

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

**DAYANIM VE RİJİTLİK AZALMALI YAPILARDA SİSMİK YERDEĞİŞTİRME
İSTEMİ**

MUZAFFER BÖREKÇİ

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

**DANIŞMAN
PROF. İBRAHİM EKİZ**

**EŞ DANIŞMAN
DOÇ. DR. MURAT SERDAR KIRÇIL**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAYANIM VE RİJİTLİK AZALMALI YAPILARDA SİSMİK YERDEĞİŞTİRME
İSTEMİ

Muzaffer BÖREKÇİ tarafından hazırlanan tez çalışması 21.01.2016 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

Eş Danışman

Doç. Dr. Murat Serdar KIRÇIL

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. İbrahim EKİZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Kadir GÜLER

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa ZORBOZAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bülent AKBAŞ

Gebze Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Güray ARSLAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Murat S. KIRÇIL

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Müberra AYDEMİR

İstanbul Aydın Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışmada desteğini, emeğini ve sabrını esirgemeyen tez hocam Prof. İbrahim EKİZ'e teşekkürlerimi borç bilirim. Bilgisini, tecrübesini ve sabrını hiçbir zaman esirgemeyen, her fırsatta motivasyonumu ve çalışma azmimi artıran, bu tezin olgunlaşması ve sonuçlanmasında katkıları çok büyük olan eş danışmanım Doç. Dr. Murat Serdar KIRÇIL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca, özellikle programlama konusunda takıldığım anlarda desteğini her zaman göstermiş olan, çalışma ve oda arkadaşım Dr. R. Secer O. KESKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma ve tez hayatım boyunca, her zaman yakınlık ve desteklerini gösteren ve bir aile gibi olduğumuz Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü ile özellikle Yapı Anabilim Dalı öğretim üyeleri ve çalışma arkadaşlarıma da teşekkürlerimi borç bilirim.

Hayat boyu yanımda olan, bu günlere gelebilmemi sağlayan ailem... Onlara olan minnettarlığım sonsuzdur.

Bu günlere gelebilmemde küçük veya büyük, her türlü katkısı olan, dostlarıma, yakınlarıma, arkadaşlarıma, hocalarıma ve aileme sonsuz teşekkürler...

Ocak, 2016

Muzaffer BÖREKÇİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	6
YÖNTEM VE DEPREMLER	6
2.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler.....	6
2.2 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap.....	7
2.3 Yer Hareketleri	11
BÖLÜM 3	
HİSTERETİK ÇEVİRİM MODELLERİ	17
3.1 İkili-Doğrusal (Bilineer) Çevrim Modeli.....	18
3.2 Azalmalı Histeretik Modeller	19
3.2.1 Clough ve Johnston Modeli	19
3.2.2 Takeda Modeli	21
3.2.3 Ramberg-Osgood Modeli	21
3.2.4 Kunnath vd. Azalmalı Modeli.....	23

3.2.5	Sivaselvan ve Reinhorn Modeli.....	23
3.2.6	Song ve Pincheira Modeli	23
3.2.7	Bouc – Wen Modeli ve Değiştirilmiş Versiyonları	24
3.2.8	Ibarra-Medina-Krawinkler Modeli (Dayanım ve Rijitlik Azalmalı Peak-Oriented Model)	28
3.2.8.1	Enerji Esaslı Çevrimsel Azalma (Dayanım ve Rijitlik Azalması).....	30
	Temel Dayanım Azalması	31
	Tepe Sonrası Dayanım Azalması	33
	Yük Boşalması Rijitliği Azalması	34
	Geri-yükleme Rijitliği Azalması	35
3.2.8.2	Çevrimsel Azalma	35
3.3	Çalışmada Kullanılan Histeretik Model ve Parametreler	36
3.3.1	İkili-Doğrusal Çevrim ve Parametreleri.....	37
3.3.2	Azalmalı Pike Yönelik (Ibarra-Medina-Krawinkler) Model Parametreleri	38

BÖLÜM 4

GÖÇME.....	46
4.1 Toptan Göçme Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	47
4.1.1 Göçme üzerine yapılmış deneysel çalışmalar.....	47
4.1.2 Göçme üzerine yapılmış analitik çalışmalar	47
4.2 Dinamik İstabilite Dolayısıyla Göçme	53
4.3 Yöntem.....	55
4.4 Göçme Periyodu (T_{col})	57
4.4.1 Akma – sonrası rijitliğinin T_{col} üzerine etkisi.....	58
4.4.2 Zemin sınıfının T_{col} üzerine etkisi.....	58
4.4.3 Azalma parametresi γ 'nın T_{col} üzerine etkisi	61
4.4.4 Süneklik kapasitesi u_c/u_y 'nin T_{col} üzerine etkisi	61
4.4.5 Tepe-sonrası eğimi α_c 'nin T_{col} üzerine etkisi.....	61
4.5 Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi	61

BÖLÜM 5

ELASTİK ÖTESİ YERDEĞİŞTİRME SABİTİ (C_R)	66
5.1 Elastik Ötesi Yerdeğiştirme İstemi için Bazı Yönetmeliklerde Önerilen Yöntemler	67
5.1.1 Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC 40)	67
5.1.2 Katsayılar Yöntemi (FEMA)	69
5.1.3 DBYBHY 2007'ye göre Elastik Ötesi Yerdeğiştirme İstemi.....	71
5.2 Elastik Ötesi Yerdeğiştirme Sabiti (C_R)	73
5.2.1 İkili-doğrusal Çevrim Modeli için Elastik Ötesi Yerdeğiştirme Oranı (C_R)	79
5.2.1.1 İkili-doğrusal davranışta zemin sınıfının C_R üzerine etkisi.....	82
5.2.1.2 İkili-doğrusal davranışta akma sonrası eğiminin C_R üzerine etkisi.	82
5.2.2 Azalmalı Clough Model (Peak-Oriented) için C_R	87
5.2.2.1 Akma sonrası eğiminin (α_s) C_R üzerine etkisi	91

5.2.2.2	Zemin sınıfının C_R üzerine etkisi	95
5.2.2.3	Azalma Parametrelerinin C_R Üzerine Etkisi	103
	γ Azalma Hızının C_R Üzerine Etkisi	103
	u_c/u_y Süneklik Kapasitesinin C_R Üzerine Etkisi	105
	α_c Tepe-Sonrası Eğimi Oranının C_R Üzerine Etkisi	106
	Azalma Kombinasyonlarının C_R Üzerine Etkisi	106
5.2.2.4	Azalmalı Peak-Oriented ve İkili Doğrusal Modellerin C_R Sabitlerinin Karşılaştırılması	108
5.2.2.5	Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi	111
5.3	Önerilen Bağıntının Mevcut Yaklaşımlarla Karşılaştırılması	115
5.3.1	Literatürde Önerilen Bağıntılar	115
5.3.2	Önerilen Bağıntının Mevcut Bağıntılar İle Karşılaştırılması	119
BÖLÜM 6		
ÖNERİLEN BAĞINTININ UYGULAMASI		122
6.1	3 Katlı Süneklik Düzeyi Düşük Bir Betonarme Yapının Elastik Ötesi Yerdeğiştirme İstemi	123
6.1.1	Bina ve Özellikleri	123
6.1.2	Elastik ötesi yerdeğiştirme istemi	126
6.2	3 Katlı Süneklik Düzeyi Normal Bir Betonarme Yapının Elastik Ötesi Yerdeğiştirme İstemi	132
6.3	4 Katlı ve Süneklik Düzeyi Yüksek Bir Betonarme Yapının Elastik Ötesi Yerdeğiştirme İstemi	137
6.3.1	Bina ve Özellikleri	137
6.3.1.1	A Zemin Sınıfı İçin C_R	139
6.3.1.2	C Zemin Sınıfı İçin C_R	141
BÖLÜM 7		
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		145
7.1	T_{col} İçin Elde Edilen Sonuçlar	146
7.2	C_R İçin Elde Edilen Sonuçlar	147
7.2.1	İkili-Doğrusal Çevrim Modeli İçin Sonuçlar	148
7.2.2	Azalmalı Pike-Yönelik Model İçin Sonuçlar	149
7.3	Öneriler	150
KAYNAKLAR		151
EK-A		
HER ZEMİN SINIFI İÇİN T_{col} GRAFİKLERİ		160
EK-B		
$\gamma = 50$ VE $\gamma = 150$ İÇİN T_{col} SAÇILMA GRAFİKLERİ		172
EK-C		

AZALMALI MODELDE $\alpha_S = \%3$ VE $\%5$ İÇİN C_R GRAFİKLERİ	174
EK-D	
γ AZALMA PARAMETRESİNİN C_R ÜZERİNE ETKİSİ	180
ÖZGEÇMİŞ	187

SİMGE LİSTESİ

A	Sözde ivme
A_0	Etkin yer ivmesi katsayısı
c	Sönüm
c'	Dayanım ve rijitlik azalmasının hızını belirleyen parametre
C_0	FEMA P440a'da spektral yerdeğiştirmeyi tepe yerdeğiştirmesine çeviren katsayı
C_1	FEMA'da elastik ve elastik ötesi yerdeğiştirmeler arasındaki oran
C_2	Rijitlik azlaması ve çevrimsel dayanım azalmasını dikkate alan katsayı
C_m	FEMA 440'ta yüksek modların etkisini dikkate alan bir katsayı
C_R	Sabit dayanımlı sistemlerde elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti
C_μ	Sabit süneklikli sistemlerde elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti
D	Sözde spektral yerdeğiştirme
$d_1^{(p)}$	x doğrultusundaki spektral yerdeğiştirme istemi
E_i	i. yarı çevrimde sönümlenen histeretik enerji
E_t	Referans histeretik enerji sönüm kapasitesi
f	Dayanım
f_e	Elastik dayanım
f_y	Akma dayanımı
f_r	Artık dayanım
$f_s(u, \dot{u})$	Yapıya geçen kuvvet
I	Bina önem katsayısı
K_e	Başlangıç rijitliği
K_c	Tepe sonrası rijitliği
K_{ger}	Geri yükleme rijitliği

