyapı – Zemin Ortak Sisteminin Deprem Hesabı, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
 - [2] Aydınoğlu, M.N., (1981), Yapı – Zemin Dinamik Etkileşiminin Genel Formülasyonu ve Zemine Gömülü Yapılar için Bir Altsistem Yöntemi, Doçentlik tezi, İstanbul.
 - [3] Celep, Z., ve Kumbasar, N.,(2000) Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, ikinci baskı, Beta Dağıtım, İstanbul.
 - [4] Fleming, J.F., Screwvala, F.N., Kondner, R.L., (1965) “Foundation Superstructure Interaction Under Earthquake Motion”, Third World Conference on Earthquake Engineering, Vol.1, 122-130, New Zealand.
 - [5] Wilson, E.L., (1969), “A Method of Analysis for the Evaluation of Foundation-Structure Interaction”, Proceedings of the Fourth World Conference on Earthquake Engineering, 87-89, Santiago-Chile.
 - [6] Lysmer, J., Kuhlemeyer, R.L., (1969), “Finite Dynamic Model for Infinite Media”, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 95(4): 859-877.
 - [7] Waas, G., (1972), “Earth Vibration Effects and Abatement for Military Facilities-Analysis Method for Footing Vibrations Thorough Layered Media”, Technical Report, S-71-14, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Missisipi.
 - [8] Kausel, E., (1974), “Forced Vibrations of Circular Foundations on Layered Media”, MIT Research Report, R74-11, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.
 - [9] Borja, R.I., Chao, H.Y., Montans, F.J., Lin, C.H., (1998), “Nonlinear SSI Analysis”, Preproceedings UJNR Workshopon Soil Structure Interaction, California.
 - [10] Parmelee, R.A., (1967), “Building-Foundation Interaction Effects”, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 93(2): 131-152.
 - [11] Veletsos, A.S., Wei, T.Y., (1971), “Lateral and Rocking Vibration of Footings”, Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 97(9):1227-1248.
 - [12] Luco, J.E., Westmann, R.A., (1971), “Dynamic Response of Circular Footings”, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 97(5): 1381-1395.
 - [13] Luco, J.E., (1974), “Impedance Functions for a Rigid Foundation on a Layered Medium”, Nuclear Engineering and Design, 31: 204-217.
 - [14] Vaish, A.K., Chopra, A.K., (1973), “Earthquake Analysis of Structure-Foundation Systems”, Report No. EERC 73-9, University of California, Berkeley.

- [15] Kausel, E., Roesset, J.M., (1974), "Soil Structure Interaction Problems for Nuclear Containment Structures", ASCE, Power Division Specialty Conference, Denver, Colorado.
- [16] Kausel, E., Roesset, J.M., Christian, J.T., (1976), "Nonlinear Behavior in Soil Structure Interaction", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102(11).
- [17] Meek, J.W., Veletsos, A.S., (1974), "Simple Models for Foundations in Lateral and Rocking Motion", ", Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, 2610-2631, Rome.
- [18] Veletsos, A.S., Nair, V.D., (1974), "Response of Torsionally Excited Foundations", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 100(3):476-482.
- [19] Meek, J.W., Wolf, J.P., (1992), "Cone Models for Homogeneous Soil", Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, 118(5): 667-685.
- [20] Avilés J., Pérez-Rocha, L.E., (2003), "Soil-Structure Interaction in Yielding Systems", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32:1749-1771.
- [21] Avilés J., Pérez-Rocha, L.E., (2005), "Design Concepts for Yielding Structures on Flexible Foundation", Engineering Structures, 27(3):443-454.
- [22] Avilés J., Pérez-Rocha, L.E., (2005), "Influence of Foundation Flexibility on R_{μ} and C_{μ} Factors", Journal of Structural Engineering, ASCE, 131(2):221-230.
- [23] Ghannad M.A., Ahmadnia, A., (2002), "The Effect of Soil-Structure Interaction on the Ductility Demand of Structures", 12th European Conference on Earthquake Engineering, London.
- [24] Ghannad M.A., Ahmadnia, A., (2006), "The Effect of Soil-Structure Interaction on Inelastic Structural Demands", Journal of European Earthquake Engineering, 20(1): 23-35.
- [25] Ghannad M.A., Jahankhah, H., (2004), "Strength Reduction Factors Considering Soil-Structure Interaction", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada.
- [26] Ghannad M.A., Jahankhah, H., (2007), "Site-Dependent Strength Reduction Factors for Soil-Structure Systems", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27:99–110.
- [27] Jarernprasert, S., (2005), Inelastic Design Approach for Asymmetric Structure-Foundation Systems, Doktora tezi, Carnegie Mellon University.
- [28] Pestana, J.M., Nadim, F., (2000), "Nonlinear Site Response Analysis of Submerged Slopes", Geotechnical Engineering Report No: UCB/GT/2000-04, University of California, Berkeley.
- [29] Rassem, M., Ghobarah, A., Heidebrecht, A.C., (1997), "Engineering Perspective For The Seismic Site Response of Alluvial Valleys", Earthquake Engineering And Structural Dynamics, 26(4): 477-493.
- [30] Yalçinkaya, E., (2005), "BYTNET (Bursa-Yalova-Türkiye İvme Ölçer Ağı) İstasyonlarında Yerel Zemin Etkilerinin İncelenmesi", DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(2):75-85.
- [31] Kramer, S.L., (1996), Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, Inc.
- [32] Building Seismic Safety Council (2003) "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures", FEMA 450 - Provisions, Washington.

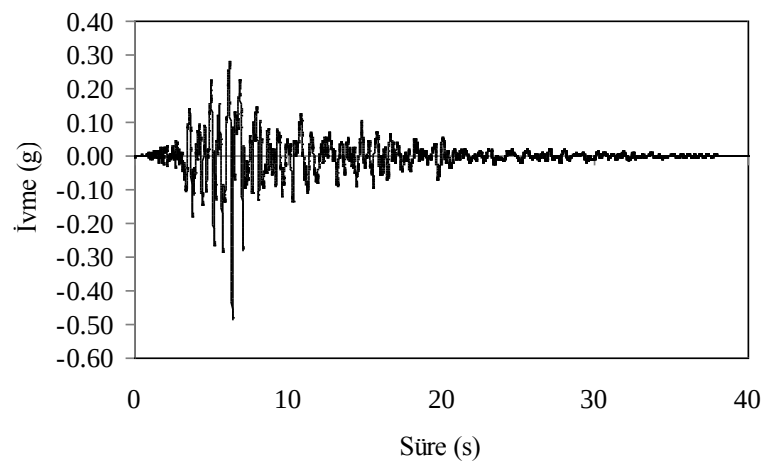
- [33] Hart, J.D., (1989), "Simplified Earthquake Analysis of Buildings Including Site Effects", doktora tezi, University of California, Berkeley.
- [34] Türkiye Deprem Vakfı, (Haziran 2000), "17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin Hasar Durumu", TDV/DR 010-53.
- [35] İnce G.Ç., Yıldırım M., Özaydın K., Özener P.T., (2007), "Seismic Microzonation of the Historic Peninsula of Istanbul", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, DOI: 10.1007/s10064-007-0099-9.
- [36] Özaydın K, Yıldırım S, Yıldırım M. "Geological and Geotechnical Survey Report and Evaluation of Compatibility for Localization in Küçükçekmece, Istanbul" (in Turkish), Yıldız Technical University Geotechnical Division, Istanbul, 2002-01.
- [37] Dobry R, Vucetic M., (1987), "Dynamic Properties and Seismic Response of Soft Clay Deposits", Proceedings, International Symposium on Geotechnical Engineering of Soft Soils, 2:51-87, Mexico City.
- [38] Vucetic, M., Dobry, R., (1991), "Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 117(1): 89-107.
- [39] Kokoshu, T., (1980), "Cyclic Triaxial Test of Dynamic Soil Properties For Wide Strain Range", Soils and Foundations, 20(2): 45-60.
- [40] Seed, H.B., Idriss, I.M., (1970), "Soil Moduli and Damping Factors For Dynamic Response Analyses", Earthquake Engineering Research Center, Report No: EERC 70-10, University of California, Berkeley.
- [41] Schnabel, P.B., Lysmer, J., Seed, H.B., (1972), SHAKE: A Computer Program For Engineering Response Analysis of Horizontally Layered Soils, Earthquake Engineering Research Center, Report No: EERC 72-12, University of California, Berkeley.
- [42] Hashash, Y., (2005), DEEPSOIL: A 1D Site Response Analysis Program with Graphical User-Interface That Can Perform Both: 1D Nonlinear Analysis-1D Equivalent Linear Analysis, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [43] Tezcan, S., Kaya, E., Bal, İ.E., Özdemir, Z., (2002), "Seismic Amplification at Avclar, Istanbul", Engineering Structures, 24:661-667.
- [44] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Mart 2007, Ankara.
- [45] Applied Technology Council (1996) Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC-40.
- [46] Boore, D.M., (1993), "Some Notes Concerning the Determination of Shear-Wave Velocity and Attenuation", Proceedings of Geophysical Techniques for Site and Material Characterization, 129-134.
- [47] Applied Technology Council (2008), Quantification of Building Seismic Performance Factors, ATC-63 Project Report.
- [48] Pacific Earthquake Research Center (PEER) Strong Motion Database.
- [49] American Society of Civil Engineers (2002), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE 7-02.
- [50] International Code Council (2003), International Building Code.
- [51] Elnashai, A.S., Mwafy, A.M., (2002), "Overstrength and Force Reduction Factors of Multistorey Reinforced Concrete Buildings", The Structural Design of Tall Buildings, 11(5): 329-351.

- [52] Newmark, N.M., Hall, W.J., (1973), "Seismic Design Criteria for Nuclear Reactor Facilities", Report No. 46, Building Practices for Disaster Mitigation, National Bureau of Standards, U.S. Department of Commerce, 209-236.
- [53] Riddell, R., Newmark, N.M., (1979), "Statistical Analysis of the Response of Nonlinear Systems Subjected to Earthquakes" Structural Research Series No. 468, Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana.
- [54] Riddell, R., Newmark, N.M., (1979), "Statistical Analysis of the Response of Elghadamsi, F.E., Mohraz, B., (1987), "Inelastic Earthquake Spectra", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 15:91-104.
- [55] Nassar, A.A., Krawinkler, H., (1991), "Seismic Demands for SDOF and MDOF Systems", Report No.95, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, Stanford, California.
- [56] Miranda, E., (1993), "Site Dependent Strength Reduction Factors" Journal of Structural Engineering, ASCE, 119:12.
- [57] Ordaz, M., Perez-Rocha, L.E., (1998), "Estimation of Strength-Reduction Factors for Elastoplastic Systems: A New Approach", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27: 889-901.
- [58] Building Seismic Safety Council (2000) "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", FEMA 356 - Provisions, Washington.
- [59] Veletsos, A.S., Newmark, N.M., (1960), "Effect of Inelastic Behavior on the Response of Simple Systems to Earthquake Motions" Proceedings of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, 2: 895–912, Japan.
- [60] Veletsos, A.S., Newmark, N.M., Chelapati, C.V., (1965), "Deformation Spectra for Elastic and Elastoplastic Systems Subjected to Ground Shock and Earthquake Motions", Proceedings of the Third World Conference on Earthquake Engineering, 7:663–682, New Zealand.
- [61] Miranda, E., (1993), "Evaluation of Site-Dependent Inelastic Seismic Design Spectra", Journal of Structural Engineering, ASCE, 119(5):1319 –1338.
- [62] Miranda, E., (2001), "Estimation of Inelastic Deformation Demands of SDOF Systems", Journal of Structural Engineering, ASCE, 127(9):1005 –1012.
- [63] Miranda, E., (2000), "Inelastic Displacement Ratios For Structures On Firm Sites", Journal of Structural Engineering, ASCE, 126:10.
- [64] Ruiz-Garcia, J., Miranda, E., (2004), "Inelastic Displacement Ratios for Design of Structures on Soft Soils Sites" Journal of Structural Engineering, ASCE, 130:12.
- [65] Ruiz-Garcia, J., Miranda, E., (2006), "Inelastic Displacement Ratios for Evaluation of Structures Built on Soft Soils Sites" ,Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35: 679-694.
- [66] Aydınoğlu, M.N., Kaçmaz, Ü., (2002) "Strength-Based Displacement Amplification Spectra for Inelastic Seismic Performance Evaluation", Department of Earthquake Engineering Report No.2002/2, KOERI, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [67] Ruiz-Garcia, J., Miranda, E., (2003), "Inelastic Displacement Ratios for Evaluation of Existing Structures", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32:1237–1258.

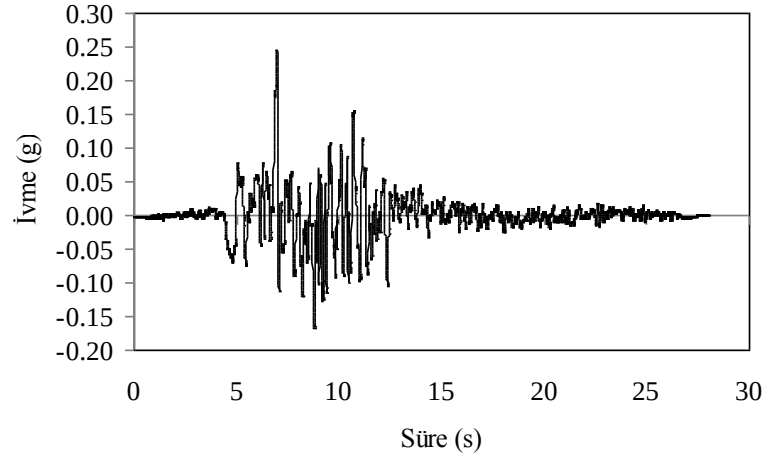
- [68] Chopra, A.K., Chintanapakdee, C., (2004), "Inelastic Deformation Ratios for Design and Evaluation of Structures: Single-Degree-of-Freedom Bilinear Systems", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 130:9; 1309-1319.
- [69] Newmark, N.M., (1959), "A Method of Computation for Structural Dynamics", *Journal of the Engineering Mechanics Division*, ASCE, 85, sf.67-94.
- [70] StatSoft Inc. STATISTICA V.6.0 for Windows. Tulsa, OK, USA;1995.
- [71] Wolf, J.P., (1997), "Spring-Dashpot-Mass Models for Foundation Vibrations" *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26:931-949.
- [72] Bertero, V.V., (1977), "Strength and Deformation Capacities of Buildings Under Extreme Environments", *Structural Engineering and Structural Mechanics*, 211-215, Pister KS (ed) ; Prentice Hall: New Jersey.
- [73] Vamvatsikos, D., Cornell, A.C., (2002), "Incremental Dynamic Analysis", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31:491-514.
- [74] Penelis G.G., Kappos, A.J., (1997), "Earthquake Resistant Concrete Structures", E&FN Spon, London.
- [75] SeismoSoft (2007) SeismoStruct - A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures [online]. Available from URL: <http://www.seismosoft.com>.

A ZEMİN SINIFINA AİT YER HAREKETLERİ

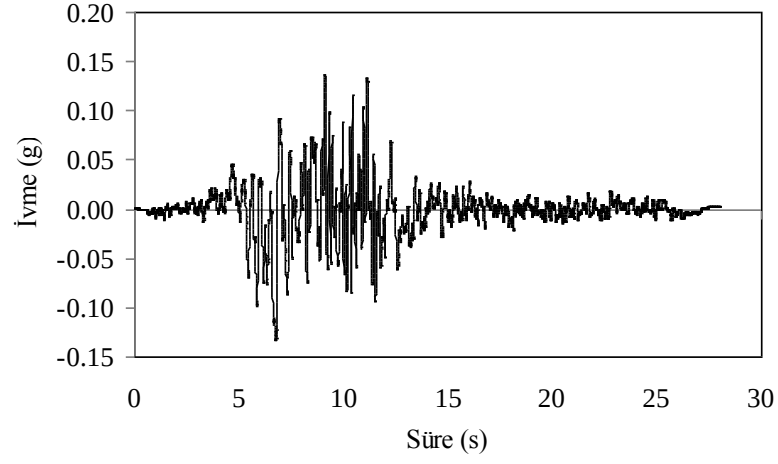
Şekil EK A. 1 Yer hareketi 1 (A-CYC195)



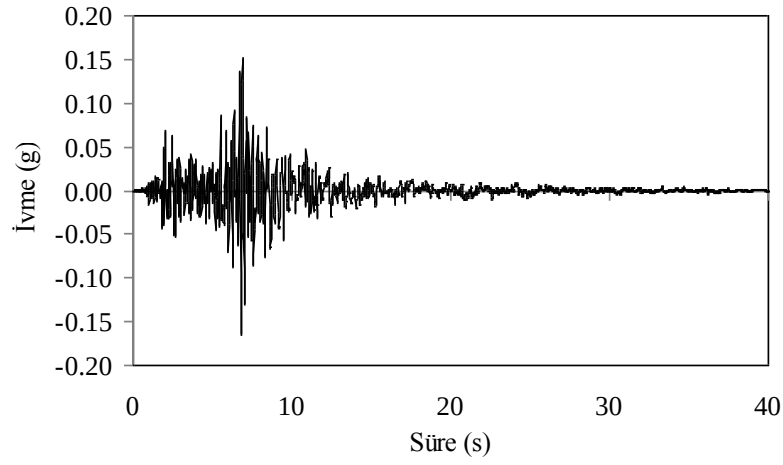
Şekil EK-A. 2 Yer hareketi 2 (A-CYC285)



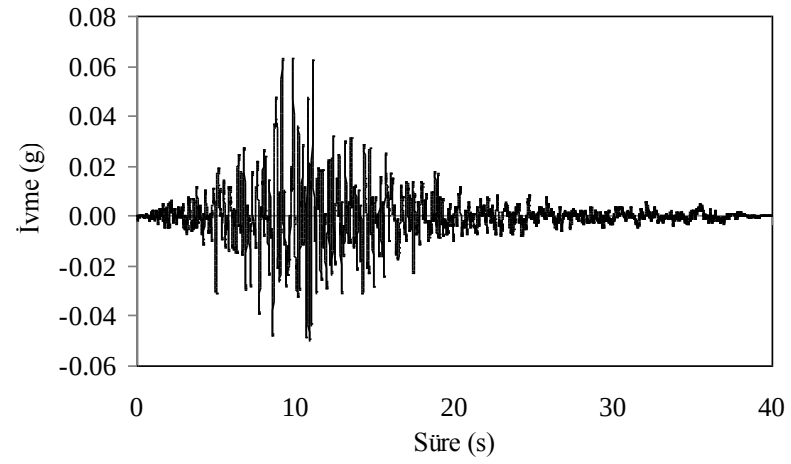
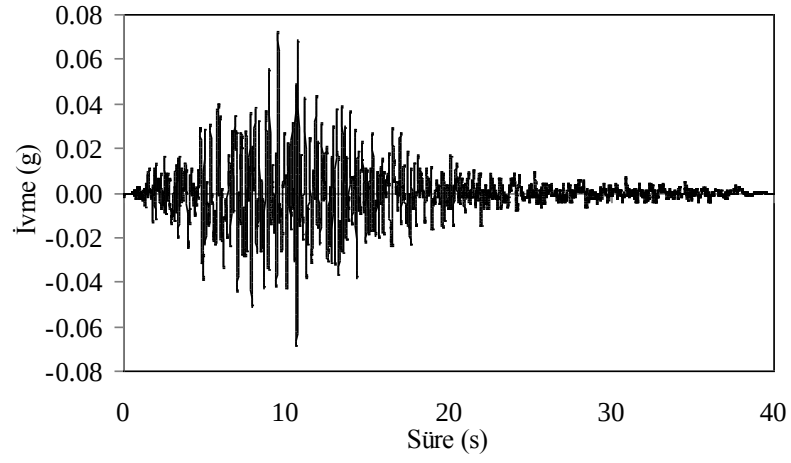
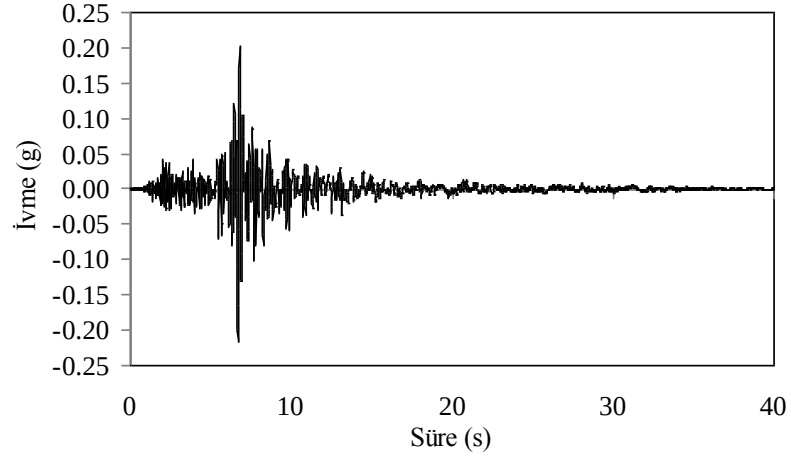
Şekil EK-A. 3 Yer hareketi 3 (A-GBZ000)

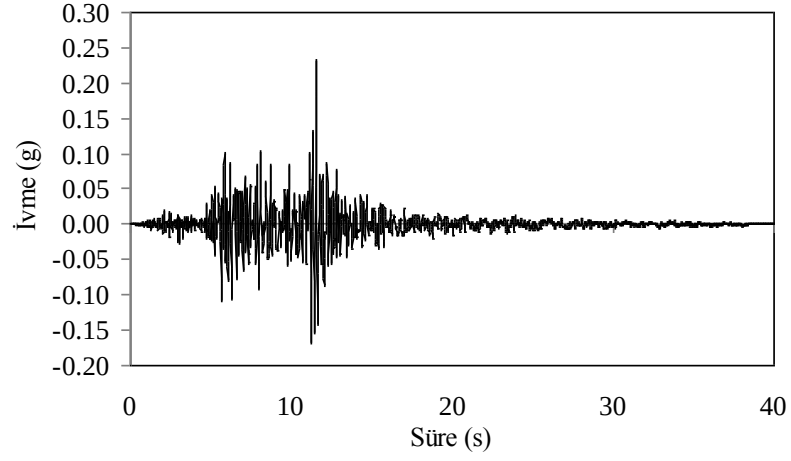


Şekil EK-A. 4 Yer hareketi 4 (A-GBZ270)