K_s	Akma sonrası rijitliği
M	Magnitüd
m	Kütle
$p(t)$	Zaman bağılı dış kuvvetin t anındaki değeri
R_{rup}	Deprem kayıt istasyonunun fay kırılma yüzeyine dik uzaklığı
R_y	Dayanım azaltma katsayısı
$S(T)$	Spektrum katsayısı
S_{di}	Elastik ötesi spektral yerdeğiştirme
S_{de}	Elastik spektral yerdeğiştirme
T	Periyot
T_{col}	Göçme periyodu
T_g	Yer hareketinin hâkim periyodu
T_n	Sönümsüz sistemin periyodu
T_s	Karakteristik periyot
t_i	i . andaki zaman
t_{i+1}	$i+1$ anındaki zaman
u	Yerdeğiştirme
u_c	tepe noktası yerdeğiştirmesi
u_e	Elastik yerdeğiştirme
u_N	Tepe noktası yerdeğiştirmesi
u_r	Artık dayanım anındaki yerdeğiştirme
u_y	Akma yerdeğiştirmesi
$\dot{u}$	Hız
$\ddot{u}$	İvme
$\ddot{u}_g(t)$	t anındaki yer ivmesi
V_b	Taban kesme kuvveti
x_1	Göçme periyodu formülünde bir sabit
x_2	Göçme periyodu formülünde bir sabit
x_3	Göçme periyodu formülünde bir sabit
x_4	Göçme periyodu formülünde bir sabit
α	Newmark Yöntemi'nde kullanılan sabitlerden bir tanesi
α_c	Tepe sonrası rijitliği oranı
α_s	Akma sonrası rijitliği oranı

β	Newmark Yöntemi'nde kullanılan sabitlerden bir tanesi
$\beta_{a,i}$	Geri yükleme rijitliği azalmasında i. yarı çevrimde sönümlenen histeretik enerji oranı
$\beta_{c,i}$	Tepe sonrası dayanım azalmasında i. yarı çevrimde sönümlenen histeretik enerji oranı
$\beta_{k,i}$	Yük boşalması rijitliği azalmasında azalmasında i. yarı çevrimde sönümlenen histeretik enerji oranı
β_i	i. yarı çevrimde sönümlenen histeretik enerji oranı
$\beta_{s,i}$	Temel dayanım azalmasında i. yarı çevrimde sönümlenen histeretik enerji oranı
Γ_1	Hakim moda ait modal katılım çarpanı
Γ_{x1}	x doğrultusundaki hâkim moda ait modal katılım çarpanı
γ	Akmadaki elastik şekil değiştirme enerjisinin iki katının bir fonksiyonu olarak histeretik enerji sönüm kapasitesi katsayısı
γ_a	Geri yükleme rijitliği azalması için histeretik enerji sönüm kapasitesi katsayısı
γ_c	Tepe sonrası dayanım azalması için histeretik enerji sönüm kapasitesi katsayısı
γ_k	Yük boşalması rijitliği azalması için histeretik enerji sönüm kapasitesi katsayısı
γ_s	Temel dayanım azalması için histeretik enerji sönüm kapasitesi katsayısı
λ	Artık dayanım katsayısı
μ	Süneklik
ϕ_{N1}	Hakim moda ait tepe noktası genliği
ϕ_{xN1}	x doğrultusundaki hâkim moda ait tepe noktası genliği
ω	Açısal hız
Δt	Zaman artımı
Δt_i	i. andaki zaman farkı
Δu	Yerdeğiştirme artımı
$\sum_{j=1}^i E_j$	Pozitif ve negatif taraflarda daha önceki tüm yarı çevrimlerde, yükleme boyunca sönümlenen histeretik enerjilerin toplamı

KISALTMA LİSTESİ

ACI	American Concrete Institute
ADA	Artımsal Dinamik Analiz
ATC	Applied Technology Council
ÇSD	Çok Serbestlik Dereceli
DBYBHY	Deprem Bölgelerin Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEMA	Federal Emergency Management Agency
PEER	Pacific Earthquake Engineering Research Center
TSD	Tek Serbestlik Dereceli
USGS	United States Geological Survey
ZTADOH	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Deprem hareketi altında TSD sistem	7
Şekil 2.2 Sabit ortalama ivme yöntemi [12]	8
Şekil 2.3 Doğrusal ivme yöntemi [12]	9
Şekil 2.4 Sekant rijitliği yerine tanjant rijitliği kullanılmasından kaynaklanan hata [12]	10
Şekil 2.5 Newton-Raphson Ardışık Yaklaşım Yöntemi [12]	10
Şekil 2.6 Çalışmada kullanılan yer hareketi kayıtlarının %5sönüm için elastik ivme spektrumları	16
Şekil 3.1 İkili-doğrusal çevrim iskelet eğrisi	19
Şekil 3.2 Orijinal Clough ve Johnston Modeli [22]	20
Şekil 3.3 Değiştirilmiş Clough ve Johnston Modeli [22]	20
Şekil 3.4 Sucuoğlu ve Erberik tarafından önerilen histeretik model [26]	21
Şekil 3.5 Takeda histeretik modeli [22]	22
Şekil 3.6 Ramberg-Osgood Model [28]	22
Şekil 3.7 Song ve Pincheira modeli [28]	25
Şekil 3.8 Bouc-Wen Model (histeretik kuvvetten doğrusal kuvvetin ayrılması) [46]	26
Şekil 3.9 Bouc-Wen Model [46]	27
Şekil 3.10 Baber ve Noori Modelde histeretik sıkışma etkisi [46]	27
Şekil 3.11 BWBN model ile edilmiş bazı histeretik çevrim örnekleri [46]	28
Şekil 3.12 Pike-Yönelik histeretik model için iskelet eğrisi [5]	29
Şekil 3.13 Pike-Yönelik histeretik modelin temel çevrim eğrisi [5]	30
Şekil 3.14 Pike-Yönelik model üzerinde temel dayanım azalması [5]	32
Şekil 3.15 Pike-Yönelik model üzerinde tepe-sonrası dayanım azalması [5]	33
Şekil 3.16 Pike-Yönelik model üzerinde yük boşalması rijitliği azalması [5]	34
Şekil 3.17 Pike-Yönelik model üzerinde geri-yükleme rijitliği azalması [5]	35
Şekil 3.18 Dört adet azalma modunun aynı anda gerçekleşmesi sonucu oluşan çevrimsel azalma [5]	36
Şekil 3.19 Kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerine örnekler ($T = 1.0$ sn, $R_y = 4$ ve $\alpha_s = \%3$)	38
Şekil 3.20 San Fernando (1971) depremi için bazı çevrim eğrilerine örnekler	41
Şekil 3.21 CUREE standart yükleme protokolü [52]	41
Şekil 3.22 CUREE standart yükleme protokolü için bazı çevrim eğrilerine örnekler	42
Şekil 3.23 Dayanım azalması tipleri [21]	43
Şekil 4.1 Dinamik instabiliteye bir örnek [21]	54
Şekil 4.2 Göçmenin gerçekleştiği çevrimsel azalmalı histeretik davranışa bir örnek	56

Şekil 4.3 Göçme potansiyelinin dikkate alındığı C_R grafiğine bir örnek	57
Şekil 4.4 Tüm zemin sınıfları için farklı azalma kombinasyonlarında T_{col}	59
Şekil 4.5 Farklı akma – sonrası eğimleri için T_{col}	60
Şekil 4.6 Tüm zemin sınıfları ve her bir zemin sınıfı için elde edilen T_{col} farkları	60
Şekil 4.7 $\gamma = 100$ (Orta azalma hızı) için T_{col} saçılma grafikleri	65
Şekil 5.1 Kapasite Spektrumu Yöntemine göre elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi [1]	68
Şekil 5.2 FEMA'ya göre idealize edilmiş itme eğrisi [2]	69
Şekil 5.3 $T_1^{(1)} > T_B$ durumunda elastik ötesi yerdeğiştirme hesabı [3]	71
Şekil 5.4 $T_1^{(1)} < T_B$ durumunda elastik ötesi yerdeğiştirme hesabı [3]	73
Şekil 5.5 Rijitlik azalmalı ve azalmasız elastoplastik sistemlerin elastik ötesi yerdeğiştirmeleri arasındaki oran [105]	76
Şekil 5.6 Azalmasız ikili-doğrusal çevrim modeli için elde edilen C_R sabitleri	81
Şekil 5.7 Azalmasız ikili-doğrusal çevrim modeli için tüm zemin sınıflarının C_R sabiti ile her bir zemin sınıfı için bulunmuş C_R sabiti oranları	84
Şekil 5.8 Azalmasız ikili-doğrusal çevrim modeli için tüm zemin sınıflarının C_R sabiti ile her bir zemin sınıfı için bulunmuş C_R sabiti oranları	86
Şekil 5.9 Azalmalı Pike-Yönelik modelde $\alpha_s = \%0$ ve tüm kayıtlar için C_R sabitleri	88
Şekil 5.10 Azalmalı Pike-Yönelik modelde $\alpha_s = \%0$ ve tüm kayıtlar için C_R sabitleri (farklı R_y 'ler için)	90
Şekil 5.11 Azalmalı Pike-Yönelik modelde $\alpha_s = \%0$ ve $\alpha_s = \%3$ C_R oranları	92
Şekil 5.12 Azalmalı Pike-Yönelik modelde $\alpha_s = \%0$ ve $\alpha_s = \%5$ C_R oranları	94
Şekil 5.13 Azalmalı modelde tüm kayıtların C_R sabitlerinin A zemin sınıfı C_R sabitlerine oranı	96
Şekil 5.14 Azalmalı modelde tüm kayıtların C_R sabitlerinin B zemin sınıfı C_R sabitlerine oranı	98
Şekil 5.15 Azalmalı modelde tüm kayıtların C_R sabitlerinin C zemin sınıfı C_R sabitlerine oranı	100
Şekil 5.16 Azalmalı modelde tüm kayıtların C_R sabitlerinin D zemin sınıfı C_R sabitlerine oranı	102
Şekil 5.17 $u_c/u_y = 4$ ve $\alpha_c = -0.14$ için dayanım azalmasız ($\gamma = \infty$) sistemler ve farklı azalma hızları için elde edilen C_R sabitlerinin oranı	104
Şekil 5.18 u_c/u_y oranının C_R sabiti üzerine etkisi	105
Şekil 5.19 α_c oranının C_R sabiti üzerine etkisi	107
Şekil 5.20 Bütün azalma durumları ve ikili doğrusal modelde tüm kayıtlar için C_R ortalamaları	109
Şekil 5.21 Azalmalı Pike-Yönelik ve ikili doğrusal modelde tüm kayıtlar için C_R ortalamaları	110
Şekil 5.22 Azalmalı modelde ZTADOH ve önerilen bağıntı ile elde edilen C_R sabitleri (tüm kayıtların ortalaması için)	113
Şekil 5.23 C_R için önerilen bağıntının saçılma grafikleri	114
Şekil 5.24 Newmark – Hall yöntemiyle elde edilen C_R sabitleri	115
Şekil 5.25 Nassar ve Krawinkler'in [108]'de C_R sabitleri	116
Şekil 5.26 Vidic vd. tarafından [110]'da önerilen bağıntı ile C_R sabitleri	117
Şekil 5.27 Aydınoğlu ve Kaçmaz tarafından [113]'te önerilen bağıntı ile C_R sabitleri	117

Şekil 5.28 Chopra ve Chintanapakdee tarafından [114]'te önerilen bağıntı ile C_R sabitleri	119
Şekil 5.29 FEMA 356'da önerilen C_R bağıntısının grafikleri.....	120
Şekil 5.30 Önerilen bağıntının, literatürde mevcut C_R bağıntılarıyla karşılaştırılması ..	121
Şekil 6.1 Üç katlı betonarme binanın kat planı	124
Şekil 6.2 Binanın 3 boyutlu SAP2000 görüntüsü.....	125
Şekil 6.3 Tasarım ivme spektrumu (DBYBHY 2007)	127
Şekil 6.4 Dört katlı betonarme binanın kat planı	137
Şekil A.1 A zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri.....	160
Şekil A.2 B zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri	163
Şekil A.3 C zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri	166
Şekil A.4 D zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri.....	169
Şekil B.1 Hızlı azalmalı ($\gamma = 50$) ve yavaş azalmalı ($\gamma = 150$) sistemlerde her zemin sınıfı için T_{col} saçılma grafikleri.....	172
Şekil C.1 Azalmalı modelde $\alpha_s = \%3$ ve tüm zemin sınıflarının ortalaması için bulunan C_R sabitleri	174
Şekil C.2 Azalmalı modelde $\alpha_s = \%5$ ve tüm zemin sınıflarının ortalaması için bulunan C_R sabitleri	177
Şekil D.1 Azalmalı modelde γ parametresinin C_R üzerine etkisi	180

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Newton-Raphson Ardışık Yaklaşım Yöntemi için akış şeması [12].....	11
Çizelge 2.2 Çalışmada kullanılan yer hareketi ivme kayıtları [16].....	13
Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan azalma kombinasyonları.....	44
Çizelge 4.1 Regresyon çözümlerinde dikkate alınan azalma kombinasyonları.....	62
Çizelge 4.2 (4.1) eşitliğinde verilen denklemin katsayıları.....	64
Çizelge 5.1 Bu çalışmada C_R için önerilen (5.16) bağıntısının katsayıları.....	112
Çizelge 6.1 Üç katlı binanın kolon boyutları.....	125
Çizelge 6.2 Dört katlı binanın kolon boyutları.....	138

DAYANIM VE RİJİTLİK AZALMALI YAPILARDA SİSMİK YERDEĞİŞTİRME İSTEMİ

Muzaffer BÖREKÇİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. İbrahim EKİZ

Eş Danışman: Doç. Dr. Murat Serdar KIRÇIL

Şiddetli depremler yapılarda büyük hasarlara, hatta göçmelere sebep olabilmektedir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, yapılarda deprem dolayısıyla oluşan hasarlar depremin yapıda sebep olduğu yerdeğıştirmelerden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden, günümüz depreme dayanıklı yapı tasarımı anlayışında, kuvvet esaslı tasarım yerine yerdeğıştirme esaslı tasarım tercih edilmeye başlanmıştır. Performansa dayalı tasarımın doğrusal olmayan tasarım kısmında yerdeğıştirme esaslı bir yaklaşım izlenmekte ve olası bir depremin oluşturacağı yerdeğıştirmeler ile şekil değıştirmeler tahmin edilmeye çalışılmaktadır.

Performansa dayalı tasarımın en önemli adımlarından birisi elastik ötesi yerdeğıştirme isteminin en doğru şekilde elde edilmesidir. Elastik ötesi yerdeğıştirme isteminin elde edilmesi için literatürde birçok yöntem önerilmiştir. Pratik bir yaklaşım sağlayan Katsayılar Yöntemi bu yöntemlerden birisidir. Katsayılar yöntemi, eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemlerde elastik yerdeğıştirmenin bir katsayı ile çarpılarak elastik ötesi yerdeğıştirmenin elde edilmesi esasına dayanmaktadır. Kullanılan bu katsayı *elastik ötesi yerdeğıştirme sabiti* olarak isimlendirilmektedir. Bu katsayı gerçeğe ne kadar yakın elde edilirse, elastik ötesi yerdeğıştirme de aynı oranda gerçeğe en yakın olarak elde

edilebilecektir. Elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti elde edilirken dayanımı belli bir tek serbestlik dereceli sistemde belirli sayıda deprem kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yapılır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapta sonuçları etkileyen önemli parametrelerden biri de histeretik çevrimin tipidir. Daha önce yapılan çalışmaların çoğu azalmasız ikili doğrusal çevrim tipini kullanmaktadır. Fakat yapılan çalışmalar, çevrimsel yükler altında tüm malzemelerde dayanım ve rijitlik azalması olduğunu göstermiştir; azalmanın ileri durumlarında göçme dahi görölmektedir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapta daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek adına malzemenin çevrimsel yükler altındaki davranışını temsil edebilecek bir histeretik çevrim modeli kullanmak gerekmektedir.

Elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin elde edilmesi yanında, büyük dayanım ve rijitlik azalmaları sonucunda sistemde dinamik instabilite (dynamic instability) nedeniyle oluşabilecek göçme potansiyelinin de tahmin edilebilmesi yapı davranışı açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, mevcut yapı stoğunun büyük çoğunluğunu temsil eden ve eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem olarak ele alınabilecek betonarme yapıların göçme potansiyellerinin ve elastik ötesi yerdeğiştirme istemlerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, betonarme bir yapının çevrimsel yükler altındaki davranışını en iyi temsil ettiği düşünölen enerji esaslı dayanım ve rijitlik azalması ile göçme potansiyelini içeren Pike-Yönelik (peak oriented) histeretik çevrim modeli kullanılmıştır

Çalışma, göçme ve elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti olmak üzere iki ana başlık içermektedir. Göçme kısmında, dayanımı belli tek serbestlik dereceli sistemlerde farklı azalma durumları için analizler yapılmış ve dinamik instabiliteden dolayı göçmenin ortaya çıktığı sınır periyodu veren bir *göçme periyodu bağıntısı* önerilmiştir. Çalışmanın diğer bölümünde ise aynı histeretik model kullanılarak, farklı azalma özelliklerine sahip tek serbestlik dereceli sistemlerde elastik ötesi yerdeğiştirme sabitinin değişimi incelenmiştir. Son olarak kullanılan çevrim tipini karakterize eden temel azalma parametrelerinin, periyodun ve dayanım azaltma katsayısının bir fonksiyonu olan ve elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin tahmininde kullanılabilecek bir bağıntı önerilmiştir.

Yapılan çalışmanın bölümleri şu şekilde özetlenebilir: Bölüm 1’de literatür özeti, amaç ve hipotezden bahsedilmiştir. Bölüm 2’de çalışmada kullanılan yöntem, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapta kullanılan Newmark Yöntemi ve kullanılan deprem kayıtları hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 3’te ise histeretik çevrim modelleri hakkında bilgiler verilmiş ve bu çalışmada kullanılan histeretik model tanıtılarak dikkate alınan parametreler anlatılmıştır. Göçme potansiyelinin tahmini ve önerilen bağıntı Bölüm 4’te, elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin elde edilmesi ve önerilen bağıntı ise Bölüm 5’te anlatılmıştır. Bölüm 6’da, önerilen yöntemin uygulamaları gösterilmiştir. Bölüm 7 ise sonuç ve önerilerden oluşmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dinamik instabilite, göçme, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, elastik ötesi yerdeğiştirme istemi, dayanım ve rijitlik azalması, histeretik çevrim, göçme periyodu, elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti

**SEISMIC DISPLACEMENT DEMAND OF STRENGTH AND STIFFNESS
DEGRADING STRUCTURES**

Muzaffer BÖREKÇİ

Department of Civil Engineering

PhD. Thesis

Adviser: Prof. İbrahim EKİZ

Co-Adviser: Assoc. Dr. Murat Serdar KIRÇIL

Severe earthquakes can lead to major damages on structures, even collapse of structures. A new structure should be designed as resistant against a possible earthquake. Previous studies showed that damages on structures due to earthquakes are caused by displacements. In case of structures having inadequate ductility, major damages and local and/or global collapse can occur because of excessive displacements and deformations. Therefore, in today's understanding of earthquake resistant structural design, displacement-based design has been adopted instead of strength-based design. In the nonlinear part of that design concept, which is also named as Performance-based Design, a displacement-based design concept is followed, and displacement and deformations due to a possible earthquake are tried to be estimated.