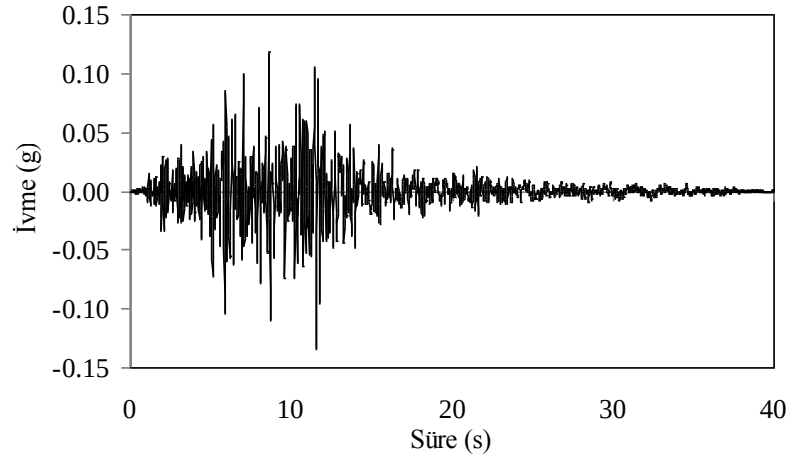


Şekil EK-A. 5 Yer hareketi 5 (A-L09000)

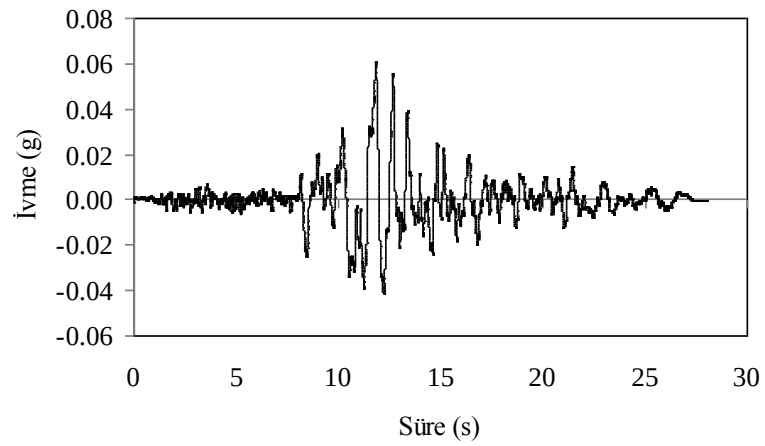




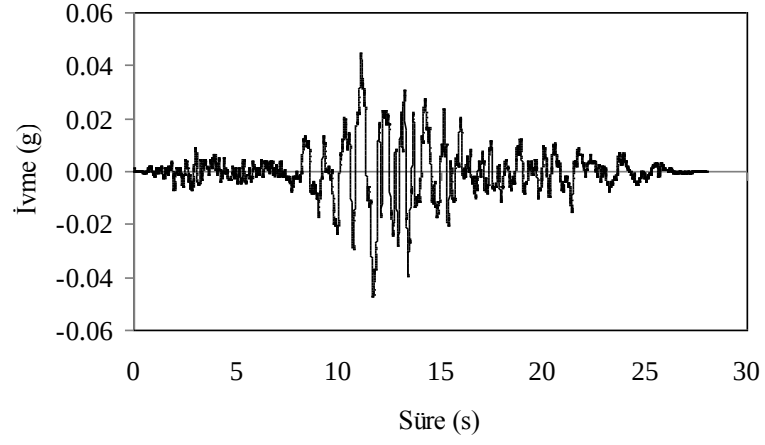
Şekil EK-A. 9 Yer hareketi 9 (A-MTW000)



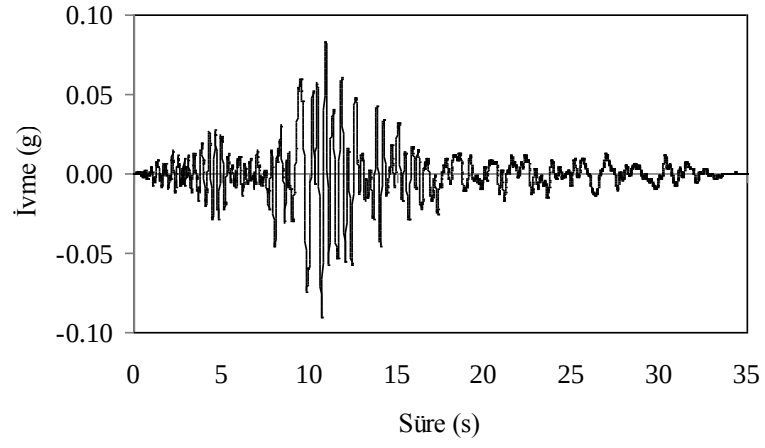
Şekil EK-A. 10 Yer hareketi 10 (A-MTW090)



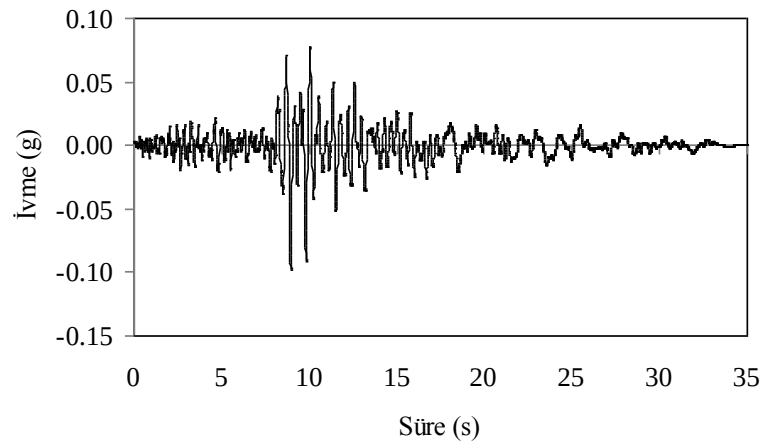
Şekil EK-A. 11 Yer hareketi 11 (A-PHT270)



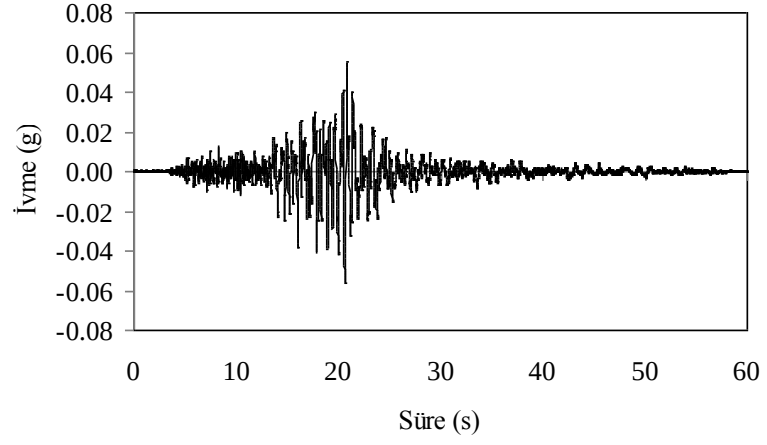
Şekil EK-A. 12 Yer hareketi 12 (A-PHT360)



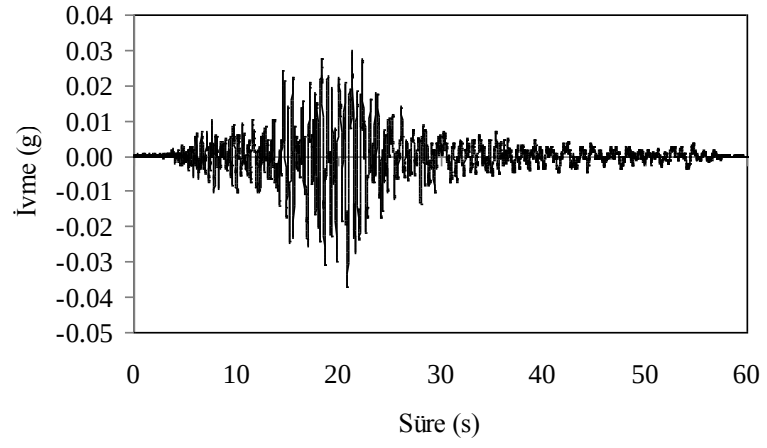
Şekil EK-A. 13 Yer hareketi 13 (A-SAN090)



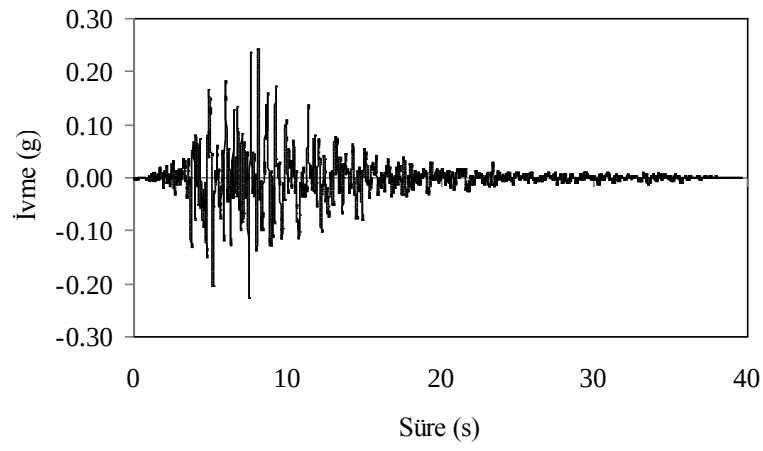
Şekil EK-A. 14 Yer hareketi 14 (A-SAN180)



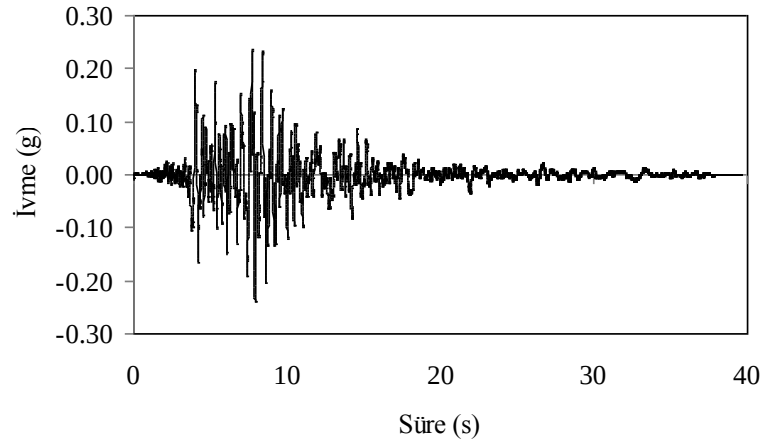
Şekil EK-A. 15 Yer hareketi 15 (A-WWJ090)



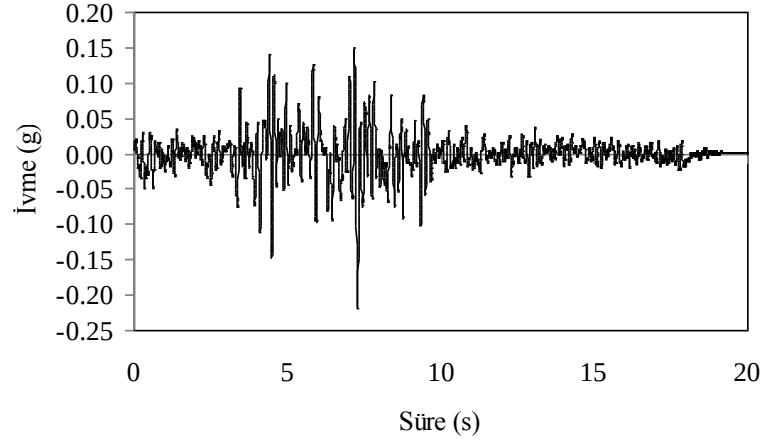
Şekil EK-A. 16 Yer hareketi 16 (A-WWJ180)

B ZEMİN SINIFINA AİT YER HAREKETLERİ

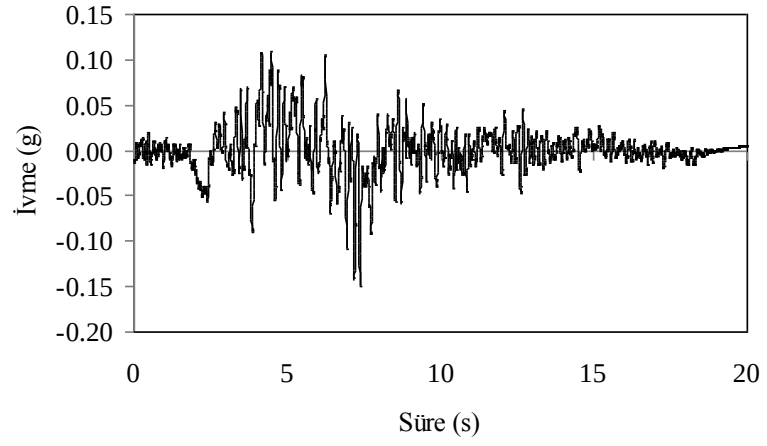
Şekil EK-B. 1 Yer hareketi 1 (B-AND270)



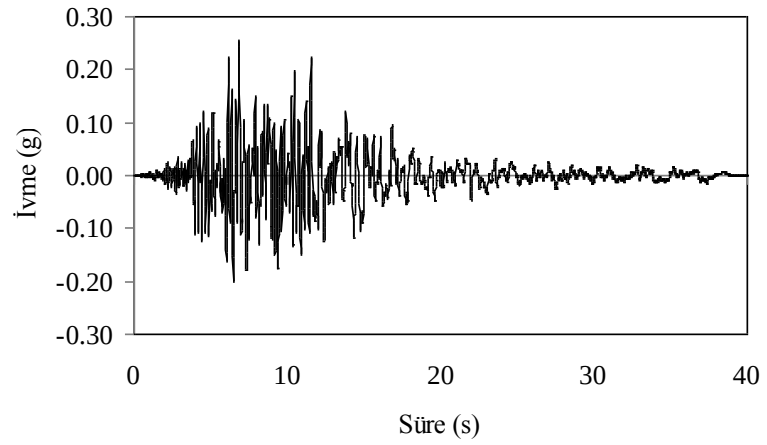
Şekil EK-B. 2 Yer hareketi 2 (B-AND360)



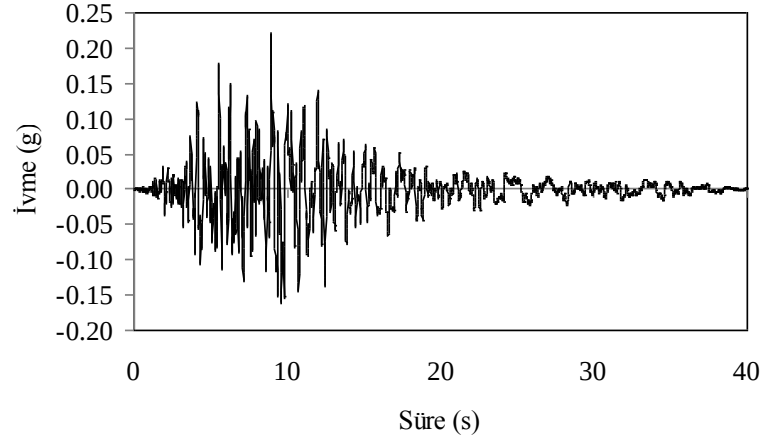
Şekil EK-B. 3 Yer hareketi 3 (B-ARC000)



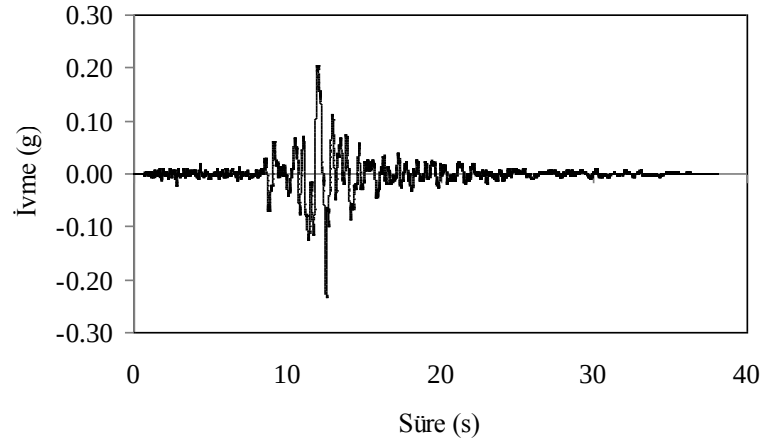
Şekil EK-B. 4 Yer hareketi 4 (B-ARC090)



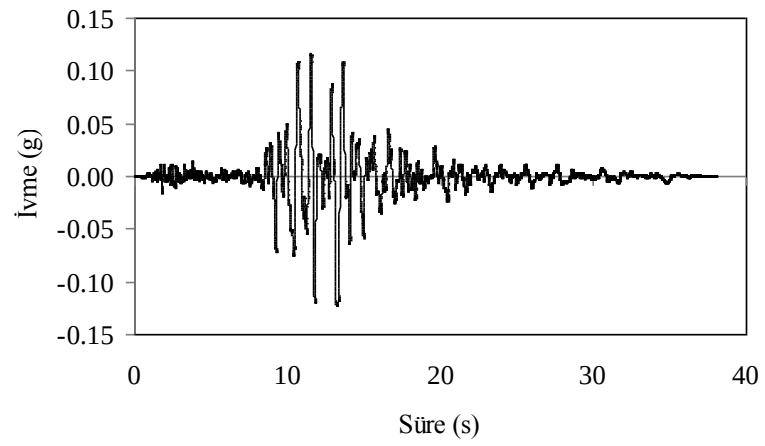
Şekil EK-B. 5 Yer hareketi 5 (B-CCN090)



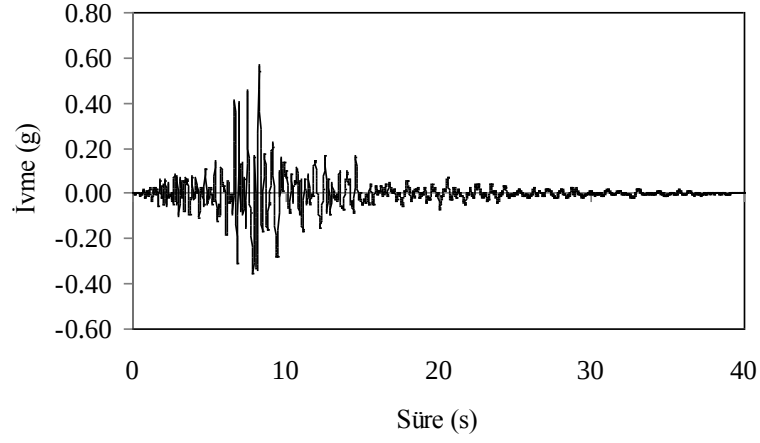
Şekil EK-B. 6 Yer hareketi 6 (B-CCN360)



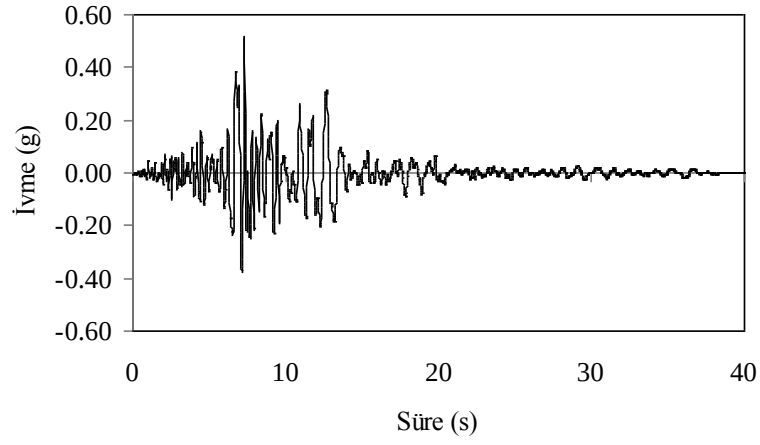
Şekil EK-B. 7 Yer hareketi 7 (B-GGB270)



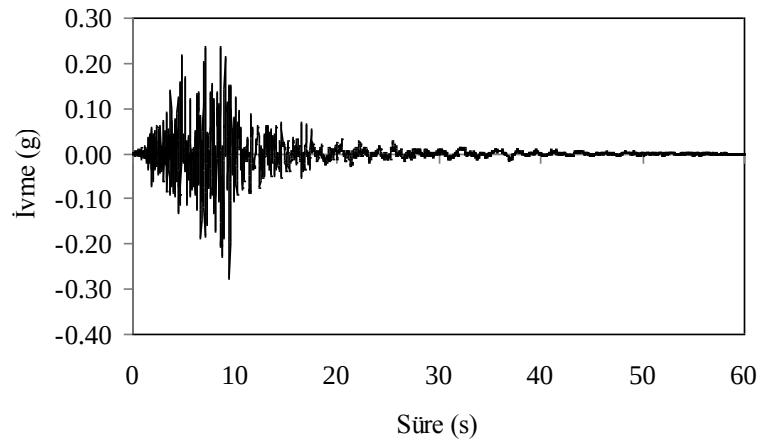
Şekil EK-B. 8 Yer hareketi 8 (B-GGB360)



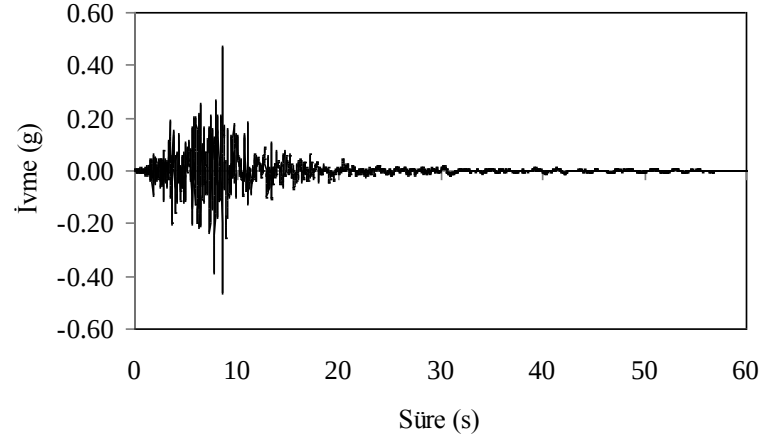
Şekil EK-B. 9 Yer hareketi 9 (B-ORR090)