One of the most important steps of performance-based design is to estimate inelastic displacement demand as realistically as possible. Many researchers and earthquake design codes proposed different methods to estimate inelastic displacement demand. Coefficient Method, which is a practical method, is one of these methods. Coefficient method is based on determination of inelastic displacement by multiplying elastic displacement of an equivalent single-degree-of-freedom system with a coefficient. This coefficient is called as “inelastic displacement ratio”. The resulting inelastic

displacement is as accurate as the accuracy of the inelastic displacement ratio. In the estimation of inelastic displacement ratio, nonlinear time history analysis of a single-degree-of-freedom system with given strength is conducted using a group of earthquake records.

One of the important parameters that affects the results of nonlinear time history analysis is the type of hysteretic model. Non-degrading bilinear hysteretic model was preferred in most of the previous studies. However, it was shown that all materials deteriorate under cyclic loadings; even collapse can be observed in the later stages of deterioration. A hysteretic model which can represent the cyclic response of a system should be considered to estimate more realistic results in a nonlinear time history analysis.

Besides the estimation of inelastic displacement demand, the estimation of collapse potential, which can occur because of the dynamic instability resulting from large strength and stiffness degradations, is important in the context of structural response.

In this study, it is tried to estimate inelastic displacement demands and collapse potentials of RC structures which represent the most of existing structures and can be handled by using equivalent single-degree-of-freedom systems. Peak-Oriented hysteretic model, which is accepted as the best model representing the response of a RC structure under cyclic loading, is used. The hysteretic model considers the energy based strength-stiffness degradation and the collapse potential caused by dynamic instability.

This study consists of two main chapters as collapse and inelastic displacement ratio. In the section of collapse, time history analyses are conducted for single-degree-of-freedom systems with given strength considering different degradation cases and an equation for collapse period, which gives the limit period of collapse occurred by dynamic instability, is proposed. In the section of inelastic displacement ratio, inelastic displacement ratios are investigated for single-degree-of-freedom systems with given strength and different degradation cases using the same hysteretic model. An equation for inelastic displacement ratio is proposed as a function of degradation parameters, period and strength reduction factor.

This study consists of 7 chapters. Summary of studies, aim and hypothesis are given in Chapter 1. In Chapter 2, method used in the study, Newmark Method and ground motion records are mentioned. Information about hysteretic models proposed in previous studies and detailed information about hysteretic model used in this study is given in Chapter 3. Chapter 4 consists of collapse due to dynamic instability and Chapter 5 consists of inelastic displacement ratio. Practical applications of proposed equations of collapse and inelastic displacement ratio are given in Chapter 6. In Chapter 7, conclusions and suggestions are given.

Keywords: Dynamic instability, collapse, nonlinear time history analysis, inelastic displacement demand, strength and stiffness degradation, hysteretic model, collapse period, inelastic displacement ratio

1.1 Literatür Özeti

Şiddetli depremler taşıyıcı sistemde büyük yatay yer değiştirmelere, dolayısıyla yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasara neden olurlar. Bu nedenle tasarım aşamasındaki yapıların olası bir depreme karşı güvenli bir biçimde tasarlanması, mevcut yapıların ise deprem güvenilirliklerinin belirlenmesi önemli bir husustur. Depreme dayanıklı yapı tasarımında veya mevcut yapıların deprem güvenilirliklerinin tahmininde *kuvvet esaslı* ve *yerdeğiştirme esaslı* olmak üzere iki temel yaklaşım vardır. Fakat şu bilinmektedir ki şekildeğiştirme, yapıda oluşacak muhtemel hasarın tahmininde kuvvete göre daha gerçekçi bir göstergedir. Yapıların deprem güvenilirliğinin tahmininde Performansa Dayalı Hesap yöntemi geniş olarak birçok yönetmelikte kullanılmaktadır ve bu yöntem olası bir depremden dolayı oluşacak şekildeğiştirmelerin elde edilmesi ve bu şekildeğiştirmelerden hareketle hasar, dolayısıyla performans tahmin edilmesi esasına dayanmaktadır. Elde edilen şekildeğiştirmeler önceden tarif edilmiş bir takım sınır değerlerle karşılaştırılarak hasar seviye ve dağılımı belirlenir ve bu hasarın yapının önceden tarif edilmiş performans seviyesine uygunluğu değerlendirilir. Burada en önemli husus, şekildeğiştirmelerin tahmin edilebilmesi için elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin gerçekçi bir biçimde elde edilmesidir. Bu nedenle yapıların deprem güvenilirliğinin tespitinde elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin tahmini en önemli husustur. Analitik olarak yapılacak bir hesapta elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin tahmininde en gerçekçi yöntem ***zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesaptır (ZTADOH)***. Fakat ZTADOH uzun ve karmaşık bir takım çözümler gerektirmektedir ve

günümüz bilgisayar imkânları gelişmiş olmasına rağmen tasarımcı mühendisler tarafından fazla tercih edilmemekte, onun yerine eğer koşullar izin veriyorsa daha basit fakat daha yaklaşık yöntemler tercih edilmektedir. Elastik ötesi yerdeğiştirmenin tahmininde kullanılabilen basitleştirilmiş birçok yöntem önerilmiştir fakat kullanımı en yaygın yöntemlere örnek olarak **Kapasite Spektrumu Yöntemi** [1] ve **Katsayılar Yöntemi** [2], [3] gösterilebilir. Ayrıntıları ileriki bölümlerde anlatılan bu yöntemler eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli (TSD) olarak basitleştirilebilen yapı sistemleri için kullanılabilir.

Katsayılar yöntemi kapasite spektrumu yöntemiyle karşılaştırıldığında görel olarak daha basittir. Katsayılar yöntemi elastik yerdeğiştirmenin bir katsayı ile çarpılarak elastik ötesi yerdeğiştirmenin elde edilmesi esasına dayanır.

$$C_R = \frac{S_{di}}{S_{de}} \quad (1.1)$$

(1.1) denkleminde verilen bu katsayı elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti olarak isimlendirilmektedir ve elde edilebilmesi için birçok araştırmacı tarafından farklı bağıntılar önerilmiştir. Denklemden S_{di} TSD sistemde elastik ötesi yerdeğiştirmeyi, S_{de} ise TSD sistemde elastik yerdeğiştirmeyi göstermektedir.

Katsayılar yöntemi, gerek istatistikî olarak elde edilen bağıntıların doğısındaki yaklaşıklık, gerekse SD sistemin eşdeğer TSD sistem olarak ele alınması sebebiyle yaklaşık bir yöntemdir. Her durumda gerçeğe en yakın sonuçlar elde edebilmek için C_R için önerilen bağıntının olabildiğince gerçekçi olması gerekmektedir. Bu yöntemin gerçekçiliğini sağılayan etkenlerden bir tanesi, kullanılan bağıntının elde edilmesi sırasında kullanılan yer hareketi sayısıdır. ZTADOH ile yapılan çözümde çözümün güvenilirliğini sağılayacak diğeri önemli bir husus çevrimsel davranışın tarifidir. C_R için yapılan çalışmaların çoğunda çevrimsel yük nedeniyle meydana gelen dayanım ve rijitlik azalmasını içermeyen ikili-doğırusal çevrimsel davranış modeli kullanılmıştır. Bununla beraber, deneysel çalışmalar göstermiştir ki tüm malzemeler elastik ötesi davranışlarında çevrimsel yük altında dayanım ve/veya rijitlik azalması (deterioration) gösterirler [4]. Yapı için kullanılan malzemeye bağılı olarak çevrimsel davranış biçimi farklılık göstermektedir. Birçok araştırmacı betonarme yapıların veya elemanların

çevrimsel yük altındaki davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir ve histeretik davranışın ikili-doğrusal modele uymadığını ve çevrimsel yük süresince dayanım ve/veya rijitlik azalmasının gerçekleştiğini göstermişlerdir [4], [5], [6], [7]. Bu tip yapılar, literatürde Pike Yönelik (Peak – Oriented) model olarak isimlendirilen çevrimsel davranışa uygun davranmaktadır. Dolayısıyla betonarme yapıların elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin elde edilmesi için önerilen C_R bağıntılarının özellikle eşit yerdeğiştirme kuralının geçerli olmadığı periyot bölgesindeki yapılar için dayanım - rijitlik azalmasını ve artan rijitlik kaybından dolayı oluşacak çevrimiçi dayanım azalmasını içermesi gerekmektedir. Histeretik davranış olarak da isimlendirilen bu çevrimsel davranış için çeşitli öneriler yapılmıştır. Bölüm 3'te hem literatürde genel kabul görmüş histeretik modeller hakkında hem de bu çalışmada kullanılacak histeretik model ile ilgili bilgiler geniş bir biçimde verilmiştir. Bu çalışmada yapı stoğunun büyük bir çoğunluğunu oluşturan betonarme yapılar için göçme potansiyelini dikkate alan dayanım ve rijitlik azalmalı Pike Yönelik bir çevrimsel model kullanılarak elastik ötesi yerdeğiştirme istemi irdelenmiş ve mühendislik pratiğinde kullanılabilecek bir bağıntı önerilmiştir. Bu bağıntı periyot (T), dayanım azaltma katsayısı (R_y) ve azalma parametrelerinin bir fonksiyonudur.

Ayrıca deprem performansı açısından yapılan bir incelemede yerel veya toptan göçmenin tahmini de önemli bir husustur. Artan rijitlik kaybı sonucunda oluşacak çevrimiçi dayanım azalması histeretik modellerde çevrim eğrisinin negatif eğime sahip olması şeklinde tarif edilmektedir ve bu davranış dinamik instabilite (sistemin kararlı konumdan kararsız konuma geçtiği durum) ve dinamik instabiliteden dolayı oluşan göçme hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışmada ayrıca gözönüne alınan TSD sistemde dinamik instabiliteden dolayı göçme potansiyeli de araştırılmıştır. Göçme potansiyelinin tahmini için dayanım – rijitlik azalması parametrelerinin ve dayanım azaltma katsayısının (R_y) bir fonksiyonu olan ve dinamik instabilitenin oluşmaya başladığı periyodu veren bir denklem önerilmiştir. Dikkate alınan TSD sistemin periyodu, verilen bu sınır değerden kısa olduğunda sistemde dinamik instabilite dolayısıyla göçme olacaktır.