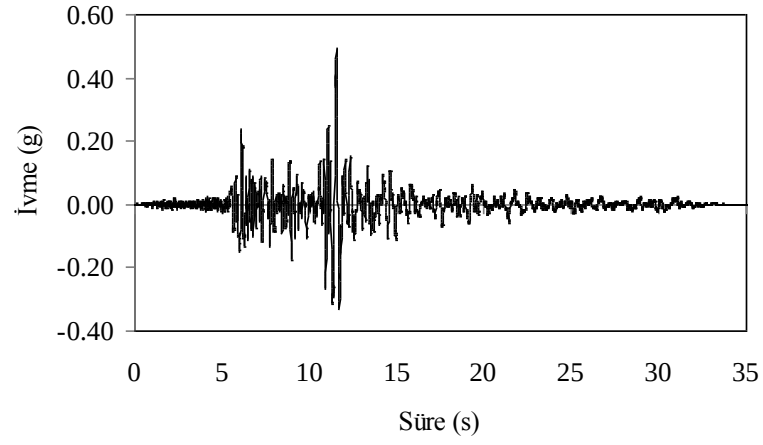
Şekil EK-B. 10 Yer hareketi 10 (B-ORR360)



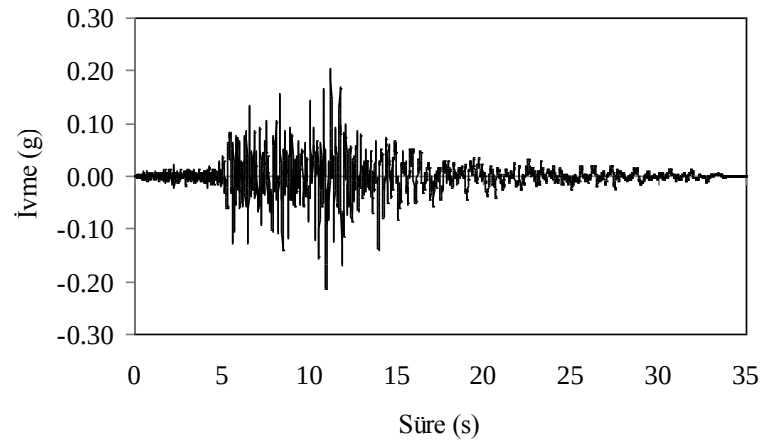
Şekil EK-B. 11 Yer hareketi 11 (B-UCL090)



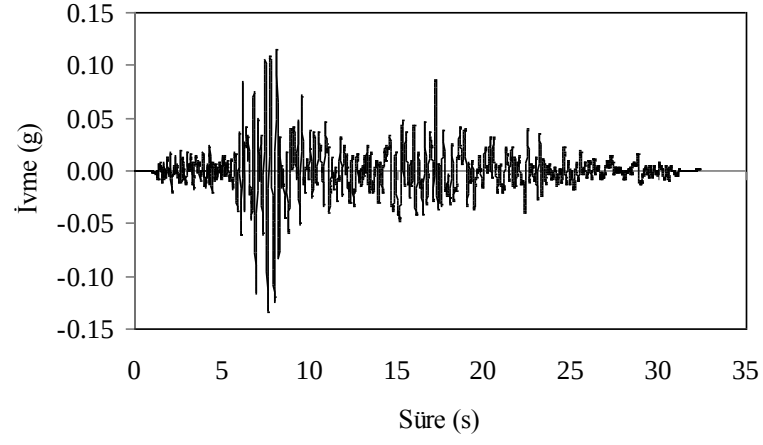
Şekil EK-B. 12 Yer hareketi 12 (B-UCL360)



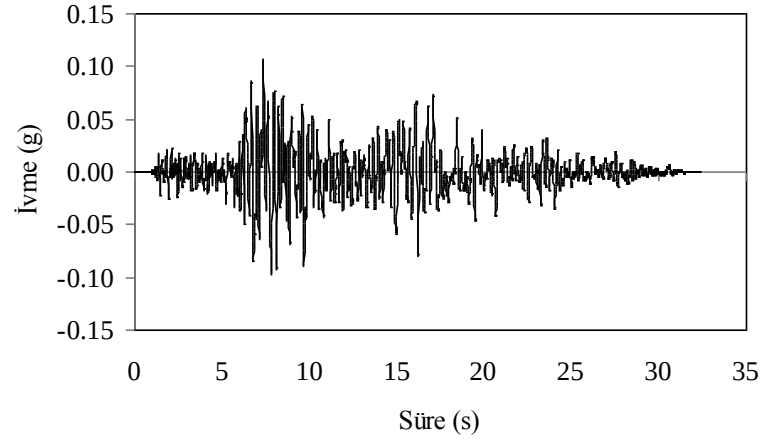
Şekil EK-B. 13 Yer hareketi 13 (B-UNI005)



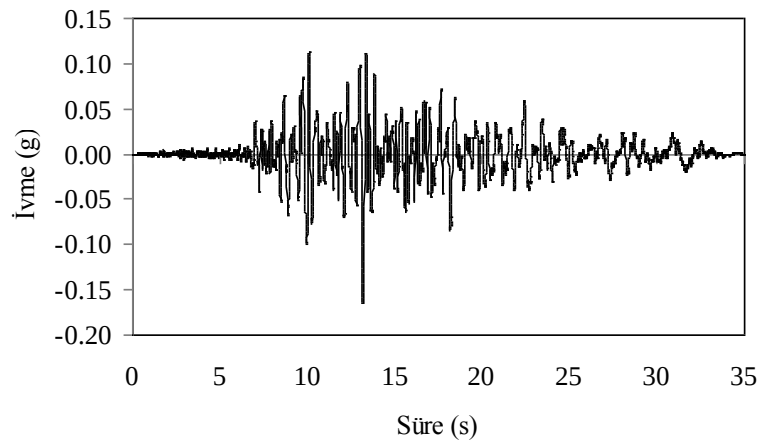
Şekil EK-B. 14 Yer hareketi 14 (B-UNI095)



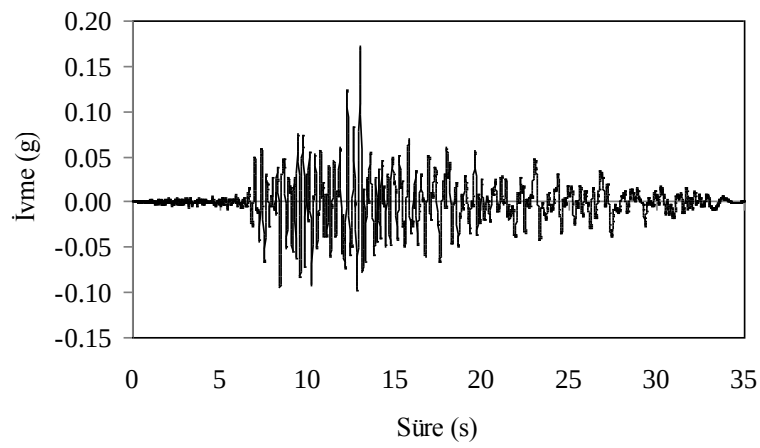
Şekil EK-B. 15 Yer hareketi 15 (B-1061E)



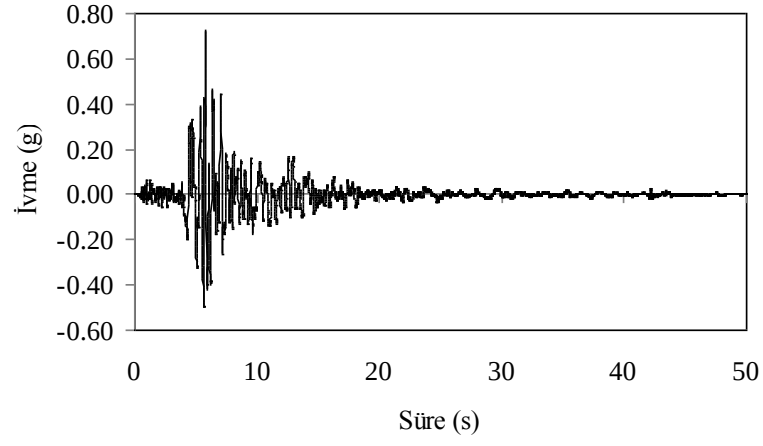
Şekil EK-B. 16 Yer hareketi 16 (B-1061N)

C ZEMİN SINIFINA AİT YER HAREKETLERİ

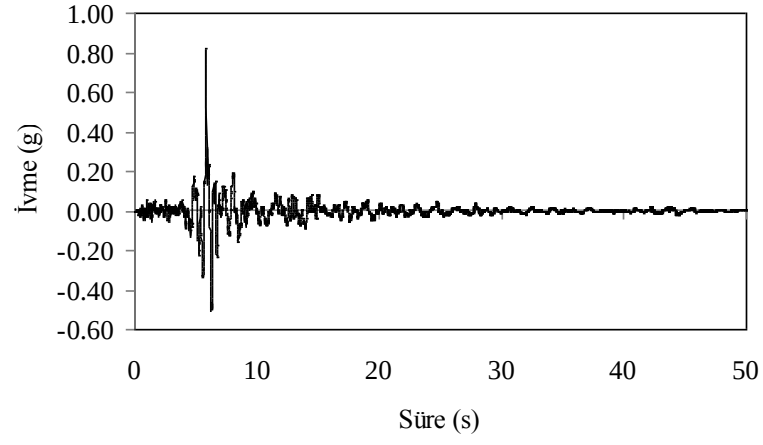
Şekil EK-C. 1 Yer hareketi 1 (C-BIR090)



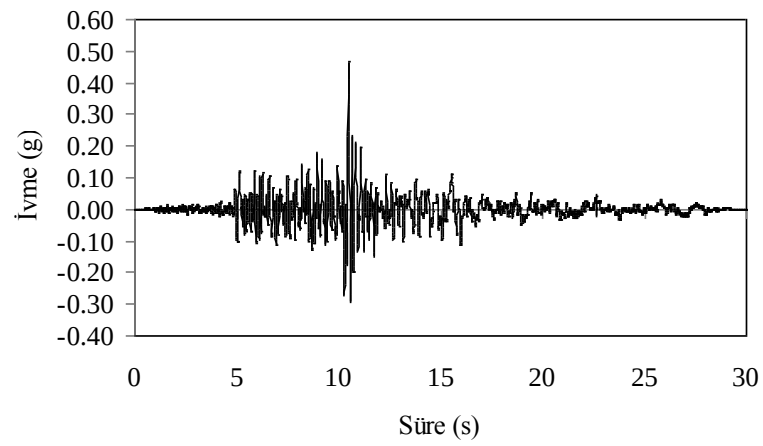
Şekil EK-C. 2 Yer hareketi 2 (C-BIR180)



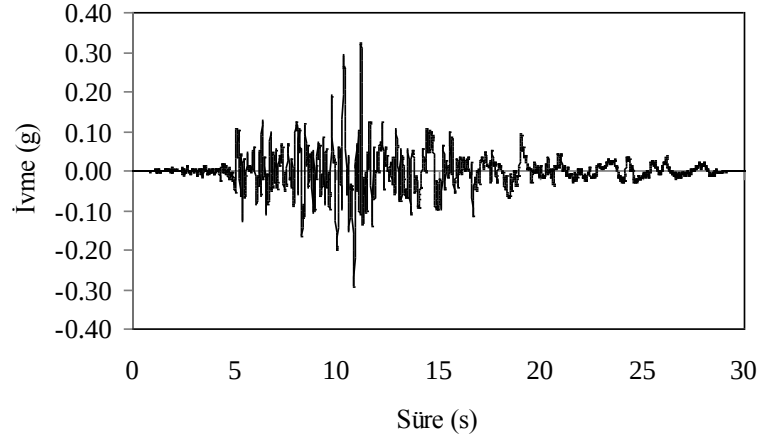
Şekil EK-C. 3 Yer hareketi 3 (C-BOL000)



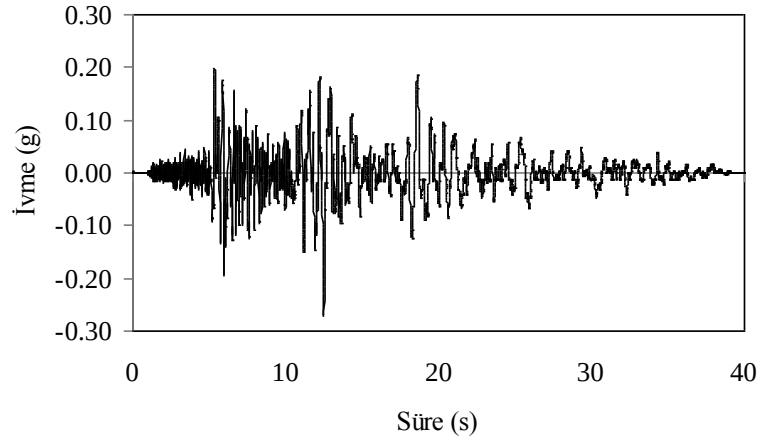
Şekil EK-C. 4 Yer hareketi 4 (C-BOL090)



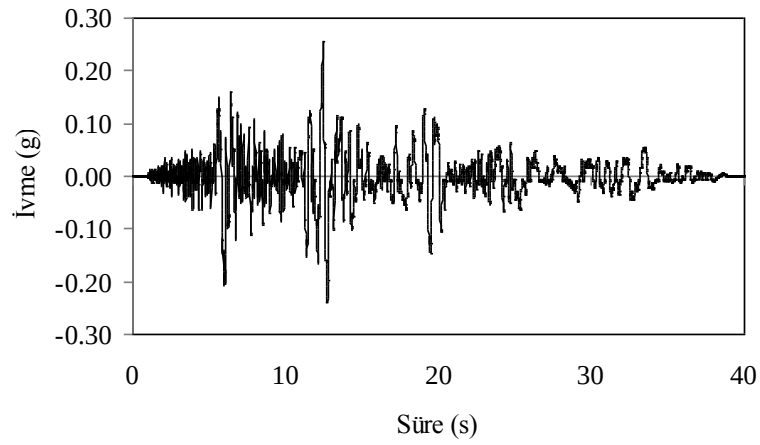
Şekil EK-C. 5 Yer hareketi 5 (C-CEN155)



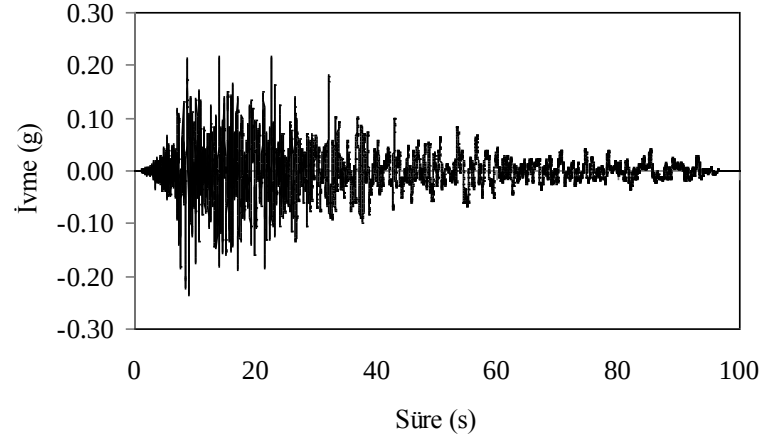
Şekil EK-C. 6 Yer hareketi 6 (C-CEN245)



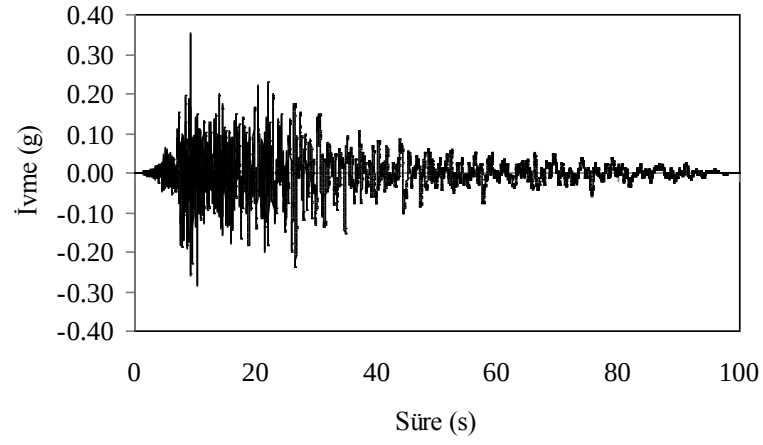
Şekil EK-C. 7 Yer hareketi 7 (C-CHI012)



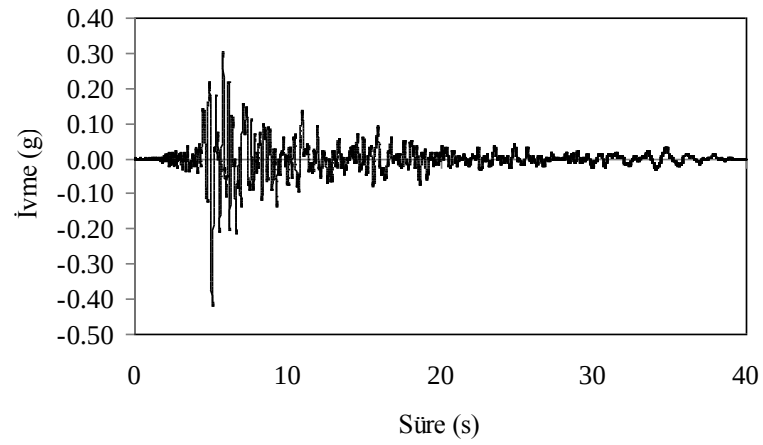
Şekil EK-C. 8 Yer hareketi 8 (C-CHI282)



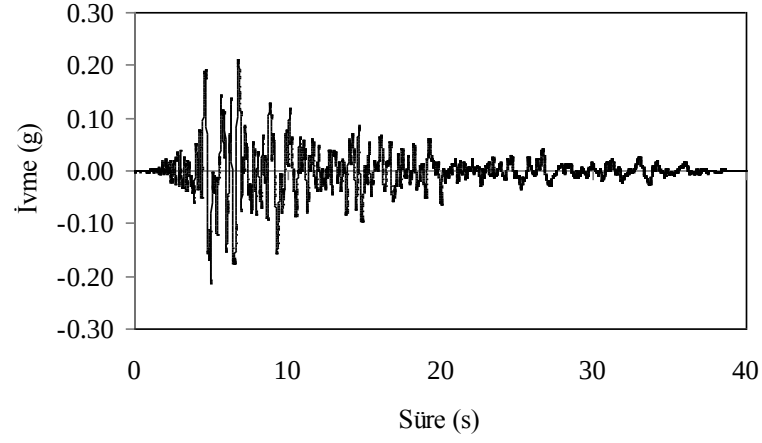
Şekil EK-C. 9 Yer hareketi 9 (C-DLT262)



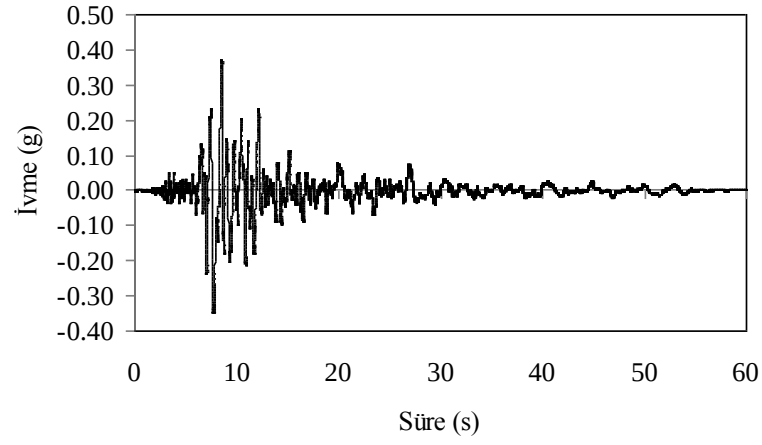
Şekil EK-C. 10 Yer hareketi 10 (C-DLT352)



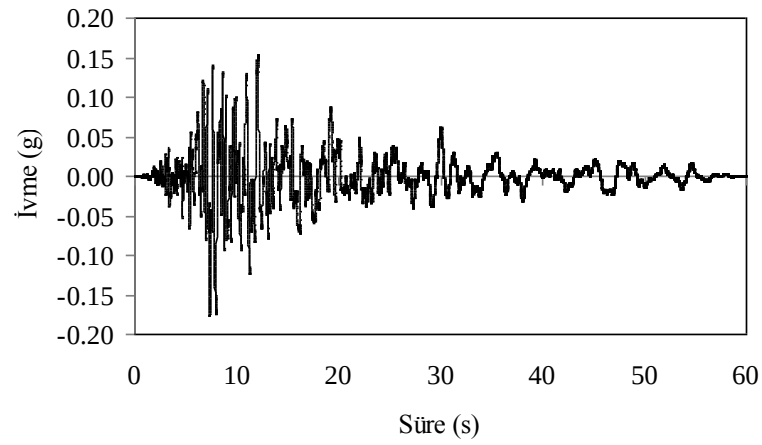
Şekil EK-C. 11 Yer hareketi 11 (C-G04000)