Bölüm 2'de çalışmada kullanılan yöntem, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapta kullanılan Newmark Yöntemi ve kullanılan deprem kayıtları hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 3'te ise histeretik çevrim modelleri hakkında bilgiler verilmiş ve bu

Çalışmada kullanılan histeretik model tanıtılarak dikkate alınan parametreler anlatılmıştır. Göçme potansiyelinin tahmini ve önerilen bağıntı Bölüm 4'te, elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin elde edilmesi ve önerilen bağıntı ise Bölüm 5'te anlatılmıştır. Bölüm 6'da, önerilen yöntemin uygulamaları gösterilmiştir. Bölüm 7 ise sonuç ve önerilerden oluşmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Çevrimsel yükler altında tüm malzemelerde dayanım ve rijitlik azalması gerçekleştiği bilinmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve mevcut yapıların mevcut güvenilirliğinin belirlenmesinde yapıların olası bir deprem için elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin en doğru şekilde elde edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, eşdeğer TSD sistem olarak kabul edilebilecek betonarme yapıların elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin, çevrimsel yükler altındaki davranışını en doğru temsil ettiği dşnlen dayanım – rijitlik azalmasını dikkate alan Pike-Yönelik bir histeretik model kullanarak elde edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, ileri düzeydeki dayanım ve rijitlik azalmasından dolayı histeretik çevrimde oluşan negatif eğimin bir sonucu olan dinamik instabilite ve dinamik instabilitenin gerçekleşmeyeceği sistem değerlerinin araştırılması da amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Yapılarda meydana gelen deprem hasarları büyük yerdeğiştirmelerden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden dayanım esaslı tasarım veya değerlendirme yerine yerdeğiştirme esaslı tasarım veya değerlendirme yöntemleri rağbet görmeye başlamıştır. Yerdeğiştirme esaslı tasarımda, elastik ötesi yerdeğiştirmenin tahmini en önemli aşamalardan birisidir ve yöntemin güvenilirliği açısından elastik ötesi yerdeğiştirmenin en doğru şekilde elde edilmesi gerekmektedir.

Mevcut yapı stoğunun büyük bir kısmını oluşturan betonarme binaların deprem performanslarının elde edilmesi de önemli bir husustur. şiddetli depremlerde tüm malzemelerde olduğu gibi betonarme yapılarda da dayanım ve rijitlik azalması, hatta göçme dahi gerçekleşebilmektedir. Aynı periyot ve rijitliğe sahip fakat farklı süneklik ve dayanıma sahip betonarme yapıların elastik ötesi yerdeğiştirme istemi elde edilirken

azalmasız ikili-doğrusal çevrim tipi kullanılarak tek tip bir model ile aynı elastik ötesi yerdeğıştirmeler bulmanın doğru olmayacağı açıktır. Dayanım ve rijitlik azalması ile göçme potansiyeli dikkate alındığında, farklı azalma durumlarına sahip benzer özellikteki yapıların elastik ötesi yerdeğıştirme istemleri farklı olacaktır. Bu yüzden, elastik ötesi yerdeğıştirme isteminin tahmininde dayanım ve rijitlik azalmasının dikkate alınmasının gerektiğı savunulmaktadır. Ayrıca, dayanım ve rijitlik azalması ile birlikte göçme potansiyelinin elastik ötesi yerdeğıştirme istemi üzerinde etkili olduğu düşünöldüğünde, elastik ötesi yerdeğıştirme istemi tahmin edilmek istenen bir sistemde dinamik instabilitenin meydana gelip gelmeyeceğinin araştırılması da gerekmektedir.

BÖLÜM 2

YÖNTEM VE DEPREMLER

Bölüm 1’de anlatıldığı üzere bu çalışmanın amacı, dayanım ve rijitlik azalmalı TSD sistemlerin sabit dayanım için deprem yükleri altında göçme potansiyellerinin (dinamik intabilite dolayısıyla) tahmini ve elastik olmayan yerdeğiştirme istemlerinin elde edilebilmesidir. Deprem ivme kayıtlarını kullanarak belirli bir TSD sistemin deprem tepkilerini elde etmek için zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap (ZTADOH) yapılmalıdır. Bu çalışmada, hareket denkleminin çözümü için Newmark yöntemi kullanılmıştır ve ayrıntıları Bölüm 2.2’de anlatılan bu yöntem adım adım integrasyona dayanmaktadır. ZTADOH ile deprem istemleri elde edilirken gerçekçi sonuçlar verebilecek histeretik çevrim modelinin ve deprem kayıtlarının seçimi önemlidir. Bu bölümde, dikkate alınan TSD sistem, ZTADOH ve deprem kayıtlarının seçimi ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Histeretik çevrim modeli seçimi çalışmanın çok önemli bir aşaması olduğundan ayrı bir bölümde, Bölüm 3’te anlatılmıştır.

Bu çalışmada ZTADOH için MATLAB’de bir program yazılmıştır. Belirli bir TSD sistemin elastik ötesi yerdeğiştirme istemi, gözönüne alınan histeretik çevrim davranışı ve seçilen bir deprem için MATLAB’de oluşturulan program ile elde edilmiştir.

2.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

Özellikle konut tipi mevcut yapı stoğumuz ve yeni inşaa edilecek yapılarda genellikle 1. Mod, öteleme modu ve hâkim mod olmaktadır. Bu sebeple bu tip yapıların dinamik hesaplarında eşdeğer bir TSD sistemle çalışmak yeterli sonuçlar verebilmektedir. Katsayılar Yöntemiyle veya Kapasite Spektrumu Yöntemiyle elastik olmayan

yerdeğiştirme talebi elde edilmek istendiğinde eşdeğer TSD sistem için çözümler yapılmaktadır ve birçok araştırmacı ve yönetmelik de eşdeğer TSD kabulünü kullanmaktadır.

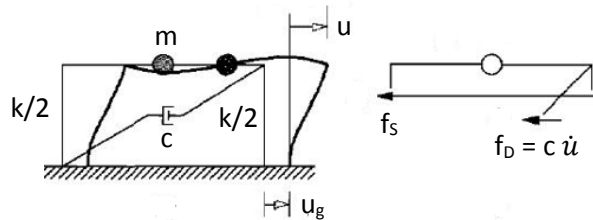
Bu çalışmada da göçme potansiyelinin tahmininde TSD sistemler kullanılmıştır. Ayrıntıları Bölüm 4'te anlatılacağı üzere ÇSD sistemlerin göçme potansiyellerinin elde edilmesi önemli bir husustur fakat oldukça karmaşık hesaplar gerektirmektedir. Bernal [8] ve [9]'da, Vamvatsikos ve Cornell [10]'da, Miranda ve Akkar [11]'de TSD sistemlerin dinamik instabilitesinin tahmininin deprem yüküne maruz ÇSD sistemlerin göçme potansiyelinin değerlendirilmesinde önemli bilgiler ve fikirler verdiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada $R_y = 1.5, 2, 3, 4, 5, 6$ olmak üzere 6 adet dayanım azaltma katsayısı ve $T = 0.1 - 3$ sn arasında 53 adet doğal titreşim periyodu dikkate alınmıştır. $T = 0.1$ sn ve 0.2 sn arasında 0.02 sn'lik artımlar yapılmıştır, $T = 0.22$ sn ve 1 sn arasında 0.03 sn'lik artımlar yapılmış ve $T = 1$ sn ile 3 sn arasında periyot aralığı 0.1 sn alınmıştır.

2.2 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, karmaşık ve zaman alıcı çözümler gerektiren doğrusal olmayan yöntemler, mühendislik pratiğimizde yaygınlaşabilmektedir. Doğrusal olmayan çözümleme yöntemleri *doğrusal olmayan statik çözümleme* (statik itme analizi) ve *doğrusal olmayan dinamik çözümleme* (zaman tanım alanında hesap) olarak ikiye ayrılabilir.

Doğrusal olmayan dinamik çözümleme yöntemi deprem yükünün, yer hareketi ivme kaydının zamana bağlı bir fonksiyonu olarak tanımlanarak yerdeğiştirme, şekil değiştirme ve iç kuvvetler gibi tasarım parametrelerinin zamana bağlı olarak elde edilmesi esasına dayanır. Şekil 2.1'de elastik olmayan TSD bir sistem gösterilmiştir. Elastik olmayan TSD bir sistem için hareket denklemi, (2.1) denklemindeki gibi ifade edilebilir.



Şekil 2.1 Deprem hareketi altında TSD sistem

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u, \dot{u}) = p(t) \quad (2.1)$$

(2.1) denkleminde;

m kütle, c sönüm, u yerdeğiştirme, $\dot{u}$ hız, $\ddot{u}$ ivme, $f_s(u, \dot{u})$ yapıya geçen kuvvet, $p(t)$ zamana bağlı dış kuvvetin t anındaki değeridir. Deprem kuvveti için $p(t)$ değeri $-m\ddot{u}_g(t)$ olarak yazılabilir. $\ddot{u}_g(t)$ yer ivmesidir.

$p(t)$ kuvveti, $i = 0$ 'dan N 'ye kadar olmak üzere $p_i = p(t_i)$ olarak ayırık değerler olarak verilebilir. Sabit bir Δt_i zaman aralığı denklem (2.2)'deki gibi verildiği takdirde,

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i \quad (2.2)$$

t_i anındaki hareket denklemi (2.3)'teki gibi olur.

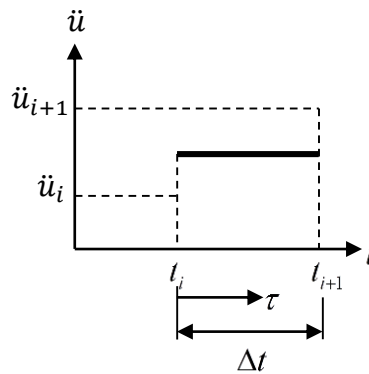
$$m\ddot{u}_i + c\dot{u}_i + (f_s)_i = p_i \quad (2.3)$$

t_{i+1} anında ise hareket denklemi şu şekildedir:

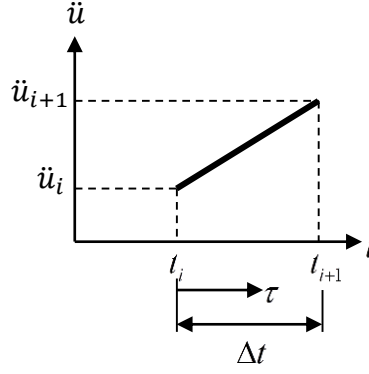
$$m\ddot{u}_{i+1} + c\dot{u}_{i+1} + (f_s)_{i+1} = p_{i+1} \quad (2.4)$$

Hareket denkleminin çözümü için çeşitli yaklaşık yöntemler vardır. Bu çalışmada hareket denklemi, yine yaklaşık yöntemlerden biri olan Newmark Yöntemi ile çözülecektir. Bu yöntem t_i anındaki davranıştan faydalanarak t_{i+1} anındaki davranışın bulunması esasına dayanır.

Newmark Yöntemi'nde kullanılan sabitlerden olan α ve β 'nin belli değerler aldığı genel kabul gören iki özel durum vardır $\alpha = \frac{1}{2}, \beta = \frac{1}{4}$ olan *sabit ortalama ivme yöntemi* ve $\alpha = \frac{1}{2}, \beta = \frac{1}{6}$ olan *doğrusal ivme yöntemi*. Ortalama ivme yönteminde, Δt zaman aralığı boyunca ivmenin sabit kaldığı ve t_i ve t_{i+1} anlarındaki ivmelerin ortalamasına eşit olduğu varsayılır. Doğrusal ivme yöntemi Şekil 2.4'te tarif edildiği gibidir. Δt zaman aralığı boyunca ivmenin doğrusal olarak arttığı düşünülmektedir.



Şekil 2.2 Sabit ortalama ivme yöntemi [12]



Şekil 2.3 Doğrusal ivme yöntemi [12]

Eğer $\frac{\Delta t}{T_n} \leq \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{\alpha-2\beta}}$ olursa Newmark Yöntemi stabil olur. Burada T_n sönümsüz sistemin periyodudur. Sabit ortalama ivme yöntemi için $\alpha = \frac{1}{2}$, $\beta = \frac{1}{4}$ alınırsa,

$$\frac{\Delta t}{T_n} < \infty \quad (2.5)$$

olur. Bu da gösterir ki ortalama ivme yöntemi Δt 'nin herhangi bir değeri için stabildir, fakat Δt 'nin yeterince ufak olması daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Doğrusal ivme yöntemi için $\alpha = \frac{1}{2}$, $\beta = \frac{1}{6}$ alınırsa,

$$\frac{\Delta t}{T_n} < 0.551 \quad (2.6)$$

olur. Bu da doğrusal ivme yönteminde Δt değerinin rasgele seçilemeyeceğini, (2.6)'da verilen sınırın dışına çıkıldığında yöntemin stabilitesinin bozulacağını göstermektedir.

Bu çalışmada koşulsuz stabil olması nedeniyle *sabit ortalama ivme yönteminin* kullanılması tercih edilmiştir.

Sabit bir Δt zaman aralığı kullanılarak gerçekleştirilen bu tip bir çözümlemede iki tip hata oluşabilir:

- a) sekant rijitliği yerine tanjant rijitliğinin kullanılmasından dolayı oluşabilecek hata,
 - b) sabit bir Δt zaman aralığı kullanılması nedeniyle çevrim eğrisinin yön değiştirdiği noktanın belirlenmesinde oluşabilecek hata.
- (b) maddesinde açıklanan nedenden dolayı oluşabilecek hatanın azaltılabilmesi için yeterince küçük Δt zaman aralığı ile çalışılabilir veya çevrim eğrisinin yön değiştirdiği

Sekant rijitliği yerine tanjant rijitliği kullanılmasından dolayı oluşabilecek hata Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



10

Yöntemin akış şeması Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Newton-Raphson Ardışık Yaklaşım Yöntemi için akış şeması [12]

1. Başlangıç verileri (t_i anındaki tepki) $u_{i+1}^{(0)} = u_i \quad f_s^{(0)} = (f_s)_i \quad \Delta R^{(1)} = \Delta \hat{p}_i \quad \hat{k}_T = \hat{k}_i$
2. Her ardışık yineleme için hesap adımları (j= 1, 2, 3, ...) 2.1 $\hat{k}_T \Delta u^{(j)} = \Delta R^{(j)} \Rightarrow \Delta u^{(j)}$ 2.2 $u_{i+1}^{(j)} = u_{i+1}^{(j-1)} + \Delta u^{(j)}$ 2.3 $\Delta f^{(j)} = f_s^{(j)} + f_s^{(j-1)} + (\hat{k}_T - k_T) \Delta u^{(j)}$ 2.4 $\Delta R^{(j+1)} = \Delta R^{(j)} + \Delta f^{(j)}$
3. Ardışık yaklaşıma devam. 2 maddesindeki adımların tekrarı.

r sayıda ardışık yaklaşımdan sonra yerdeğiştirme değişimi $\Delta u^{(r)}$, toplam yerdeğiştirme değişimi $\Delta u = \sum_{j=1}^r \Delta u^{(j)}$ değerinden yeterince küçük ise işlem sonlandırılır.

$$\frac{\Delta u^{(r)}}{\Delta u} < \varepsilon \quad (2.7)$$

Sonuçta (i) adımından (i+1) adımına olan yerdeğiştirme artımı denklem (2.8)’deki gibi olur.

$$\Delta u_i = \sum_{j=1}^r \Delta u^{(j)} \quad (2.8)$$

Ardışık yaklaşımdan sonra bulunan Δu_i , ardışık yaklaşım yapılmadan önce bulunan Δu_i yerine kullanılır ve yeni bulunan bu değere göre $\Delta \dot{u}_i$ ve $\Delta \ddot{u}_i$ hesaplanır.

2.3 Yer Hareketleri

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemede deprem yükünü göz önüne alabilmek için kaydedilmiş ve /veya üretilmiş ivme-zaman geçmişleri kullanılmaktadır. Gelecekte gerçekleşmesi olası depremlerin, önceden tüm özellikleriyle belirlenemeyip sadece belirli bir olasılıkla tahmin edilebiliyor olması, yapılan çözümlemelerin güvenilirliği açısından yer hareketi kaydı seçimini önemli kılmaktadır. Bu açıdan, beklenen deprem senaryosunu karşılayabilecek yeterli sayıda ve özellikte yer hareketi

kayıtları seçilmelidir. Deprem büyüklüğü (M) ve incelenen zeminden kırılma yüzeyine olan uzaklık (R_{rup}) bir sismik olayla ilgili en genel parametreler olduğundan, M - R_{rup} çifti en kolay kayıt seçimi sürecidir [13]. Deprem uzaklığı (R_{rup}) kavramı yerleşmeden önce, deprem kaydı seçiminde önemli bir parametre veya en azından bir başlangıç kriteri olarak deprem büyüklüğü (M) kabul ediliyordu [14], [15]. Uzaklık (R_{rup}) ise yakın alan ve uzak alan etkisini ayırt edebilmek adına tamamlayıcı bir kayıt seçimi parametresi olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada, artan deprem etkisini ve yer hareketlerindeki rastgeleliği temsil etmek üzere her istasyonda iki yatay bileşenden oluşan ve 6 ile 7.9 arasında değişen büyüklüğe sahip 160 adet deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Kullanılan ivme kayıtları PEER NGA [16] yer hareketi veritabanından sağlanmıştır. Deprem ivme kayıtları, kayıt istasyonlarının bulunduğu yerel zemin koşullarına göre 4 gruba ayrılmıştır. Her grup 40 adet yer kaydı içermektedir. Zemin sınıflandırması, ülkemizde kullanılan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'de (DBYBHY) [3] belirtilen zemin sınıflandırmasına uygun olması açısından USGS'e [17] göre yapılmıştır [18]. İlk grup yer kaydının ortalama kayma dalgası hızı 750 m/s'den büyük, ikinci grubun 360 m/s ile 750 m/s, üçüncü grubun 180 m/s ile 360 m/s arasında, dördüncü grubun ortalama kayma dalgası hızı ise 180 m/s'den küçüktür. İlk grup A zemin sınıfını temsil ederken, ikinci grup B zemin sınıfını, üçüncü grup C zemin sınıfını ve dördüncü grup ise D zemin sınıfını temsil etmektedir.

Yer hareketlerinin tüm listesi Çizelge 2.2'de verilmiştir. Çizelge 2.2'de yer hareketleri için verilen uzaklıklar fay kırığına en yakın uzaklıklardır. Hangi fay uzaklığından sonra yakın alan etkisinin azalacağı ile ilgili birçok çalışma yapıldığı ve sonuçların birbirinden farklı olduğu, aynı zamanda da yaygın olarak kabul görmüş bir yakın fay tanımlamasının olmadığı görülmüştür [19]. Bu çalışmada, yakın alan etkisini azaltabilmek adına uzaklıkların en az 30 km olmasına dikkat edilmiştir. Bu sayede yakın alan etkisi taşıyan yer hareketlerinin kısmen de olsa ayıklandığı düşünülmektedir. Şekil 2.6'da tüm kayıtların elastik ivme spektrumları verilmiştir.