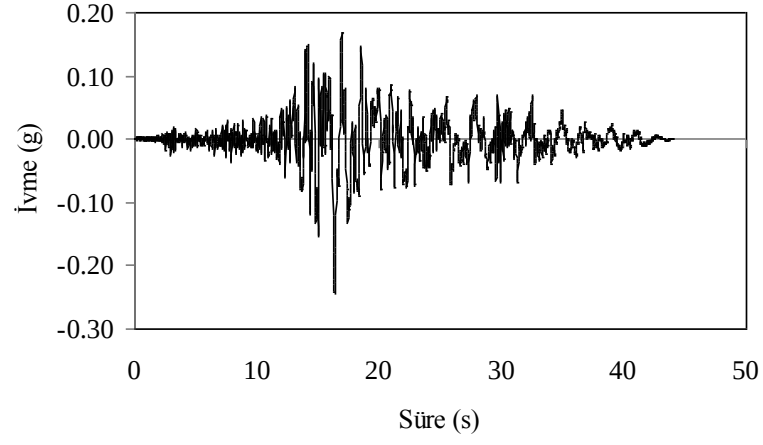
Şekil EK-C. 12 Yer hareketi 12 (C-G04090)



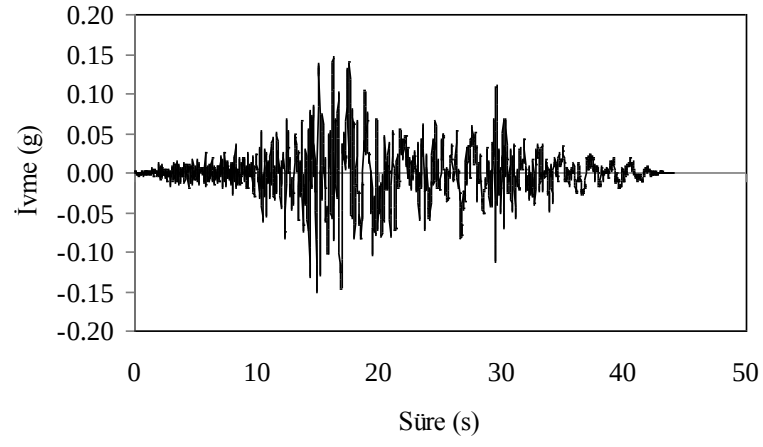
Şekil EK-C. 13 Yer hareketi 13 (C-HSP000)



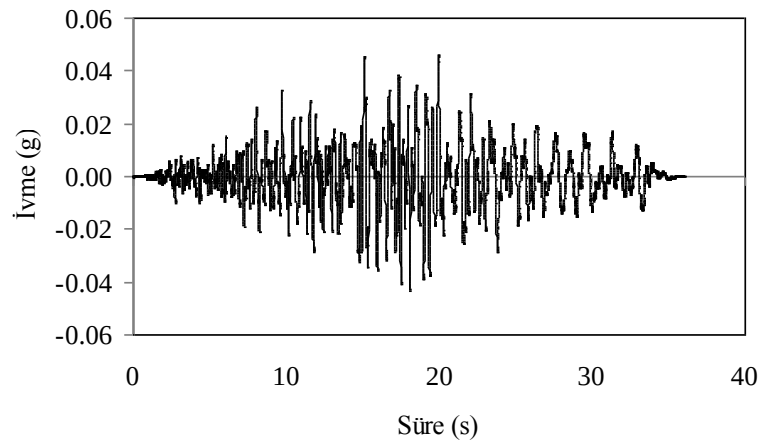
Şekil EK-C. 14 Yer hareketi 14 (C-HSP090)



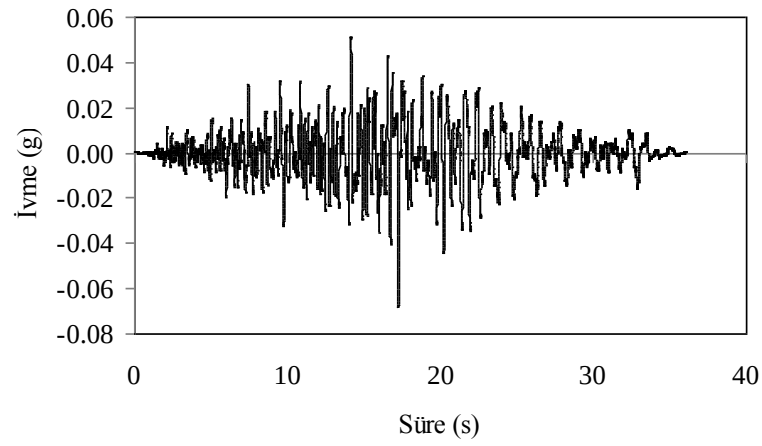
Şekil EK-C. 15 Yer hareketi 15 (C-YER270)



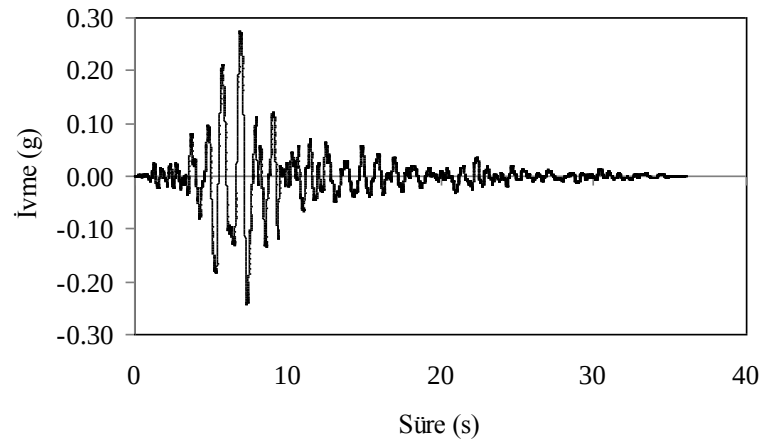
Şekil EK-C. 16 Yer hareketi 16 (C-YER360)

D ZEMİN SINIFINA AİT YER HAREKETLERİ

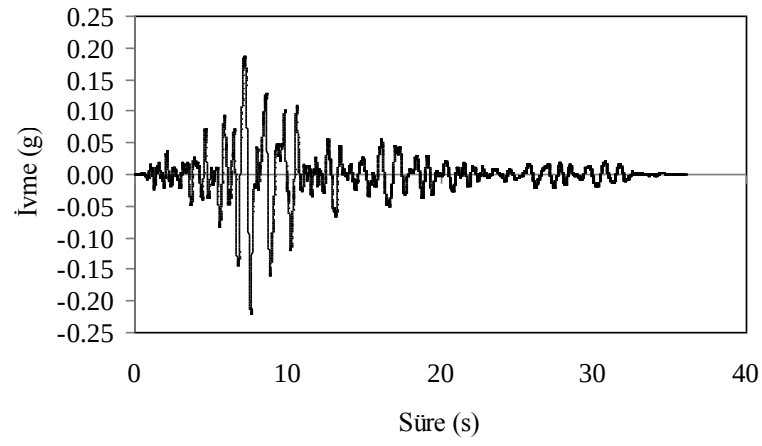
Şekil EK-D. 1 Yer hareketi 1 (D-A01040)



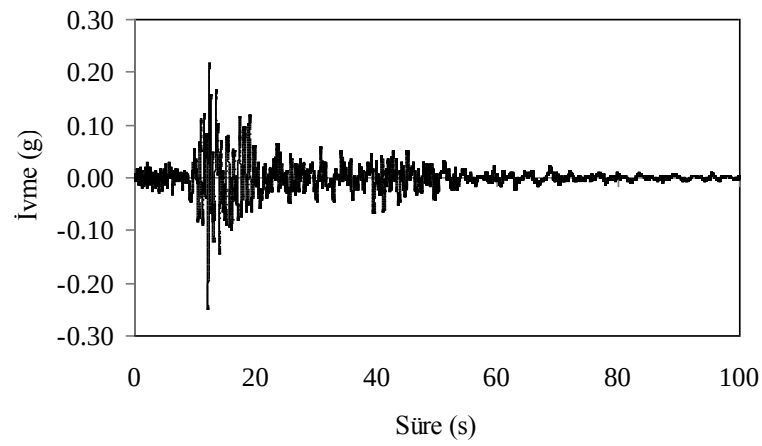
Şekil EK-D. 2 Yer hareketi 2 (D-A01310)



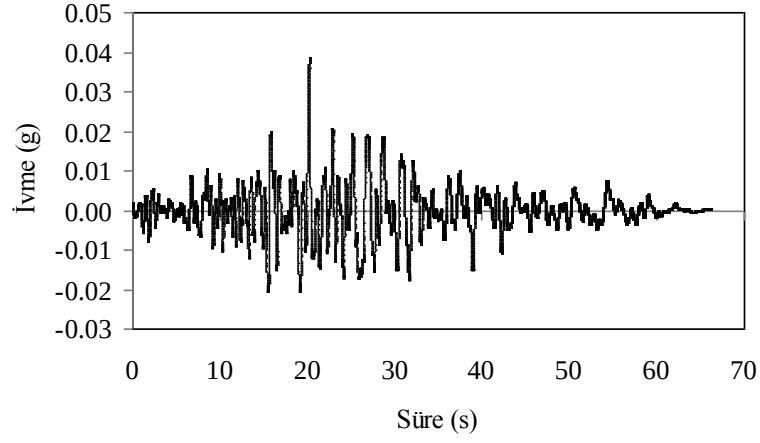
Şekil EK-D. 3 Yer hareketi 3 (D-A02043)



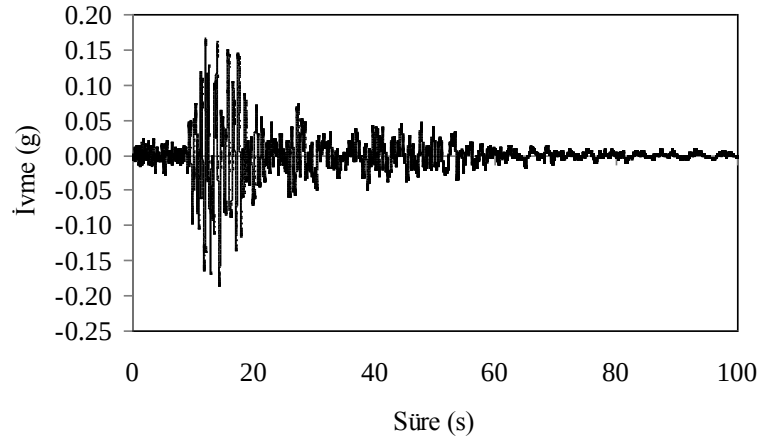
Şekil EK-D. 4 Yer hareketi 4 (D-A02133)



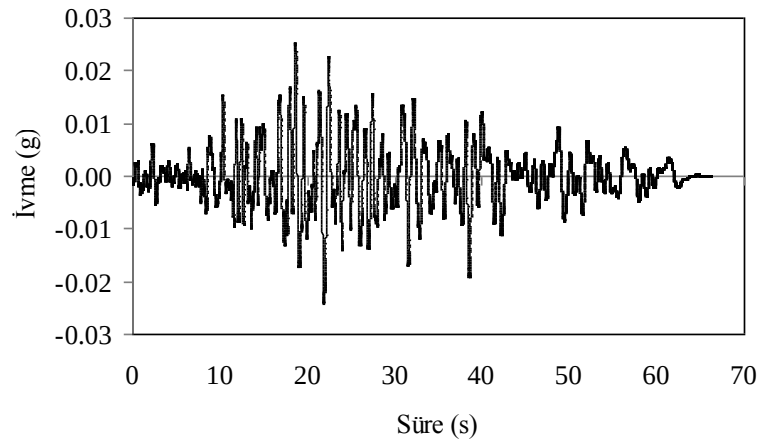
Şekil EK-D. 5 Yer hareketi 5 (D-ATS000)



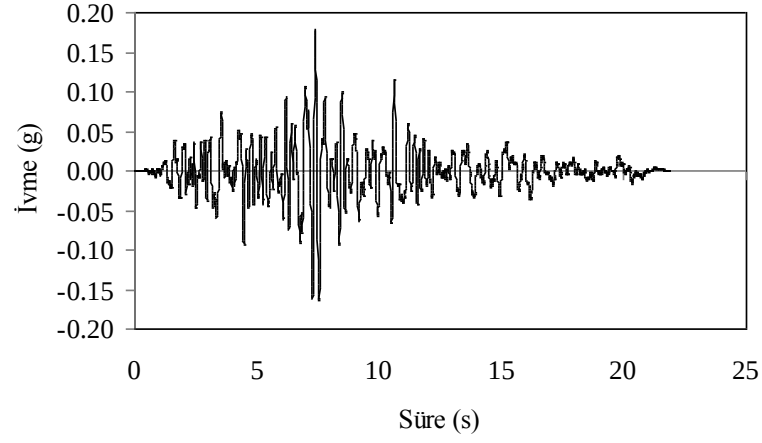
Şekil EK-D. 6 Yer hareketi 6 (D-ATS030)



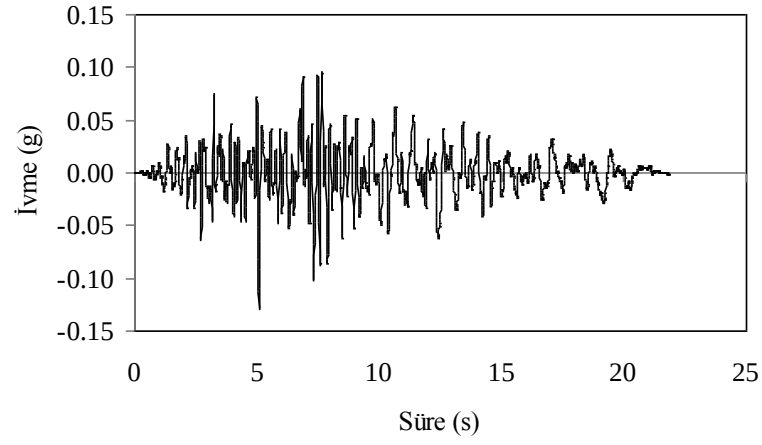
Şekil EK-D. 7 Yer hareketi 7 (D-ATS090)



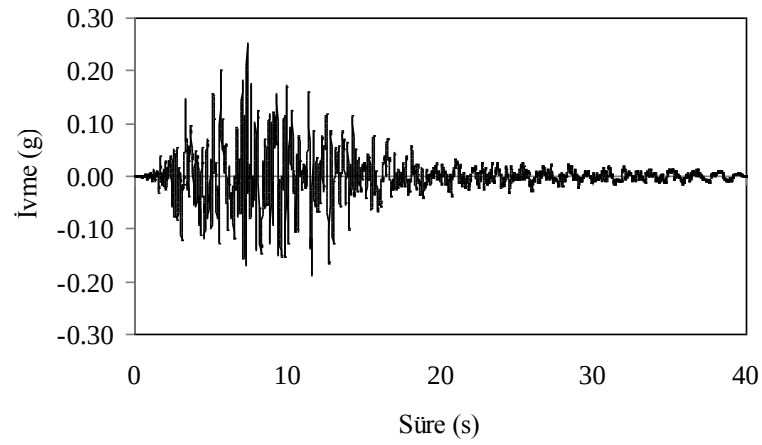
Şekil EK-D. 8 Yer hareketi 8 (D-ATS300)



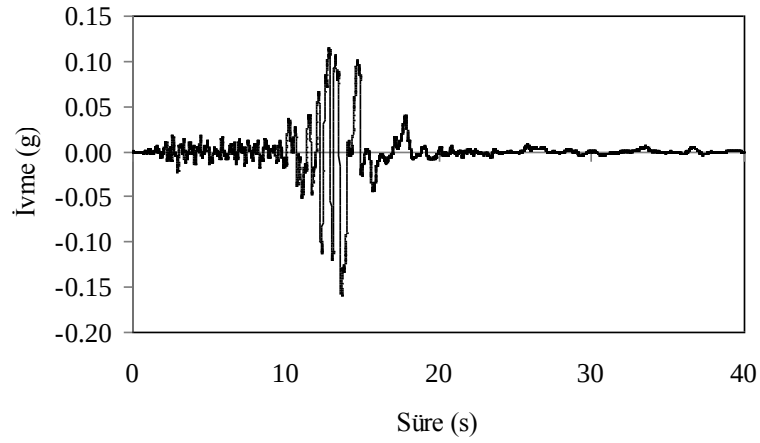
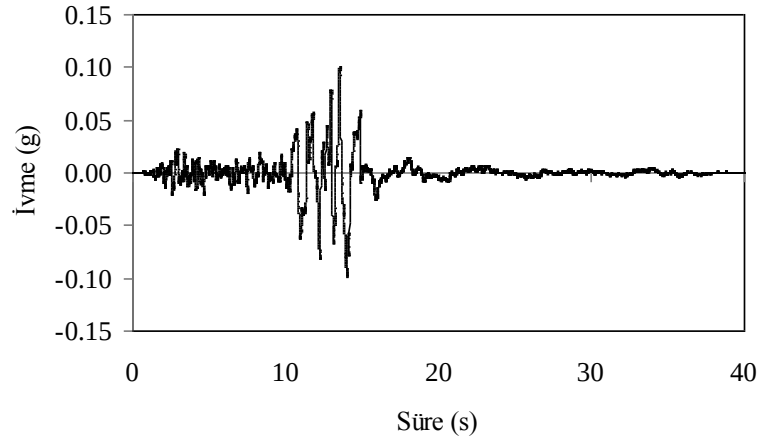
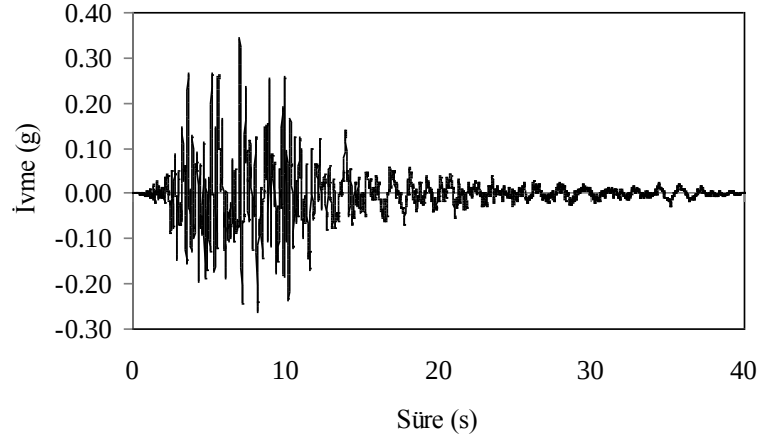
Şekil EK-D. 9 Yer hareketi 9 (D-BLF206)

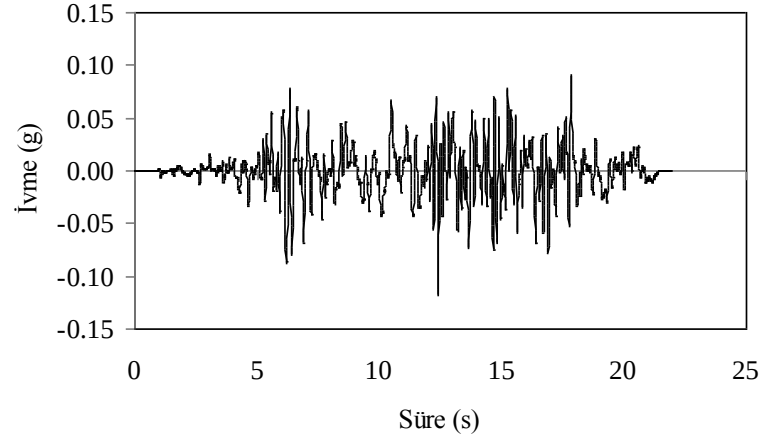


Şekil EK-D. 10 Yer hareketi 10 (D-BLF296)

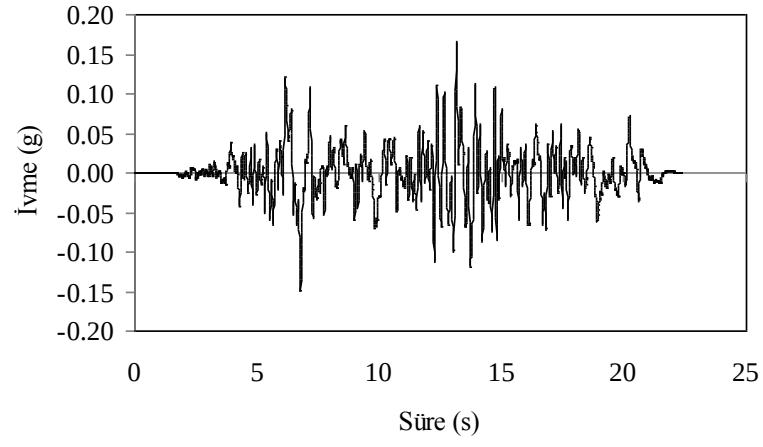


Şekil EK-D. 11 Yer hareketi 11 (D-KAK000)





Şekil EK-D. 15 Yer hareketi 15 (D-WLF225)



Şekil EK-D. 16 Yer hareketi 16 (D-WLF315)

İNCELENEN ÇERÇEVELERİN KOLON KİRİŞ BOYUT VE DONATI DÜZENLERİ

Bu çalışma kapsamında oluşturulan örnek binalarda incelenen çerçevelerin kolon boyut ve donatı yüzdeleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge EK-E. 1 1 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni

Kolon	Boyut (cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	30/30	8Φ14	1.37
S4	30/30	8Φ14	1.37

Çizelge EK-E. 2 1 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni

Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	2Φ14 (308)	2Φ14 (308)
$A_s (mm^2)$	2Φ14 (308)	2Φ14 (308)

Çizelge EK-E. 3 3 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat)

Kolon	Boyut (cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	30/30	8Φ16	1.79
S4	30/30	8Φ16	1.79

Çizelge EK-E. 4 3 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat)

Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	2Φ12+2Φ16 (628)	2Φ14+2Φ12 (534)
$A_s (mm^2)$	3Φ12+1Φ14 (494)	3Φ12 (339)

Çizelge EK-E. 5 6 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat)

Kolon	Boyut (cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	35/35	8Φ16	1.31
S4	35/35	8Φ16	1.31

Çizelge EK-E. 6 6 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat)

Kolon	Boyut(cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	30/30	8Φ16	1.79
S4	30/30	8Φ16	1.79

Çizelge EK-E. 7 6 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat)

Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	2Φ12+3Φ16 (829)	3Φ14+2Φ12 (688)
$A_s(mm^2)$	3Φ12+2Φ14 (647)	3Φ12+1Φ14 (494)

Çizelge EK-E. 8 6 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat)

Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	2Φ12+2Φ16 (628)	2Φ14+2Φ12 (534)
$A_s(mm^2)$	4Φ12 (452)	3Φ12 (339)

Çizelge EK-E. 9 9 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat)

Kolon	Boyut (cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	40/40	8Φ16	1.01
S4	40/40	8Φ16	1.01

Çizelge EK-E. 10 9 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat)

Kolon	Boyut(cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	35/35	8Φ16	1.31
S4	35/35	8Φ16	1.31

Çizelge EK-E. 11 9 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (6, 7. ve 8. kat)

Kolon	Boyut(cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	30/30	8Φ16	1.79
S4	30/30	8Φ16	1.79

Çizelge EK-E. 12 9 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat)

Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	5Φ16 (1005)	4Φ16 (804)
$A_s(mm^2)$	3Φ16+1Φ12 (716)	3Φ16 (603)

Çizelge EK-E. 13 9 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat)

Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	5Φ16 (1005)	4Φ16 (804)
$A_s(mm^2)$	3Φ16+1Φ12 (716)	3Φ16 (603)

Çizelge EK-E. 14 9 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (6, 7. ve 8. kat)

Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	2 Φ 12+2 Φ 14 (534)	2 Φ 12+2 Φ 14 (534)
$A_s (mm^2)$	4 Φ 12 (452)	4 Φ 12 (452)

Çizelge EK-E. 15 12 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2.k)

Kolon	Boyut (cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	45/45	12 Φ 16	1.19
S4	45/45	12 Φ 16	1.19

Çizelge EK-E. 16 12 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat)

Kolon	Boyut(cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	40/40	12 Φ 14	1.16
S4	40/40	12 Φ 14	1.16

Çizelge EK-E. 17 12 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (6, 7. ve 8. kat)

Kolon	Boyut(cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	35/35	12 Φ 14	1.51
S4	35/35	12 Φ 14	1.51

Çizelge EK-E. 18 12 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (9, 10. ve 11. kat)

Kolon	Boyut(cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	30/30	12 Φ 14	2.05
S4	30/30	12 Φ 14	2.05

Çizelge EK-E. 19 12 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. k)

Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	2 Φ 14+2 Φ 20 (936)	2 Φ 14+2 Φ 18 (817)
$A_s (mm^2)$	3 Φ 14+1 Φ 20 (776)	3 Φ 14+1 Φ 16 (663)

Çizelge EK-E. 20 12 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat)

Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	2 Φ 14+3 Φ 18 (1070)	2 Φ 14+2 Φ 20 (936)
$A_s (mm^2)$	5 Φ 14 (770)	5 Φ 14 (770)

Çizelge EK-E. 21 12 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (6, 7. ve 8. kat)

Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	3 Φ 16+2 Φ 14 (911)	5 Φ 14 (770)
$A_s (mm^2)$	3 Φ 14+1 Φ 12 (575)	3 Φ 14+1 Φ 12 (575)

Çizelge EK-E. 22 12 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (9, 10. ve 11. kat)

Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	2 Φ 12+2 Φ 14 (534)	2 Φ 12+2 Φ 14 (534)
$A_s (mm^2)$	4 Φ 12 (452)	4 Φ 12 (452)

Çizelge EK-E. 23 15 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat)

Kolon	Boyut (cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	50/50	12 Φ 18	1.22
S4	50/50	12 Φ 18	1.22

Çizelge EK-E. 24 15 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat)

Kolon	Boyut(cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	45/45	12 Φ 16	1.19
S4	45/45	12 Φ 16	1.19

Çizelge EK-E. 25 15 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (6, 7. ve 8. kat)

Kolon	Boyut(cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	40/40	12 Φ 14	1.16
S4	40/40	12 Φ 14	1.16

Çizelge EK-E. 26 15 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (9, 10. ve 11. kat)

Kolon	Boyut(cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	35/35	12 Φ 14	1.51
S4	35/35	12 Φ 14	1.51

Çizelge EK-E. 27 15 katlı örnek bina için kolon boyut ve donatı düzeni (12, 13. ve 14. kat)

Kolon	Boyut(cm/cm)	Donatı düzeni	Donatı yüzdesi (%)
S3	30/30	12 Φ 14	2.05
S4	30/30	12 Φ 14	2.05

Çizelge EK-E. 28 15 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (Zemin, 1. ve 2. kat)

Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	2 Φ 14+2 Φ 20 (936)	2 Φ 14+2 Φ 18 (816)
$A_s (mm^2)$	3 Φ 14+2 Φ 16 (864)	3 Φ 14+1 Φ 16 (663)

Çizelge EK-E. 29 15 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (3, 4. ve 5. kat)

Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	2 Φ 16+3 Φ 18 (1164)	2 Φ 16+2 Φ 20 (1030)
$A_s (mm^2)$	4 Φ 16 (804)	4 Φ 16 (804)

Çizelge EK-E. 30 15 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (6, 7. ve 8. kat)

Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	3 Φ 18+2 Φ 14 (1070)	3 Φ 18+2 Φ 14 (1070)
$A_s (mm^2)$	3 Φ 14+2 Φ 12 (688)	5 Φ 14 (770)

Çizelge EK-E. 31 15 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (9, 10. ve 11. kat)

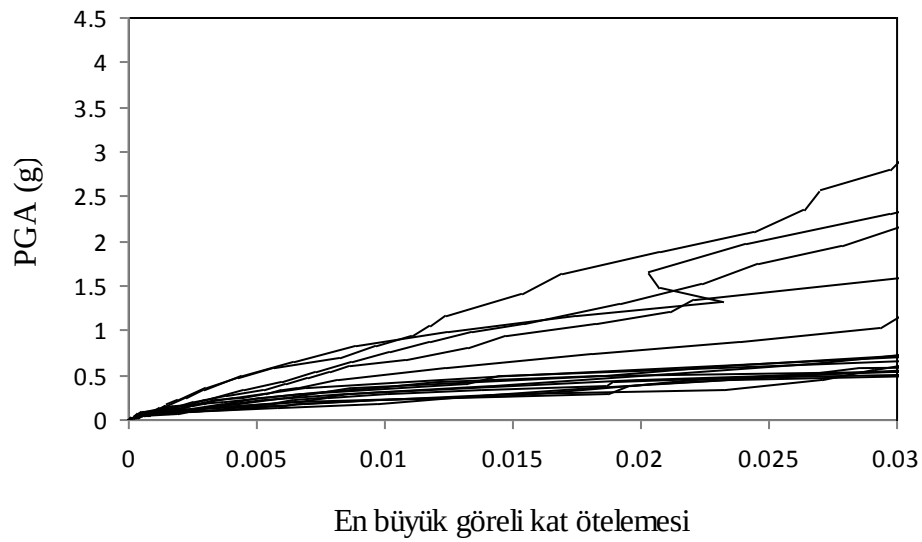
Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	2 Φ 18+2 Φ 14 (816)	5 Φ 14 (770)
$A_s (mm^2)$	3 Φ 14+1 Φ 12 (575)	3 Φ 14+1 Φ 12 (575)

Çizelge EK-E. 32 15 katlı örnek bina için kiriş boyut ve donatı düzeni (12, 13. ve 14. kat)

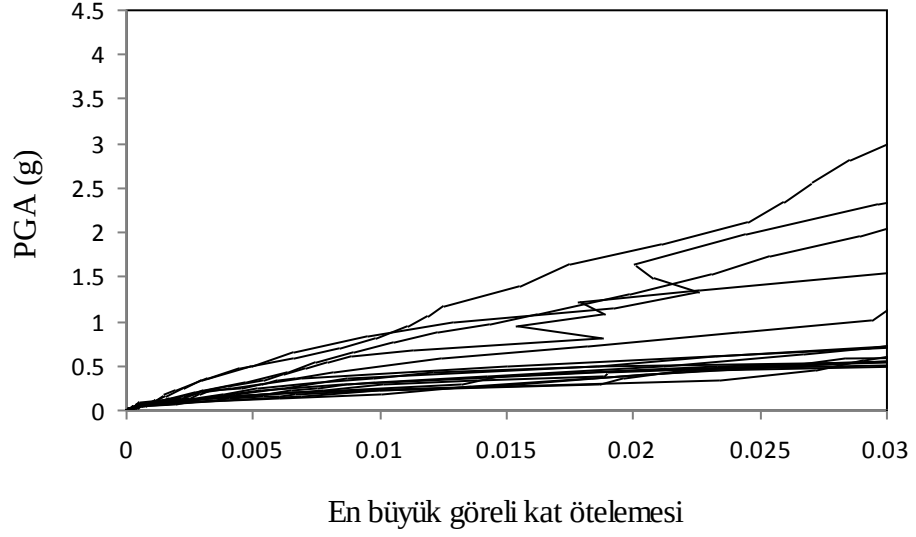
Kiriş	K103-sol (25/40)	K103-sağ / K104-sol (25/40)
$A_s'(mm^2)$	2 Φ 12+2 Φ 14 (534)	2 Φ 12+2 Φ 14 (534)
$A_s (mm^2)$	3 Φ 12 (339)	4 Φ 12 (452)

ARTIMSAL DİNAMİK ÇÖZÜMLEME EĞRİLERİ

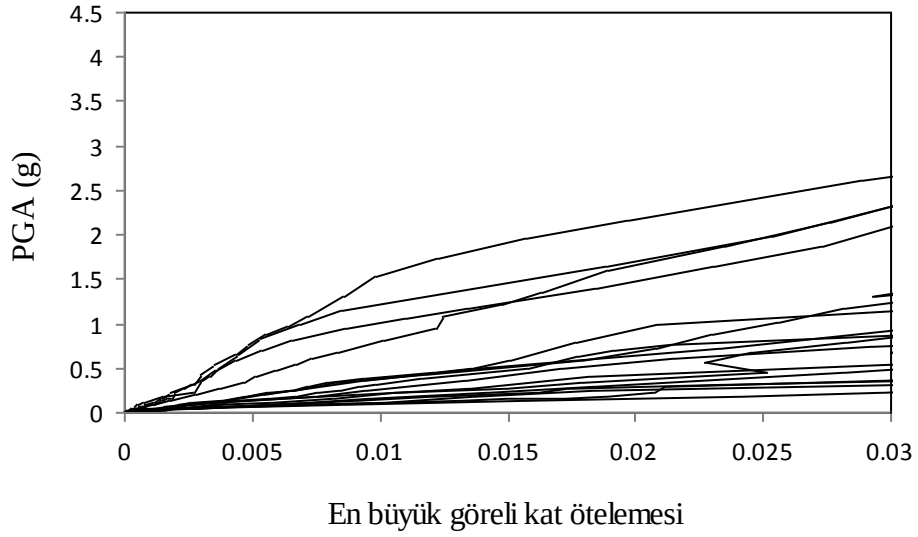
İncelenen örnek binaların artımsal dinamik çözümleme eğrileri aşağıda verilmiştir.



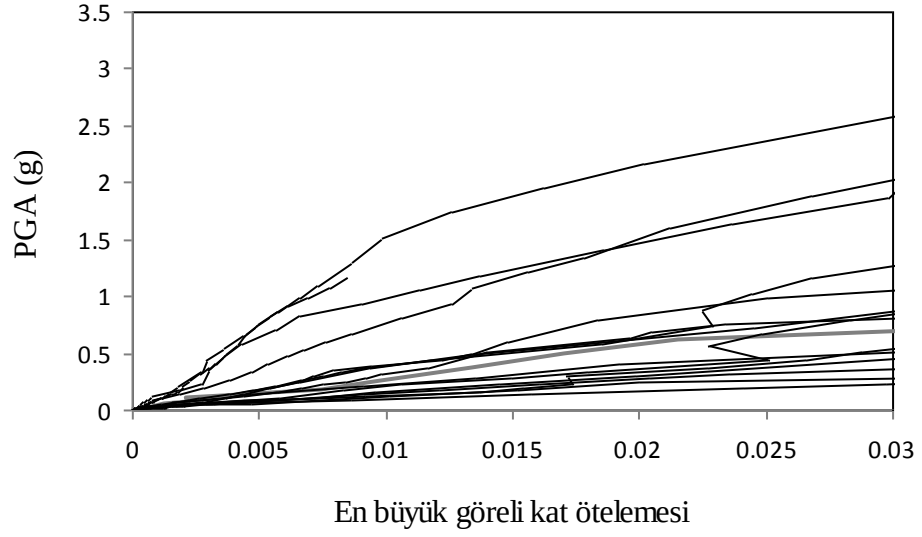
Şekil EK-F. 1 Etkileşimsiz durum için 1 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



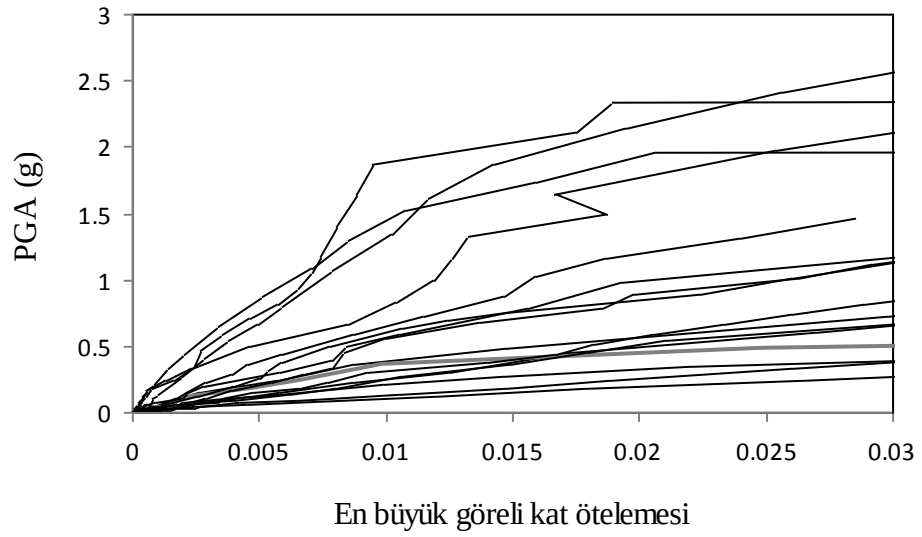
Şekil EK-F. 2 Etkileşimli durum için 1 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



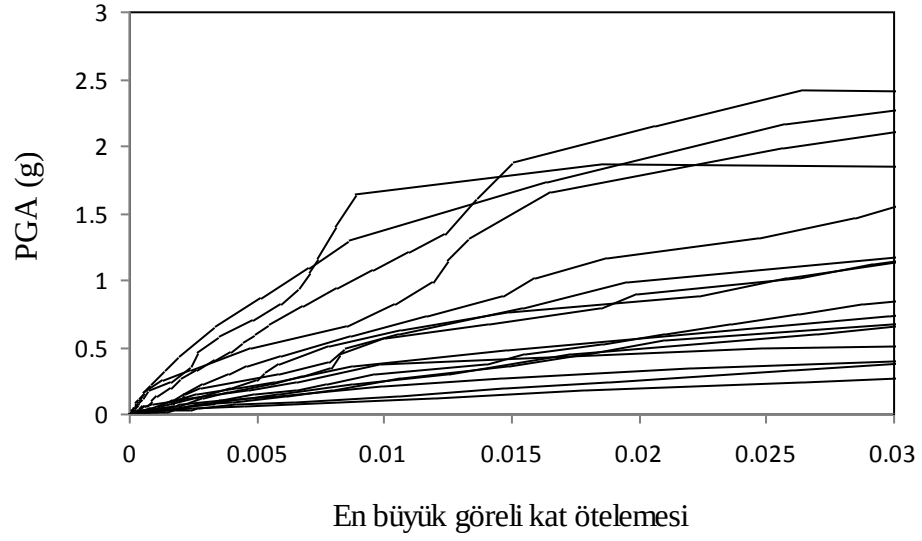
Şekil EK-F. 3 Etkileşimsiz durum için 3 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



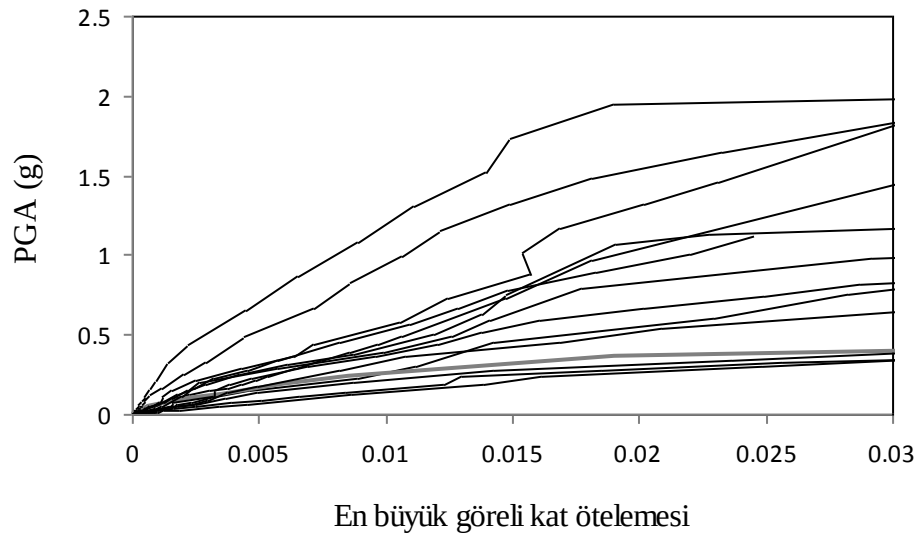
Şekil EK-F. 4 Etkileşimli durum için 3 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



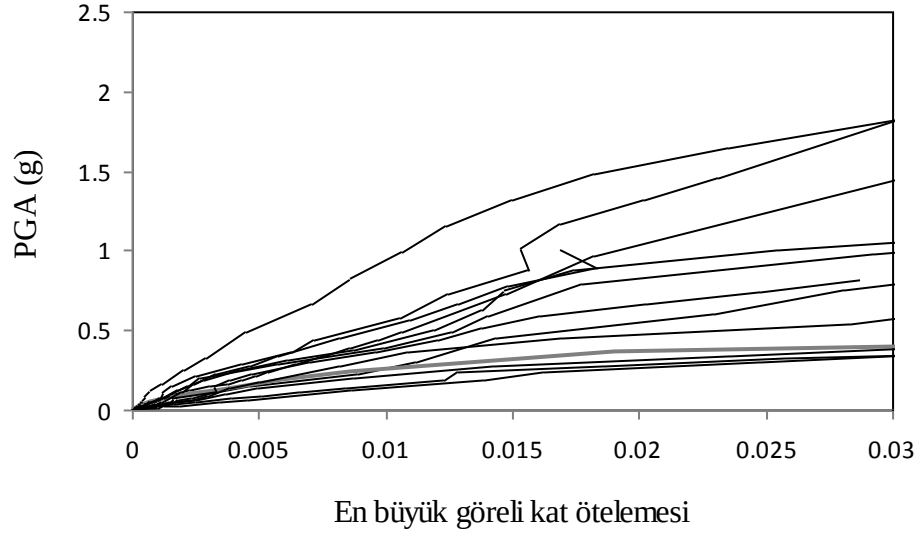
Şekil EK-F. 5 Etkileşimsiz durum için 6 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



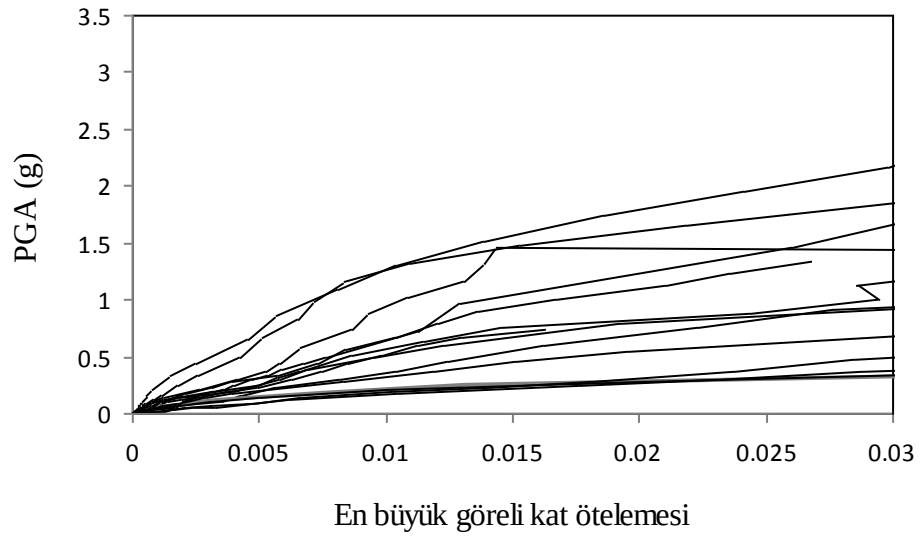
Şekil EK-F. 6 Etkileşimli durum için 6 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artırsal dinamik çözümleme eğrileri



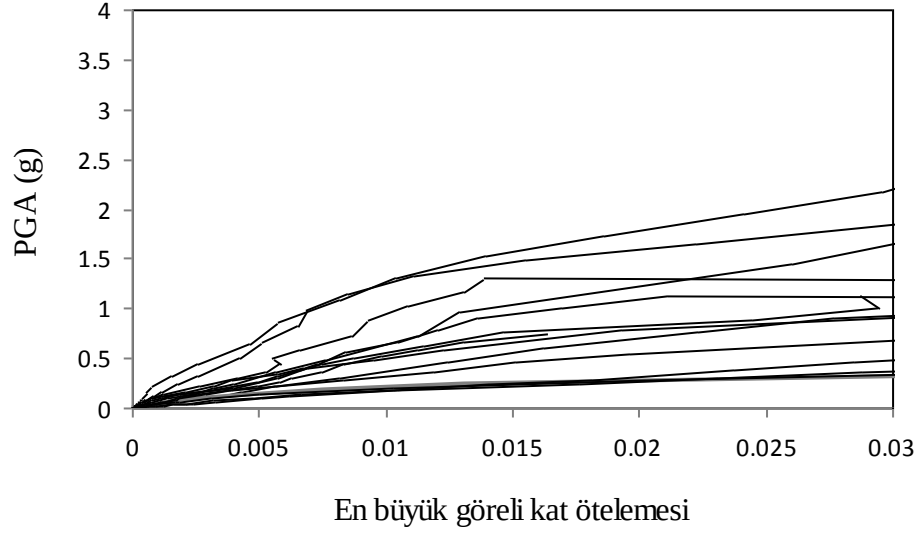
Şekil EK-F. 7 Etkileşimsiz durum için 9 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artırsal dinamik çözümleme eğrileri