Çizelge 2.2 Çalışmada kullanılan yer hareketi ivme kayıtları [16]

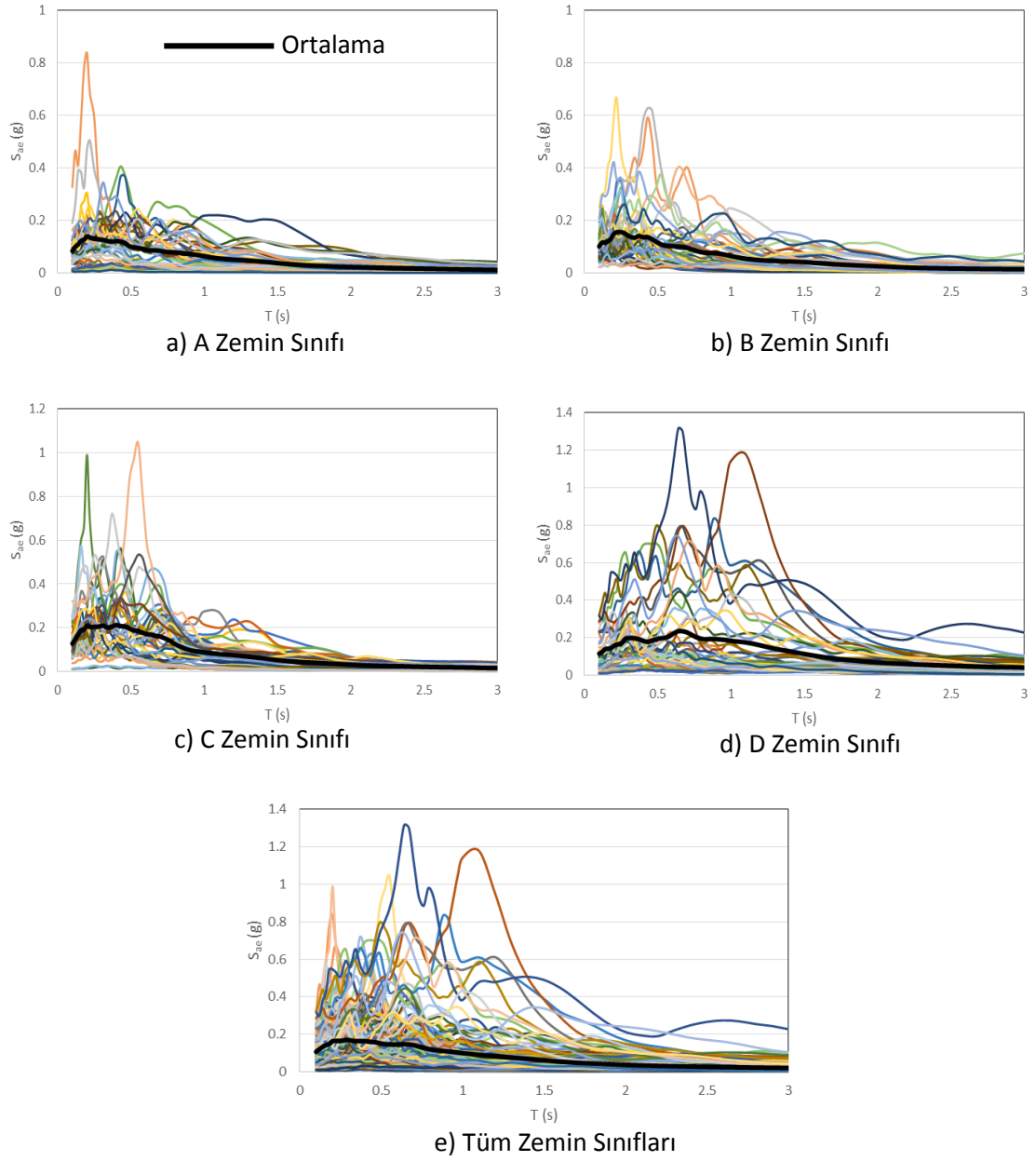
	NGA#	Deprem	Yıl	Kayıt İstasyonu	M	R _{rup} (km)	Zemin Sınıfı
1	59	San Fernando	1971	Cedar Springs, Allen Ranch	6.61	89.7	A
2	788	Loma Prieta	1989	Piedmont Jr High	6.93	73	A
3	789	Loma Prieta	1989	Point Bonita	6.93	83.5	A
4	795	Loma Prieta	1989	SF - Pacific Heights	6.93	76	A
5	797	Loma Prieta	1989	SF - Rincon Hill	6.93	74.1	A
6	804	Loma Prieta	1989	So. San Francisco, Sierra Pt.	6.93	63.1	A
7	925	Big Bear-01	1992	Rancho Cucamonga - Deer Can	6.46	59.4	A
8	943	Northridge-01	1994	Anacapa Island	6.69	68.9	A
9	946	Northridge-01	1994	Antelope Buttes	6.69	46.9	A
10	1033	Northridge-01	1994	Littlerock - Brainard Can	6.69	46.6	A
11	1041	Northridge-01	1994	Mt Wilson - CIT Seis Sta	6.69	35.9	A
12	1060	Northridge-01	1994	Rancho Cucamonga - Deer Can	6.69	80	A
13	1074	Northridge-01	1994	Sandberg - Bald Mtn	6.69	41.6	A
14	1096	Northridge-01	1994	Wrightwood - Jackson Flat	6.69	64.7	A
15	1518	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU085	7.62	58.1	A
16	2633	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	TCU085	6.2	103.6	A
17	2687	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	TTN042	6.2	93.5	A
18	2805	Chi-Chi, Taiwan-04	1999	KAU003	6.2	116.2	A
19	2929	Chi-Chi, Taiwan-04	1999	TTN042	6.2	69	A
20	2996	Chi-Chi, Taiwan-05	1999	HWA003	6.2	50.4	A
21	56	San Fernando	1971	Carbon Canyon Dam	6.61	61.8	B
22	58	San Fernando	1971	Cedar Springs Pumphouse	6.61	92.6	B
23	63	San Fernando	1971	Fairmont Dam	6.61	30.2	B
24	83	San Fernando	1971	Puddingstone Dam (Abutment)	6.61	52.6	B
25	86	San Fernando	1971	San Onofre - So Cal Edison	6.61	124.8	B
26	89	San Fernando	1971	Tehachapi Pump	6.61	63.8	B

Çizelge 2.2 Çalışmada kullanılan yer hareketi kayıtları (devam...)

27	91	San Fernando	1971	Upland - San Antonio Dam	6.61	61.7	B
28	94	San Fernando	1971	Wrightwood - 6074 Park Dr	6.61	62.2	B
29	121	Friuli, Italy-01	1976	Barcis	6.5	49.4	B
30	124	Friuli, Italy-01	1976	Feltre	6.5	102.2	B
31	323	Coalinga-01	1983	Parkfield - Cholame 12W	6.36	55.8	B
32	325	Coalinga-01	1983	Parkfield - Cholame 2E	6.36	42.9	B
33	327	Coalinga-01	1983	Parkfield - Cholame 3E	6.36	41	B
34	330	Coalinga-01	1983	Parkfield - Cholame 4W	6.36	46.4	B
35	1154	Kocaeli, Turkey	1999	Bursa Sivil	7.51	65.5	B
36	1159	Kocaeli, Turkey	1999	Eregli	7.51	142.3	B
37	1162	Kocaeli, Turkey	1999	Goynuk	7.51	31.7	B
38	1163	Kocaeli, Turkey	1999	Hava Alani	7.51	60	B
39	1164	Kocaeli, Turkey	1999	Istanbul	7.51	52	B
40	1172	Kocaeli, Turkey	1999	Tekirdag	7.51	165	B
41	52	San Fernando	1971	Anza Post Office	6.61	173.2	C
42	54	San Fernando	1971	Borrego Springs Fire Sta	6.61	214.3	C
43	62	San Fernando	1971	Colton - So Cal Edison	6.61	96.8	C
44	65	San Fernando	1971	Gormon - Oso Pump Plant	6.61	46.8	C
45	66	San Fernando	1971	Hemet Fire Station	6.61	139.1	C
46	85	San Fernando	1971	San Juan Capistrano	6.61	108	C
47	122	Friuli, Italy-01	1976	Codroipo	6.5	33.4	C
48	123	Friuli, Italy-01	1976	Conegliano	6.5	80.4	C
49	166	Imperial Valley-06	1979	Coachella Canal #4	6.53	50.1	C
50	188	Imperial Valley-06	1979	Plaster City	6.53	30.3	C
51	268	Victoria, Mexico	1980	SAHOP Casa Flores	6.33	39.3	C
52	324	Coalinga-01	1983	Parkfield - Cholame 1E	6.36	43.7	C
53	326	Coalinga-01	1983	Parkfield - Cholame 2WA	6.36	44.7	C
54	328	Coalinga-01	1983	Parkfield - Cholame 3W	6.36	45.7	C
55	329	Coalinga-01	1983	Parkfield - Cholame 4AW	6.36	47.6	C

Çizelge 2.2 Çalışmada kullanılan yer hareketi kayıtları (devam...)