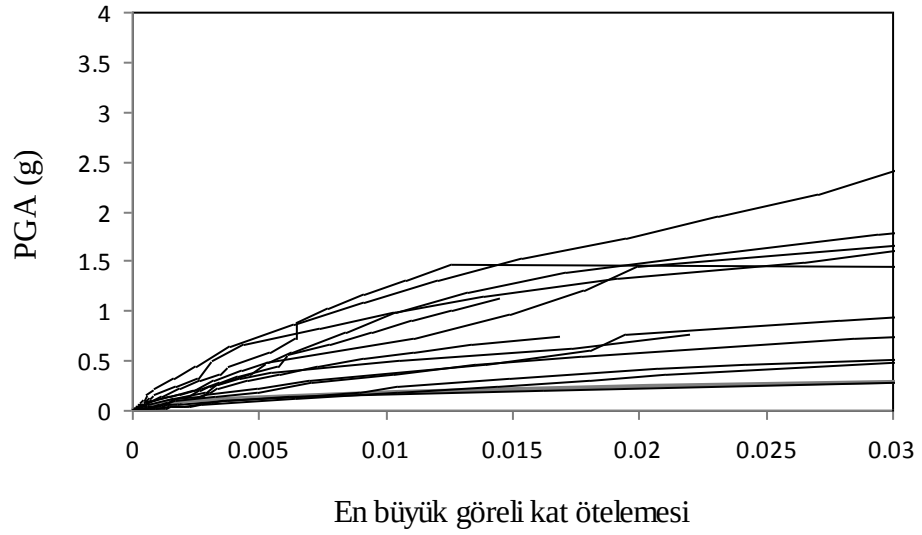
Şekil EK-F. 8 Etkileşimli durum için 9 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



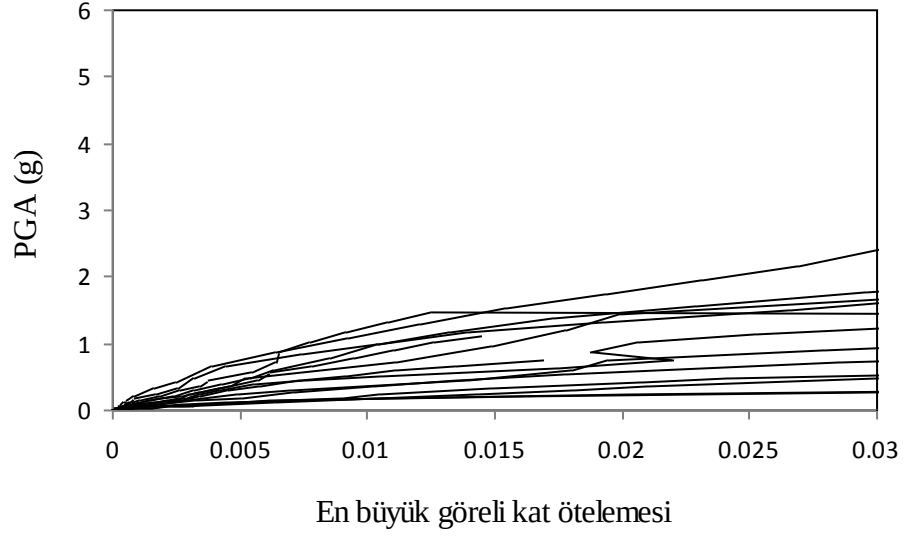
Şekil EK-F. 9 Etkileşimsiz durum için 12 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



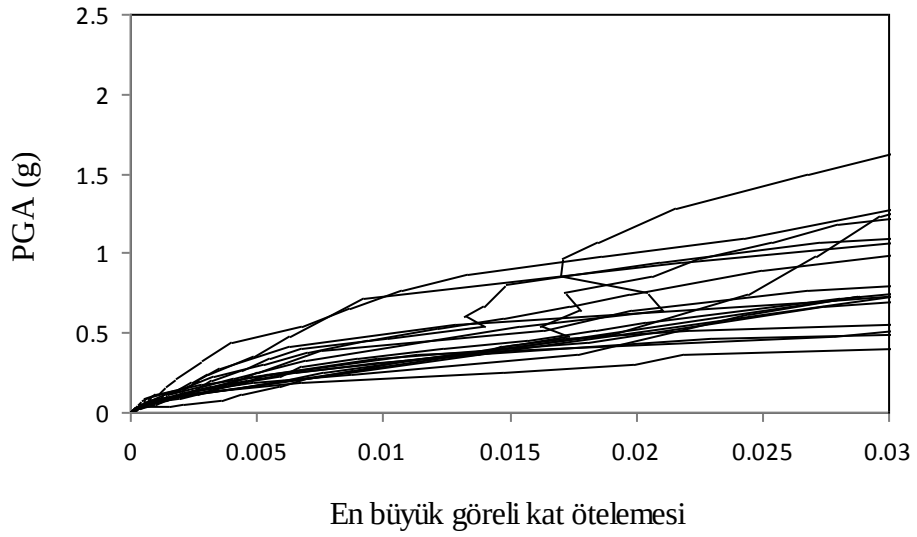
Şekil EK-F. 10 Etkileşimli durum için 12 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



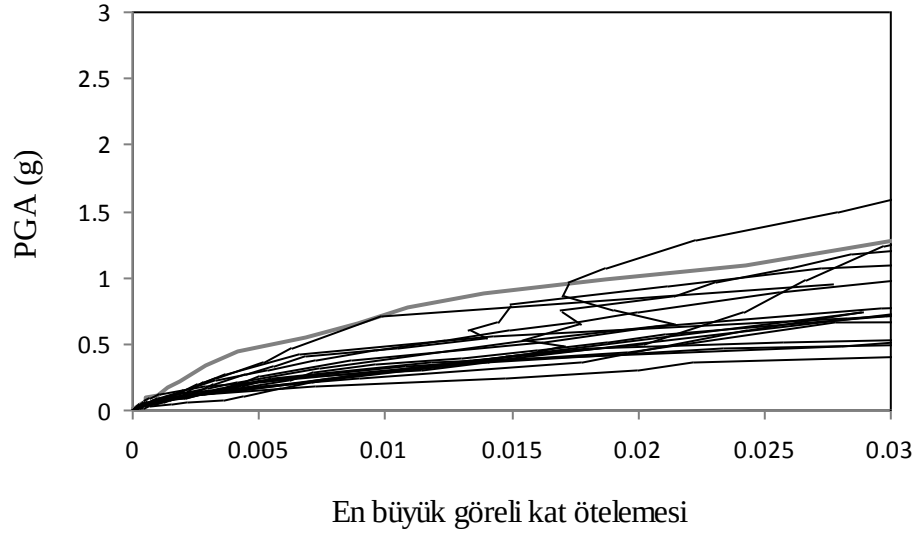
Şekil EK-F. 11 Etkileşimsiz durum için 15 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



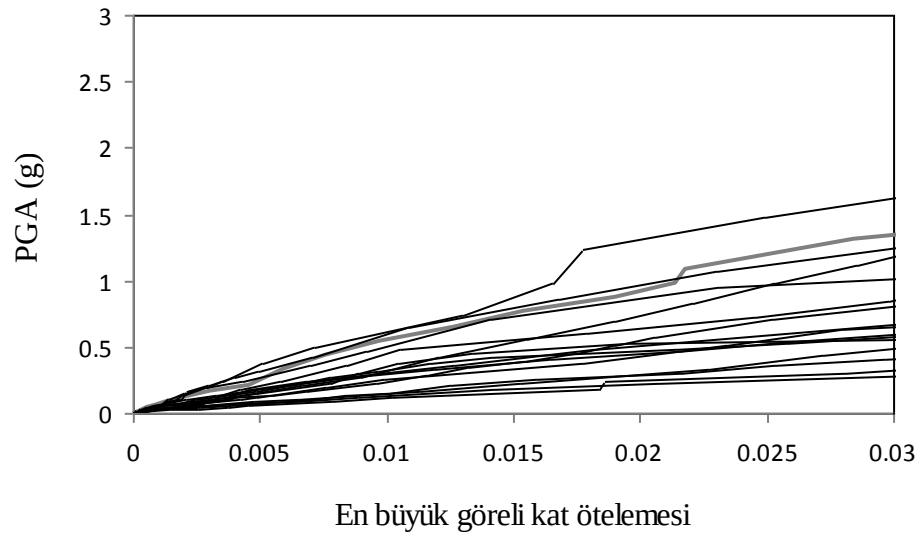
Şekil EK-F. 12 Etkileşimli durum için 15 katlı binada A zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



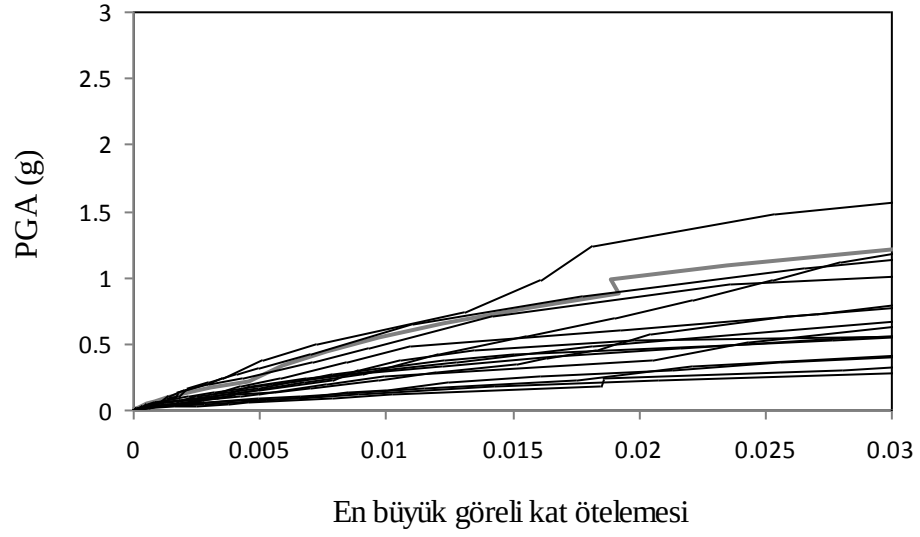
Şekil EK-F. 13 Etkileşimsiz durum için 1 katlı binada B zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



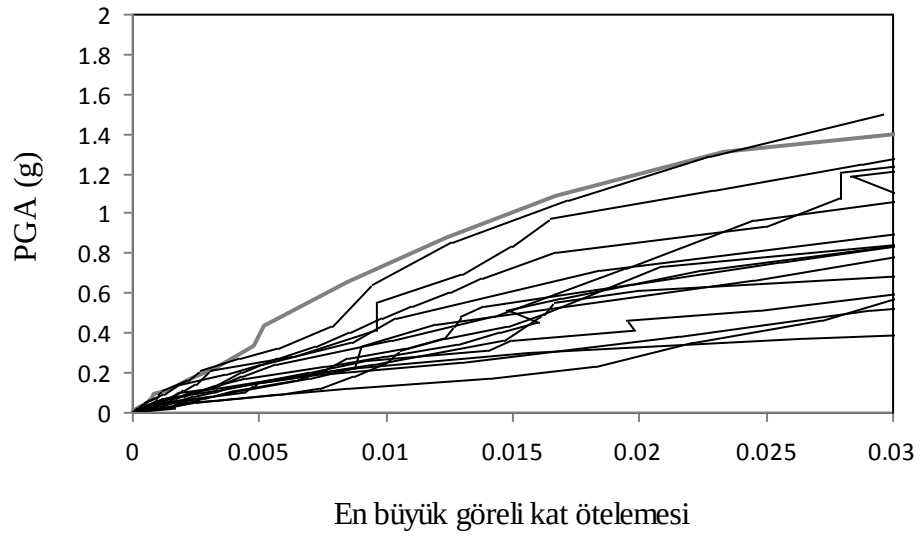
Şekil EK-F. 14 Etkileşimli durum için 1 katlı binada B zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



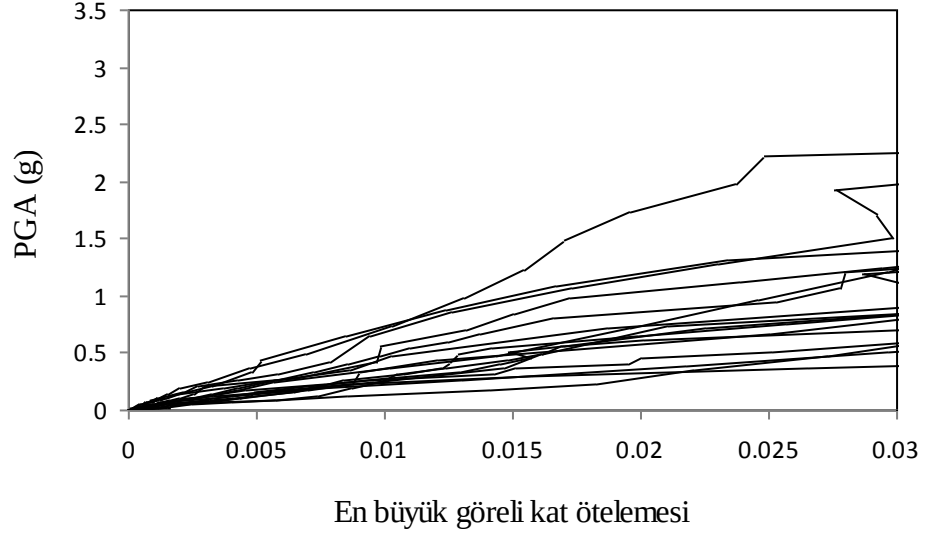
Şekil EK-F. 15 Etkileşimsiz durum için 3 katlı binada B zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



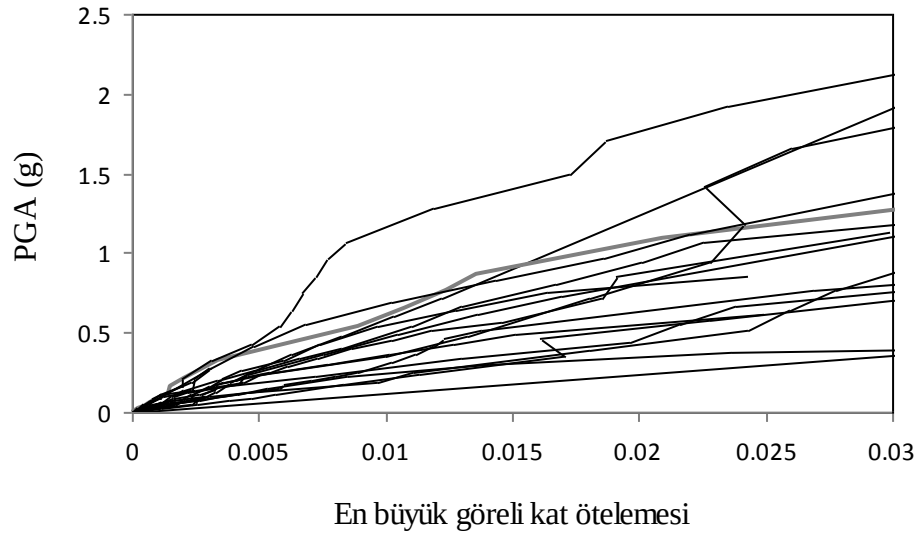
Şekil EK-F. 16 Etkileşimli durum için 3 katlı binada B zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



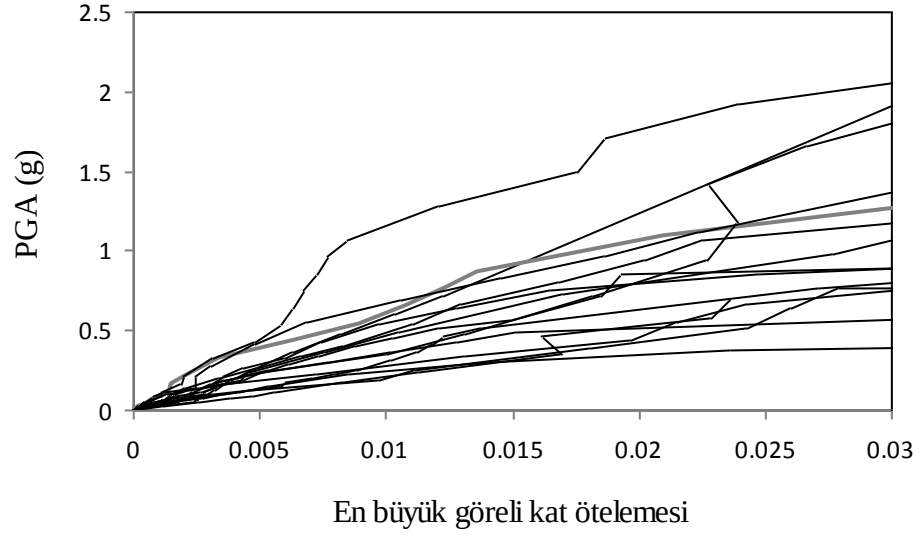
Şekil EK-F. 17 Etkileşimsiz durum için 6 katlı binada B zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



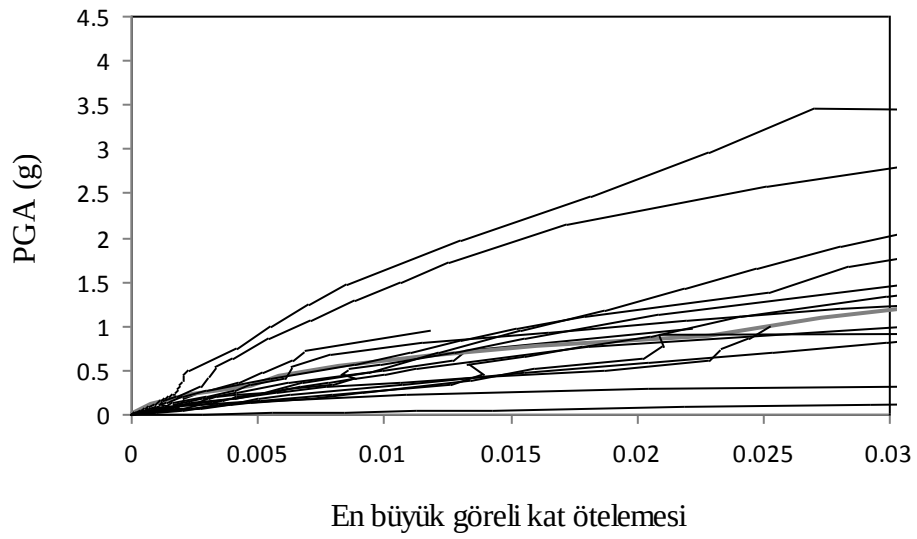
Şekil EK-F. 18 Etkileşimli durum için 6 katlı binada B zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



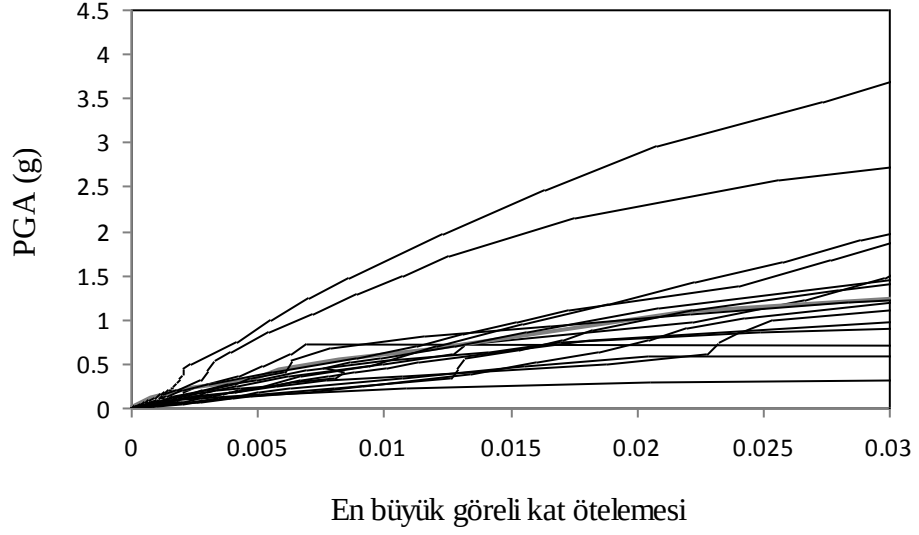
Şekil EK-F. 19 Etkileşimsiz durum için 9 katlı binada B zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



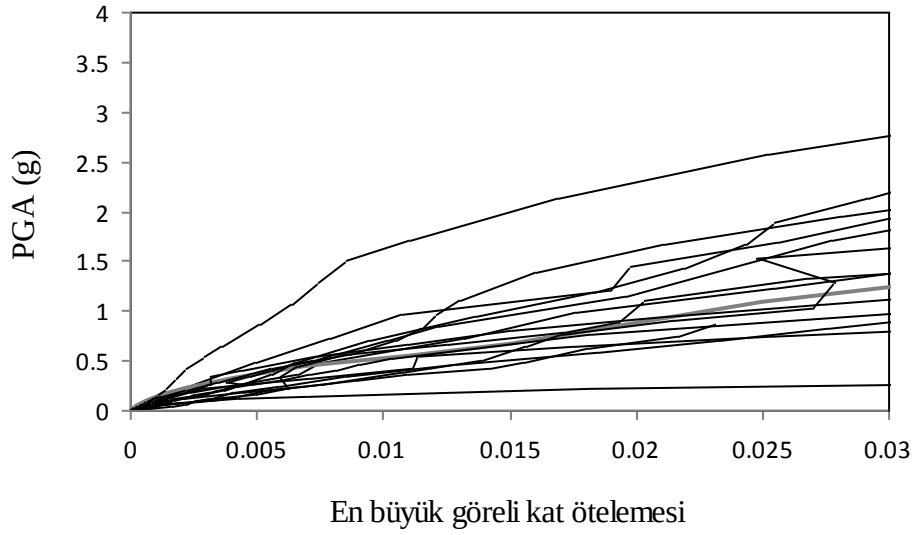
Şekil EK-F. 20 Etkileşimli durum için 9 katlı binada B zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artırsal dinamik çözümleme eğrileri



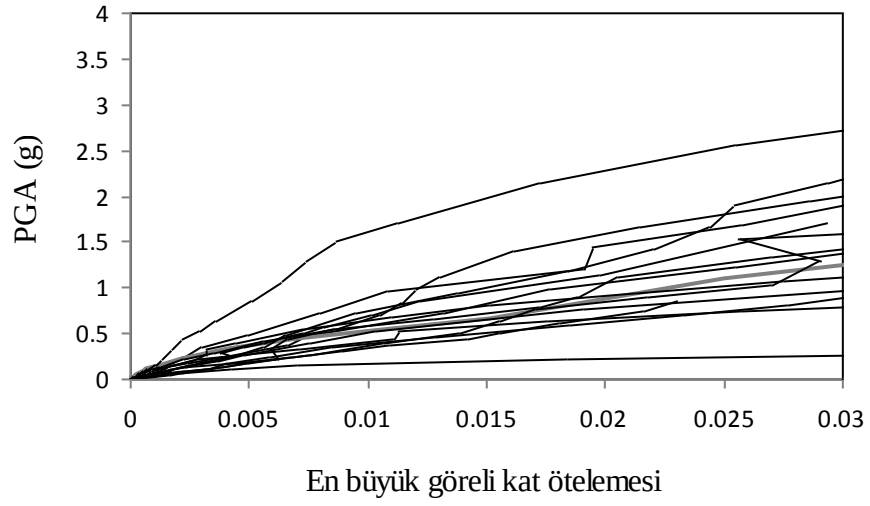
Şekil EK-F. 21 Etkileşimsiz durum için 12 katlı binada B zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artırsal dinamik çözümleme eğrileri



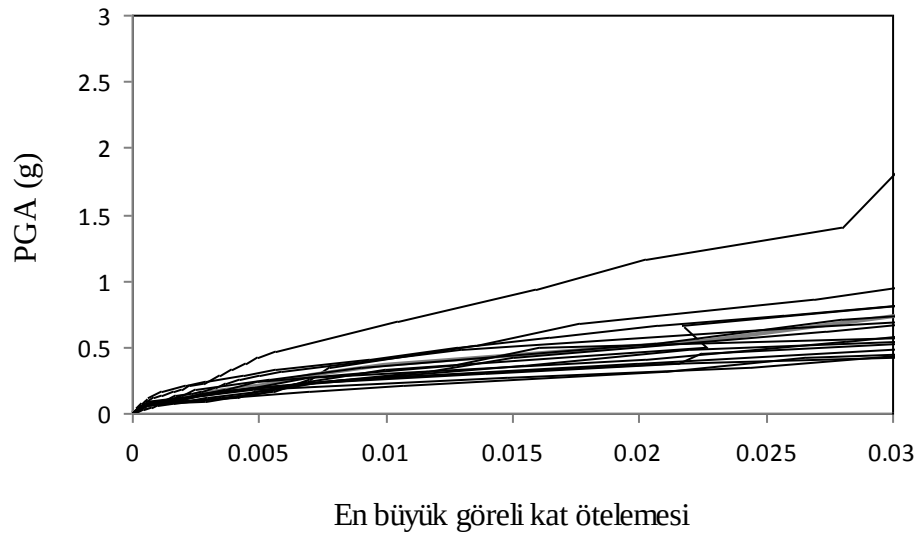
Şekil EK-F. 22 Etkileşimli durum için 12 katlı binada B zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



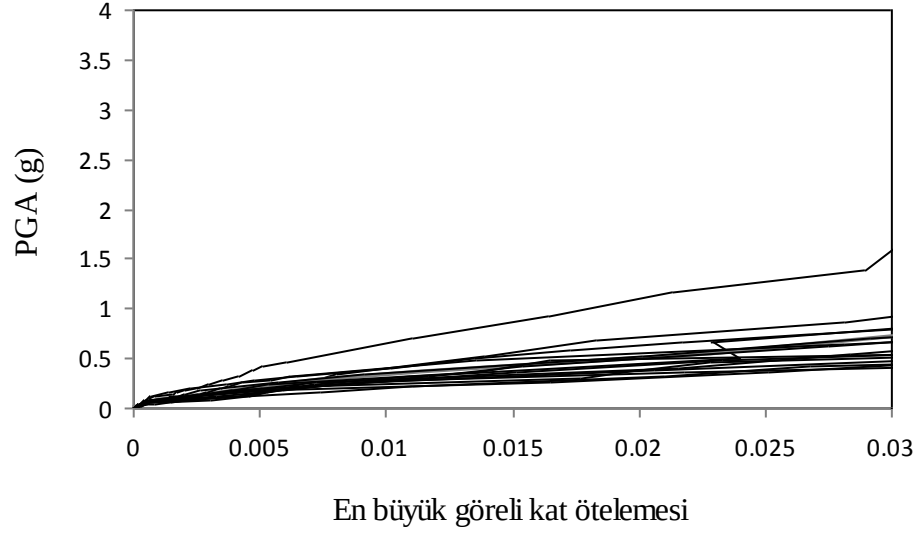
Şekil EK-F. 23 Etkileşimsiz durum için 15 katlı binada B zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



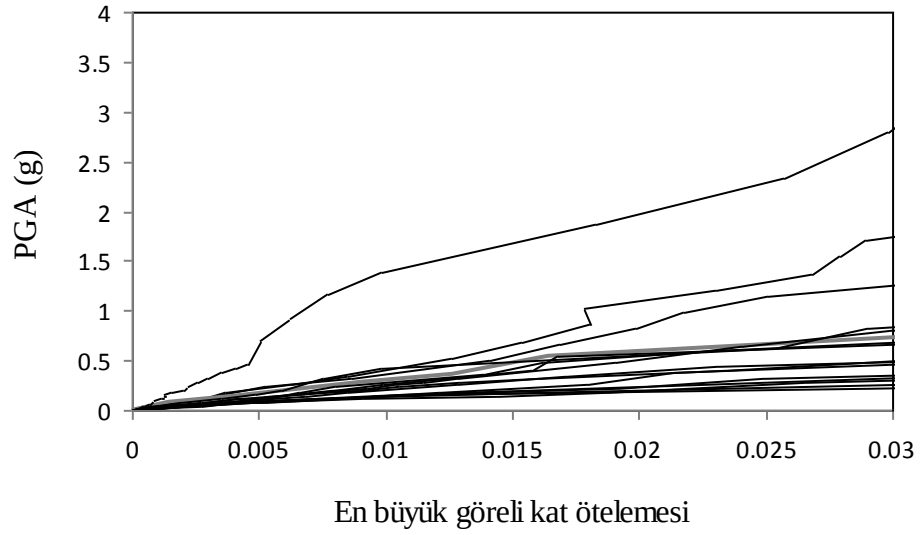
Şekil EK-F. 24 Etkileşimli durum için 15 katlı binada B zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



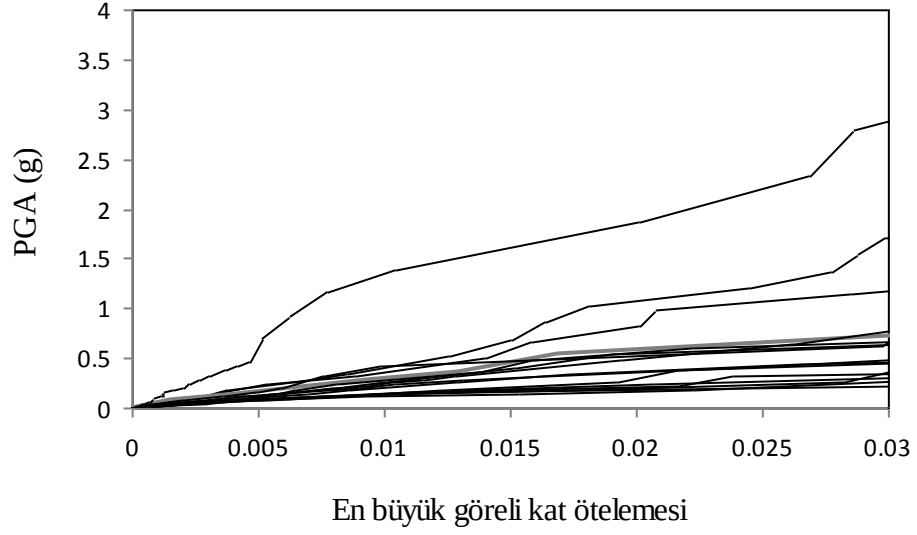
Şekil EK-F. 25 Etkileşimsiz durum için 1 katlı binada C zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



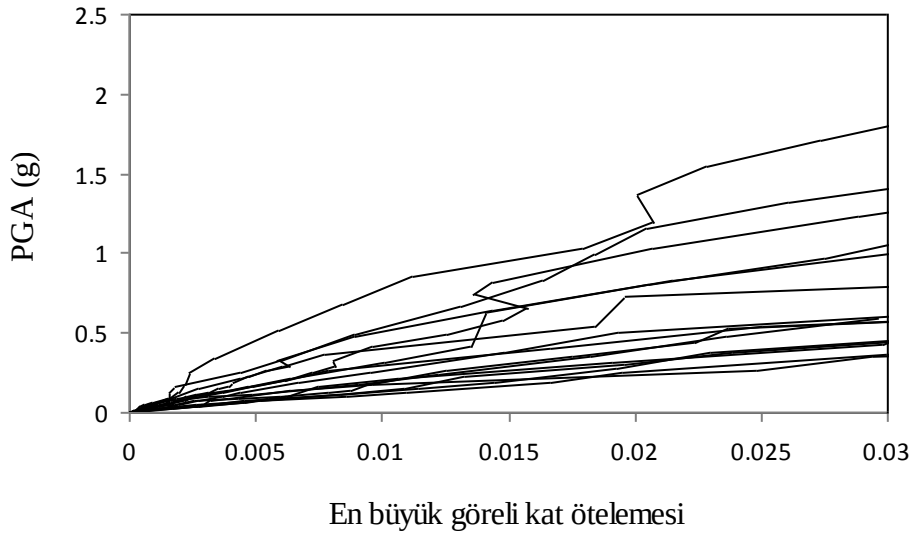
Şekil EK-F. 26 Etkileşimli durum için 1 katlı binada C zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



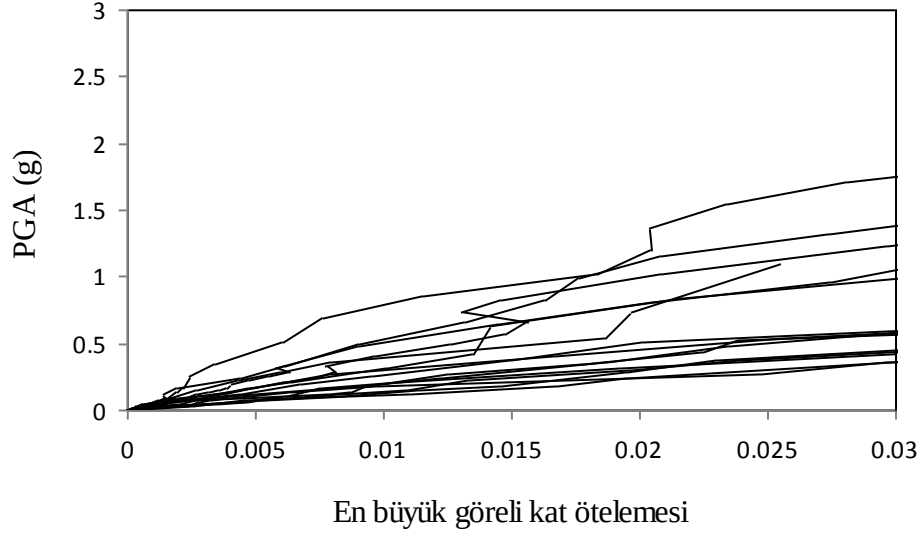
Şekil EK-F. 27 Etkileşimsiz durum için 3 katlı binada C zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



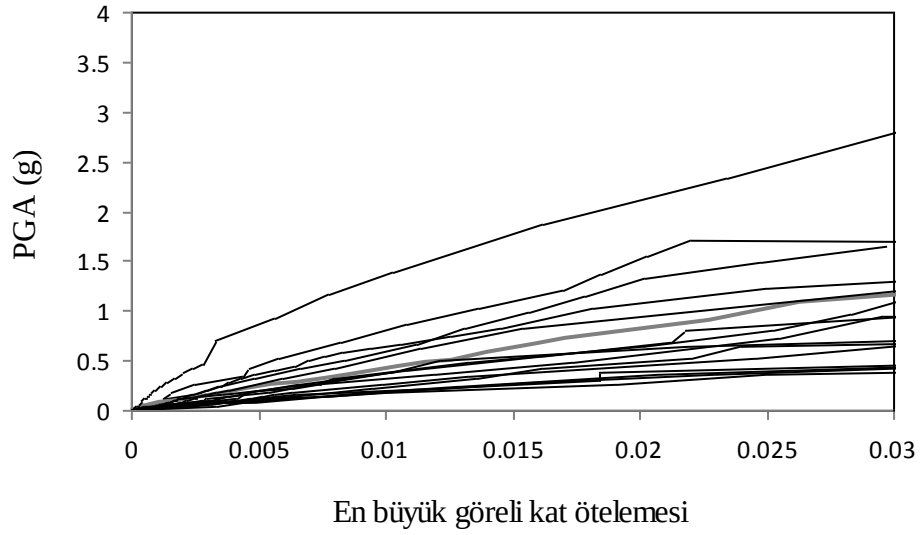
Şekil EK-F. 28 Etkileşimli durum için 3 katlı binada C zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



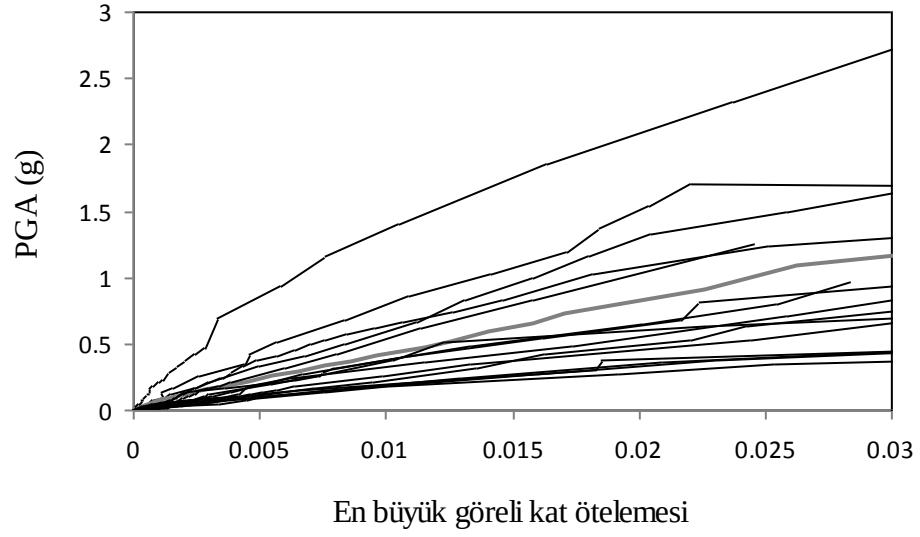
Şekil EK-F. 29 Etkileşimsiz durum için 6 katlı binada C zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



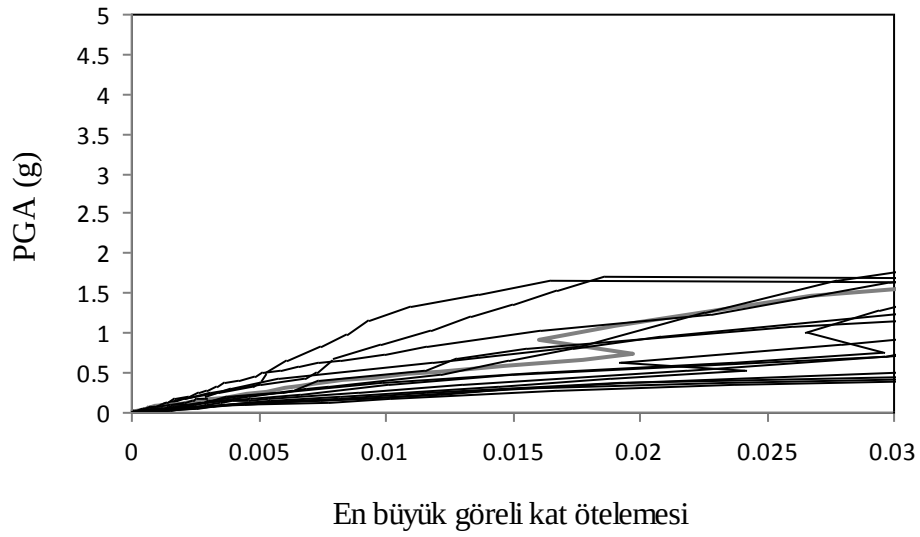
Şekil EK-F. 30 Etkileşimli durum için 6 katlı binada C zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



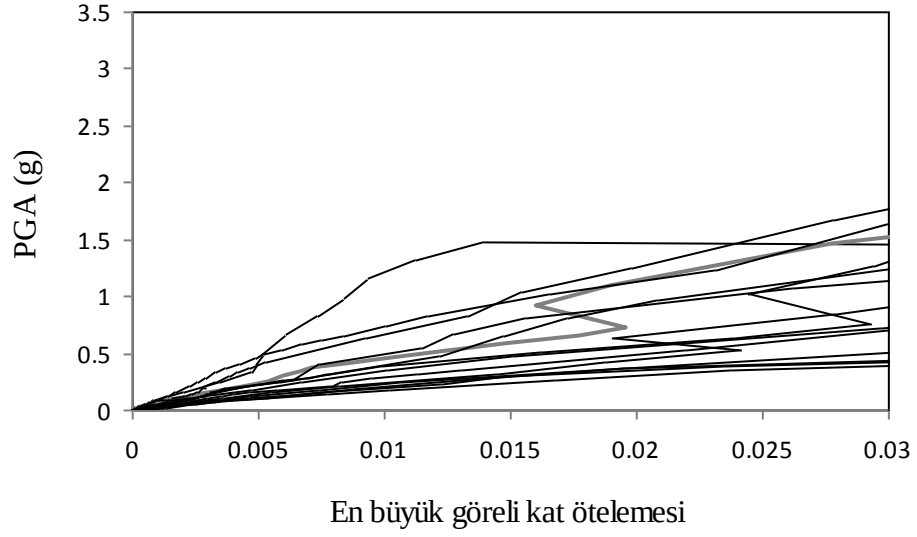
Şekil EK-F. 31 Etkileşimsiz durum için 9 katlı binada C zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



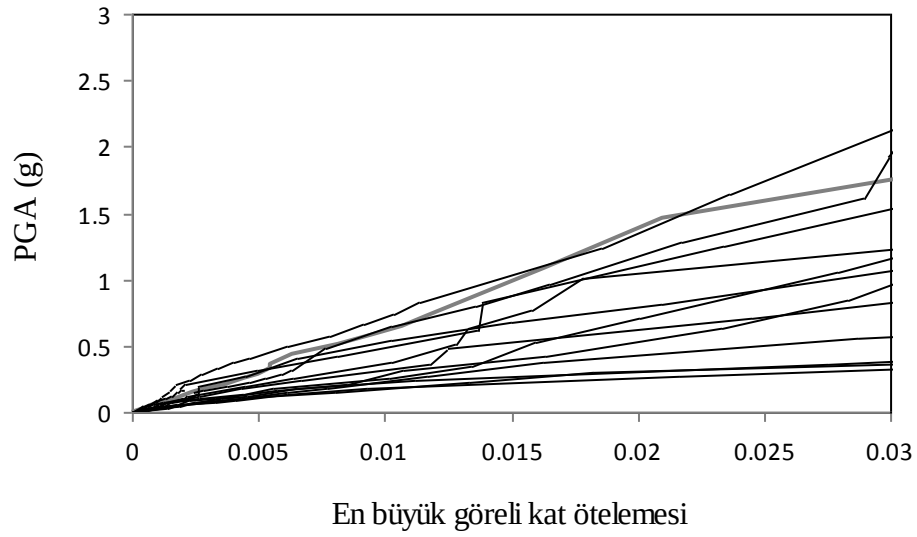
Şekil EK-F. 32 Etkileşimli durum için 9 katlı binada C zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artırsal dinamik çözümleme eğrileri



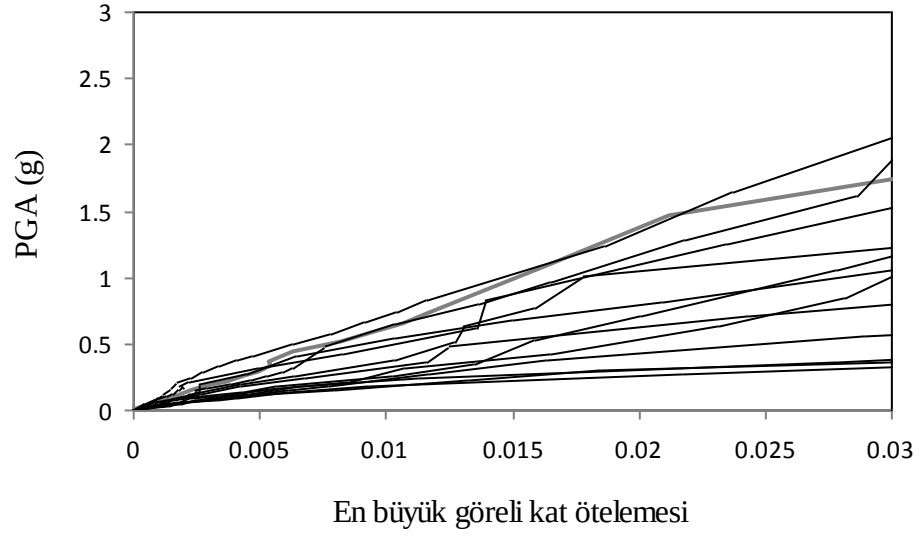
Şekil EK-F. 33 Etkileşimsiz durum için 12 katlı binada C zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artırsal dinamik çözümleme eğrileri



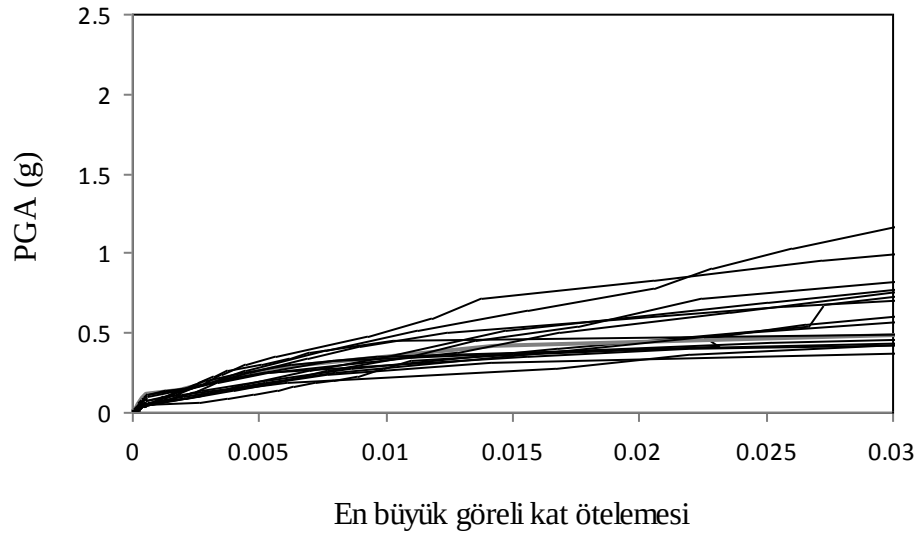
Şekil EK-F. 34 Etkileşimli durum için 12 katlı binada C zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



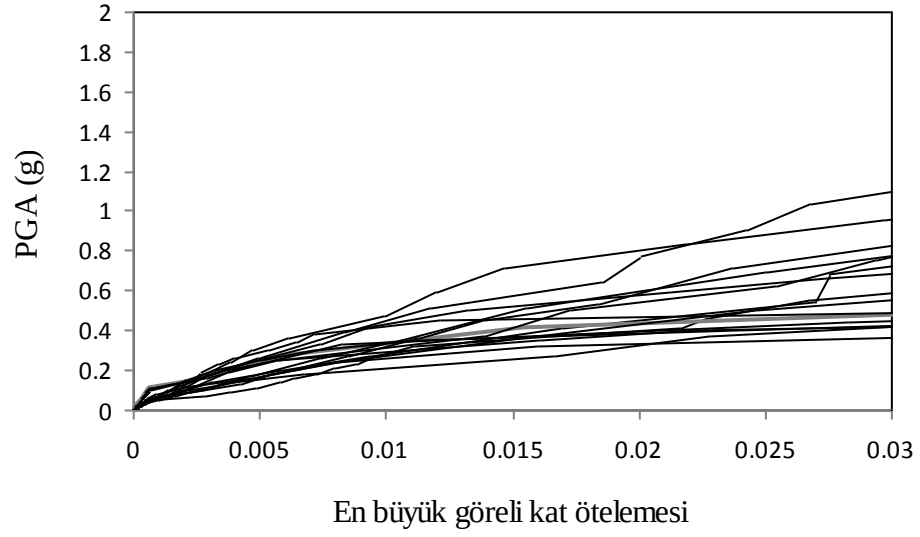
Şekil EK-F. 35 Etkileşimsiz durum için 15 katlı binada C zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



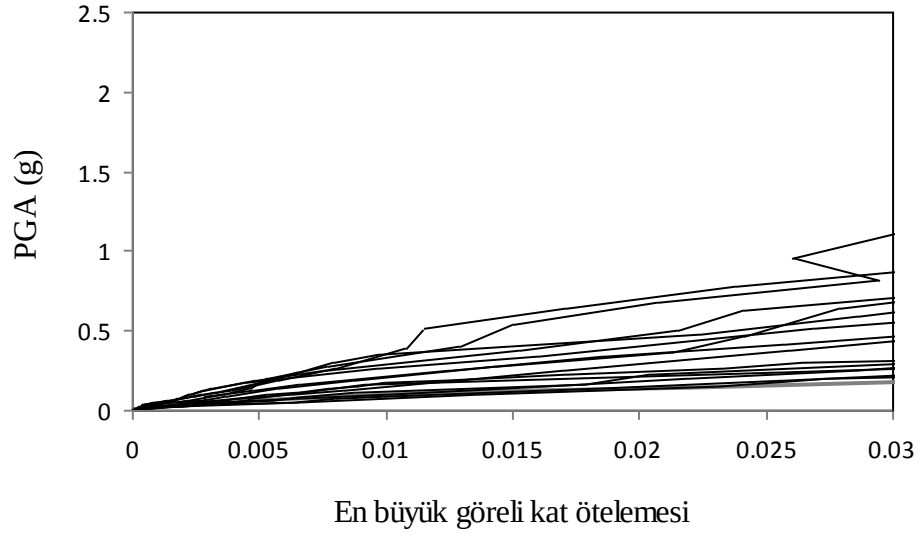
Şekil EK-F. 36 Etkileşimli durum için 15 katlı binada C zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



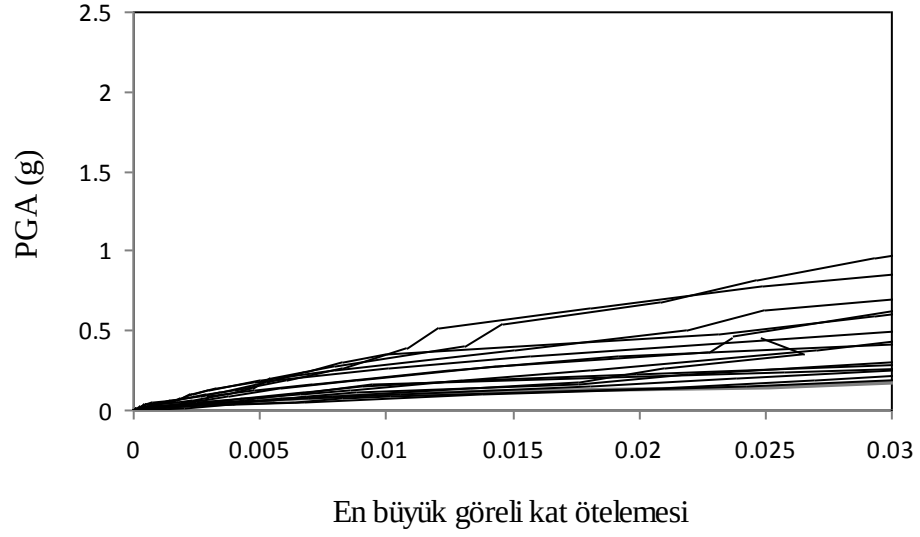
Şekil EK-F. 37 Etkileşimsiz durum için 1 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



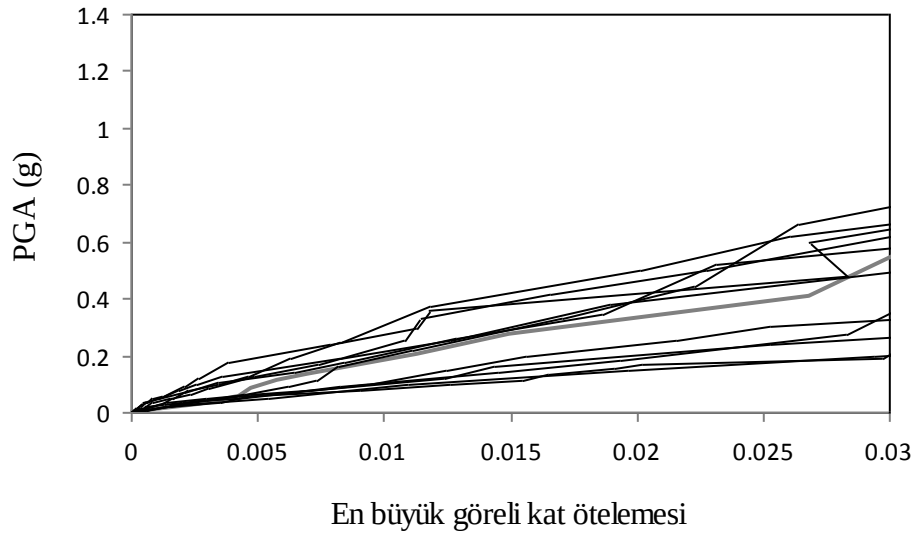
Şekil EK-F. 38 Etkileşimli durum için 1 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



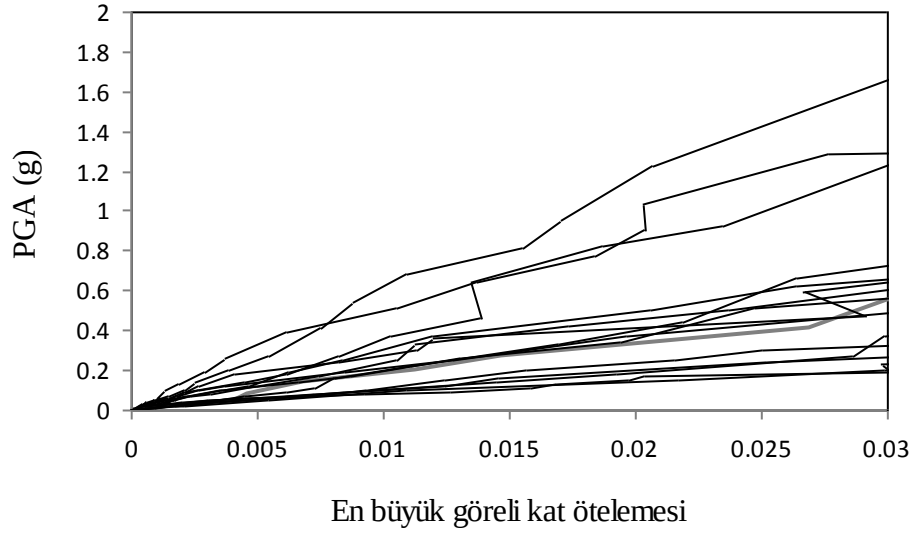
Şekil EK-F. 39 Etkileşimsiz durum için 3 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



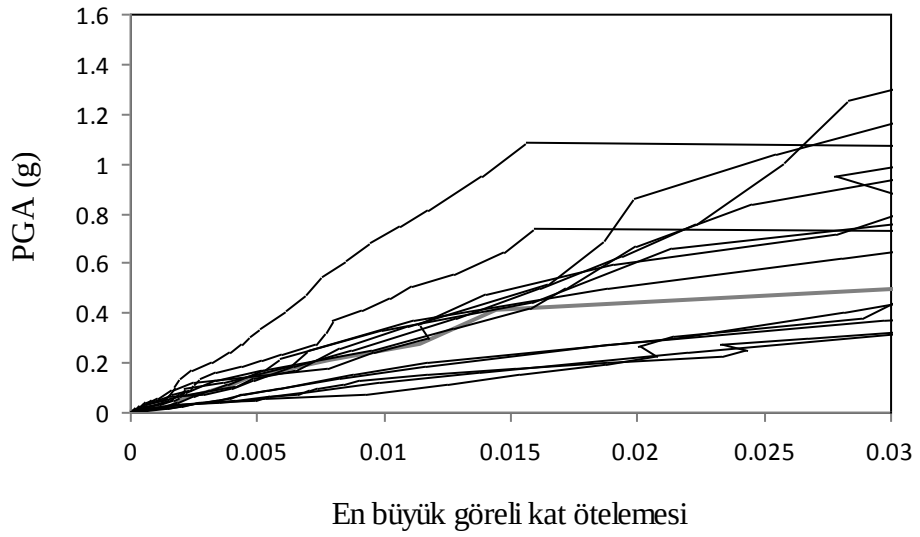
Şekil EK-F. 40 Etkileşimli durum için 3 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



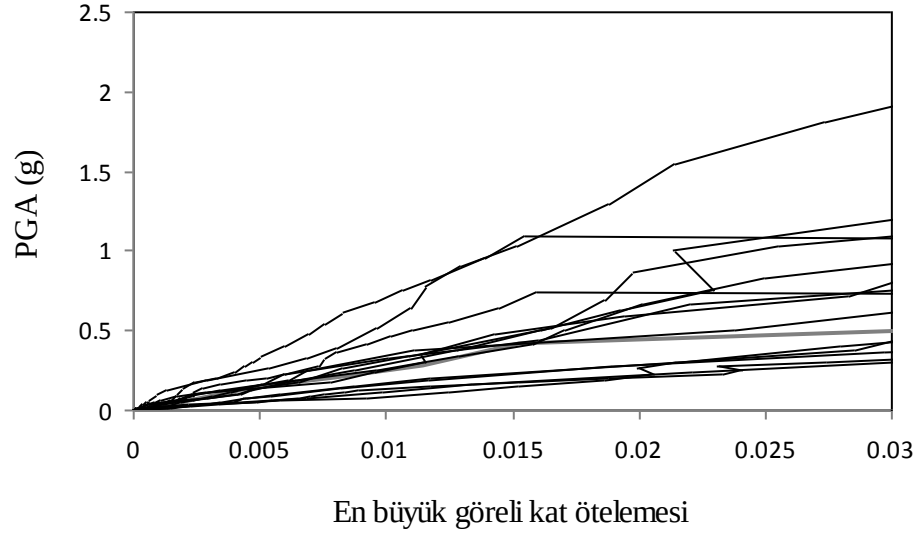
Şekil EK-F. 41 Etkileşimsiz durum için 6 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



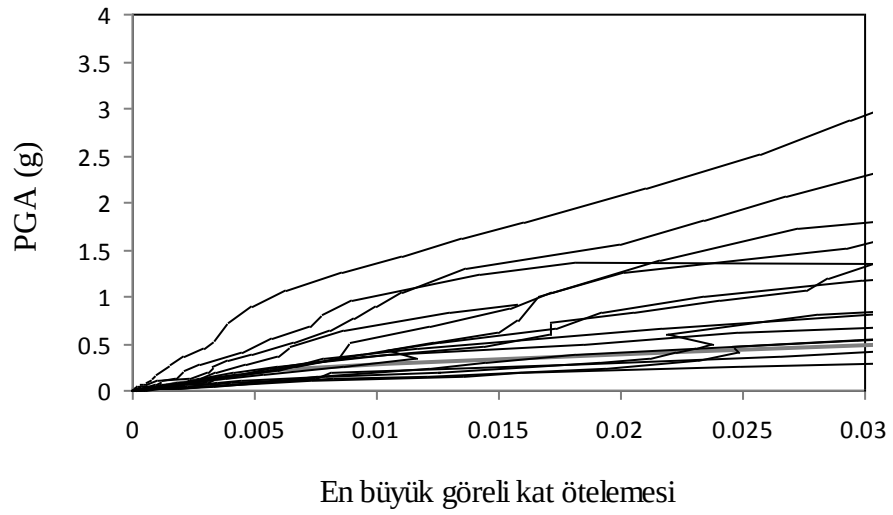
Şekil EK-F. 42 Etkileşimli durum için 6 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



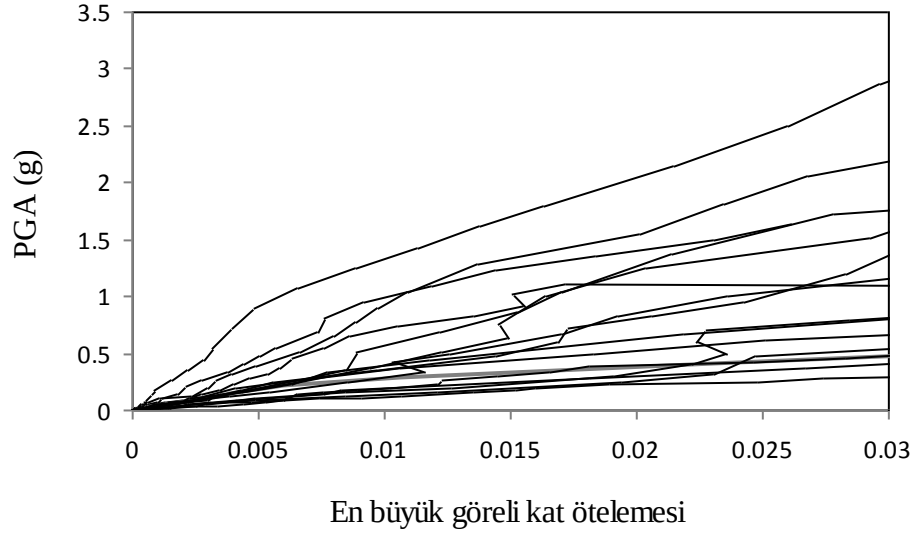
Şekil EK-F. 43 Etkileşimsiz durum için 9 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



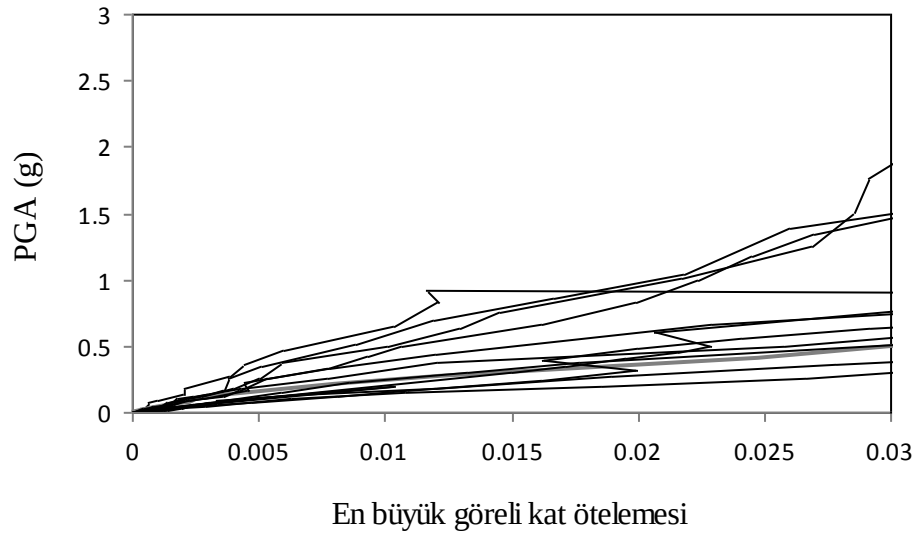
Şekil EK-F. 44 Etkileşimli durum için 9 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



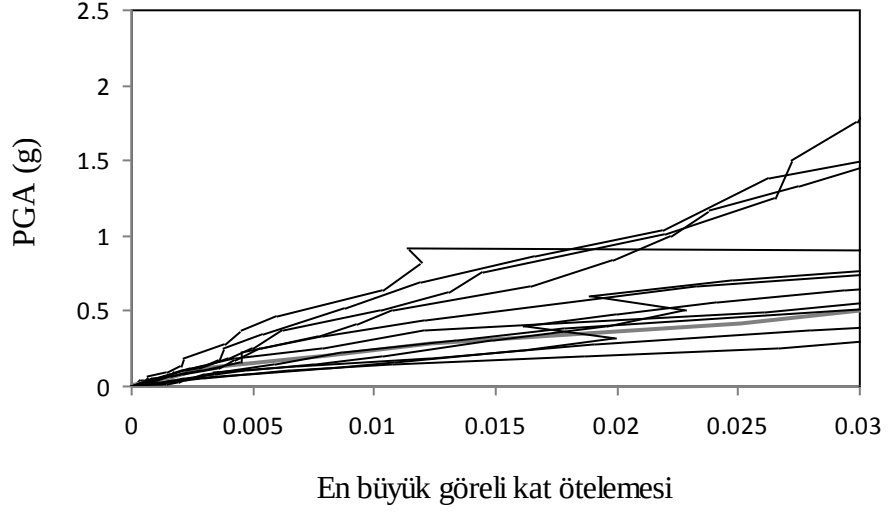
Şekil EK-F. 45 Etkileşimsiz durum için 12 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



Şekil EK-F. 46 Etkileşimli durum için 12 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



Şekil EK-F. 47 Etkileşimsiz durum için 15 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri



Şekil EK-F. 48 Etkileşimli durum için 15 katlı binada D zemin sınıfına ait deprem kayıtları için artımsal dinamik çözümleme eğrileri

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Müberra ESER AYDEMİR
Doğum Tarihi ve Yeri : 19.02.1981, İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : meser@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Yapı	YTÜ Fen Bilimleri	2004
Lisans	İnşaat Müh.	YTÜ	2002
Lise	Fen/Matematik	Kadir Has Lisesi	1998

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2002-devam ediyor	YTÜ/İnşaat Fakültesi	Araştırma görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. **Eser, M.,** Aydemir, C., ve Ekiz, İ., (2011) “Inelastic Displacement Ratios for Structures with Foundation Flexibility” KSCE Journal of Civil Engineering, 26 Nisan 2011 tarihinde kabul edildi).
2. **Eser, M.,** ve Aydemir, C., (2011) “The Effect of Soil-Structure Interaction on Inelastic Displacement Ratio of Structures” Structural Engineering and Mechanics, 39:(5),683-701.

Bildiri

1. Aydemir, C., Kırçıl, MS., **Eser, M.**, ve Zorbozan, M., “Critical Review of Code Provisions for Estimation of Probable Flexural Strength of R/C Beams”, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 3 – 8 September 2006, Geneva, Switzerland.
2. **Eser, M.**, “Local Site Effects and Seismic Amplification Phenomenon at Küçükçekmece, Istanbul”, Fourteenth European Conference on Earthquake Engineering, 30 August – 3 September 2010, Ohrid, Macedonia.
3. **Eser, M.**, Aydemir, C., ve Ekiz, İ., “Effects of Soil Structure Interaction on Strength Reduction Factors”, The Twelfth East – Asia Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-12), 26 – 28 January 2011, Hong Kong SAR, China.
4. **Eser, M.**, Aydemir, C., ve Ekiz, İ., “Soil Structure Interaction Effects on Response of Multistorey Structures”, Structural Engineering World Congress, 4 – 6 April 2011, Como, Italy.