56	331	Coalinga-01	1983	Parkfield - Cholame 5W	6.36	48.7	C
57	1149	Kocaeli, Turkey	1999	Atakoy	7.51	58.3	C
58	1153	Kocaeli, Turkey	1999	Botas	7.51	127	C
59	1157	Kocaeli, Turkey	1999	Cekmece	7.51	66.7	C
60	1160	Kocaeli, Turkey	1999	Fatih	7.51	55.5	C
61	452	Morgan Hill	1984	Foster City - APEEL 1	6.19	53.9	D
62	732	Loma Prieta	1989	APEEL 2 - Redwood City	6.93	43.2	D
63	759	Loma Prieta	1989	Foster City - APEEL 1	6.93	43.9	D
64	760	Loma Prieta	1989	Foster City - Menhaden Court	6.93	45.6	D
65	780	Loma Prieta	1989	Larkspur Ferry Terminal (FF)	6.93	94.6	D
66	808	Loma Prieta	1989	Treasure Island	6.93	77.4	D
67	962	Northridge-01	1994	Carson - Water St	6.69	49.8	D
68	1147	Kocaeli, Turkey	1999	Ambarli	7.51	69.6	D
69	1229	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY078	7.62	77.2	D
70	1357	Chi-Chi, Taiwan	1999	KAU011	7.62	101.8	D
71	1599	Duzce, Turkey	1999	Ambarli	7.14	188.7	D
72	2493	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY078	6.2	98.6	D
73	2561	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	ILA044	6.2	125.5	D
74	2718	Chi-Chi, Taiwan-04	1999	CHY054	6.2	61.1	D
75	2736	Chi-Chi, Taiwan-04	1999	CHY076	6.2	56.4	D
76	2737	Chi-Chi, Taiwan-04	1999	CHY078	6.2	84	D
77	2818	Chi-Chi, Taiwan-04	1999	KAU045	6.2	119.2	D
78	2958	Chi-Chi, Taiwan-05	1999	CHY054	6.2	92.3	D
79	2975	Chi-Chi, Taiwan-05	1999	CHY076	6.2	87.6	D
80	2976	Chi-Chi, Taiwan-05	1999	CHY078	6.2	116.4	D



Şekil 2.6 Çalışmada kullanılan yer hareketi kayıtlarının %5 sönüm için elastik ivme spektrumları

HİSTERETİK ÇEVİRİM MODELLERİ

Mevcut yapıların deprem performansının belirlenmesinde veya yeni yapılacak bir yapının tasarım aşamasında sismik talep mümkün olduğunca doğru olarak belirlenebilmelidir. Daha önce de bahsedildiği gibi deprem taleplerinin elde edilebilmesi için literatürde farklı birçok yöntem mevcuttur. Bazı yöntemler istemi, basit katsayılar ve denklemlerle elde etmeye dayanırken (Katsayılar Yöntemi) bazıları ise doğrudan yapının deprem yükleri altındaki tepkilerini kullanarak elde etmeye (Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap) dayanır. Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın yapısal tepkileri elde etme aşamasında teorik olarak çevrimsel davranışı veya başka bir deyişle histeretik davranışı belirlemek ve sistem için en doğru histeretik davranışı kullanmak önemlidir. Çoğu yöntem eşdeğer TSD sistemleri gözönüne alarak azalmasız elastoplastik veya ikili-doğrusal çevrimsel davranışı dikkate alır. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki tüm malzemeler çevrimsel yük altında elastik sınır aşıldıktan sonra azalma (deterioration) gösterirler [4]. Yapı için kullanılan malzemeye bağlı olarak çevrimsel davranış farklılık göstermektedir. Bu çalışmada yapı stoğunun büyük bir çoğunluğunu oluşturan betonarme yapılar için bir araştırma ve öneri yapılacaktır. Birçok araştırmacı betonarme yapıların veya elemanların çevrimsel yük altındaki davranışlarını deneysel olarak irdelemişler ve histeretik davranışın ikili-doğrusal modele uymadığını ve çevrimsel yük süresince dayanım ve/veya rijitlik azalmasının gerçekleştiğini göstermişlerdir [4], [5], [6], [7]. Erberik [20]'de eşdeğer TSD sistem olarak kabul edilecek yapıların performansına azalmanın etkisini araştırmış ve azalma etkisinin, özellikle mevcut yapı stoğunu içeren periyot aralığındaki yapı sistemlerinin yerdeğiştirme istemlerinde, elastik veya azalmasız

sistemlere göre daha fazla önem arz ettiğini göstermiştir. Bu yüzden deprem talepleri elde edilirken dayanım ve rijitlik azalması dikkate alınmalıdır.

Sistemin deprem taleplerini elde ederken kullanılan histeretik çevrimler sadece dayanım ve rijitlik azalmasını değil aynı zamanda yumuşamayı (softening) da içermelidir. Histeretik çevrimin yumuşama kısmı tepe noktası denilen ve ulaşılabilecek en büyük dayanıma ulaştıktan sonra görülen negatif eğime sahip kısımdır. Histeretik çevrim bu negatif eğimli kısma girdiğinde sistemde kendiliğinden bir dayanım azalması meydana gelir ve bu olay yumuşama olarak isimlendirilebilir. FEMA 440 [21] bu kısımdaki dayanım azalmasını **çevrimiçi azalma** olarak isimlendirmiştir. Histeretik çevrimde negatif eğime sahip bu yola tepe-sonrası eğimi de denilmektedir.

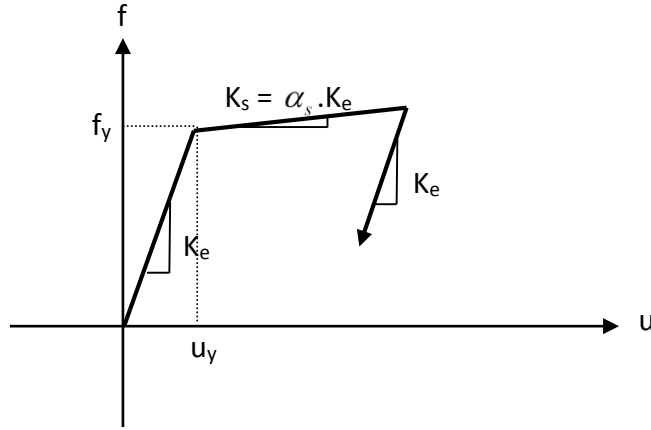
Sonuç olarak bir yapı sisteminin deprem tepkilerinin elde edilmesi için yapılan bir çözümlemede gerçekçi bir davranış gözönüne alabilmek ve gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için kullanılan histeretik çevrim hem dayanım ve rijitlik azalmasını hem de tepe-sonrası eğimini içermelidir. Aşağıda literatürde kullanılan azalmalı modellerden bazıları tanıtılmıştır. Bu çalışmada Ibarra-Medina-Krawinkler'in önerdiği histeretik çevrim modeli tercih edilmiştir ve Bölüm 3.3'te bu modelin kullanılma sebepleri açıklanmıştır.

3.1 İkili-Doğrusal (Bilineer) Çevrim Modeli

Doğrusal olmayan dinamik analizin gelişim aşamalarının başlangıcında Şekil 3.1'de görülen ikili-doğrusal çevrim tipi birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır [22]. Çevrimsel yük altındaki sistemin veya elemanın akmadan sonra rijitliğinde meydana gelen azalmayı ve betonarme ve çeliğin pekleşmesini dikkate almak üzere, akma sonrası rijitliği için sonlu bir eğim dikkate alınır. Bu eğim, denklem (3.1)'de verildiği gibi başlangıç rijitliğinin bir katsayı ile çarpılmasıyla elde edilir.

$$K_s = \alpha_s K_e \quad (3.1)$$

Şekil 3.1'de K_e başlangıç veya elastik rijitliği, K_s akma sonrası rijitliğini, α_s akma sonrası eğimi oranını, f_y akma kuvvetini ve u_y ise akma yerdeğiştirmesini göstermektedir.

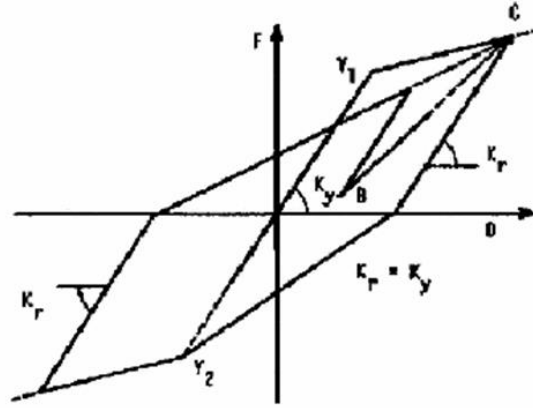


Şekil 3.1 İkili-doğrusal çevrim iskelet eğrisi

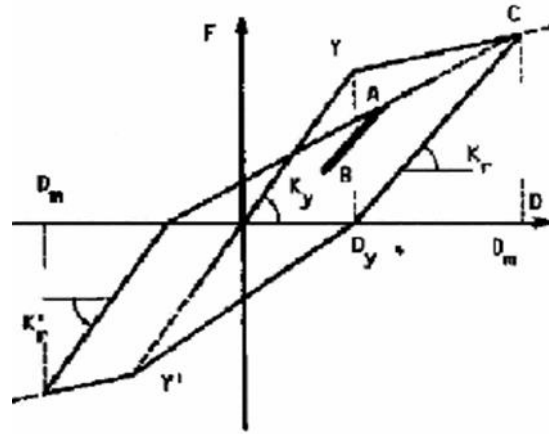
3.2 Azalmalı Histeretik Modeller

3.2.1 Clough ve Johnston Modeli

Daha önceleri uygulamadaki kolaylığı sebebiyle ikili-doğrusal histeretik model tercih ediliyordu. Clough ve Johnston [23]'te geri-yüklemeye rijitliğinin azaldığı bir model önerdiler. Bu model, Hisada vd.'nin [24]'te betonarme yapıların histeretik davranışlarını temsil etmek üzere geliştirdikleri üç doğrusal modelin ikili doğrusal yaklaşımıdır. Clough ve Johnston modelinde azalma, geri-yüklemeye rijitliğinin azalması ile tarif edilmiştir ve geri-yüklemeye yolunun, yükleme doğrultusundaki en büyük yerdeğiştirmeyi hedef alması dolayısıyla geri-yüklemeye rijitliği azaltılmaktadır. Yükleme doğrultusunda bir önceki en büyük yerdeğiştirmeyi hedef almasından dolayı bu model peak-oriented (pike yönelik) model olarak isimlendirilmektedir. Şekil 3.2'de Clough ve Johnston modelinin kuralları görülmektedir. Yük-boşalması yolunda B noktasından geri-yüklemeye yoluna girildiğinde, geri-yüklemeye yolu bir önceki en büyük tepki olan C noktasını hedef almaktadır. Mahin ve Bertero [25]'te orijinal Clough ve Johnston modelinin bu kuralını bir eksiklik olarak belirtmişlerdir. Yük-boşalması yolundan B noktasından geri dönüldüğünde önce doğrudan yük-boşalmasının başladığı A noktasını hedef alarak, ardından en büyük tepki olan C noktasını hedef alacak şekilde Clough ve Johnston modelini değiştirmişlerdir. Mahin ve Bertero'nun [25]'te önerdiği Modified Clough Model Şekil 3.3'te verilmiştir.



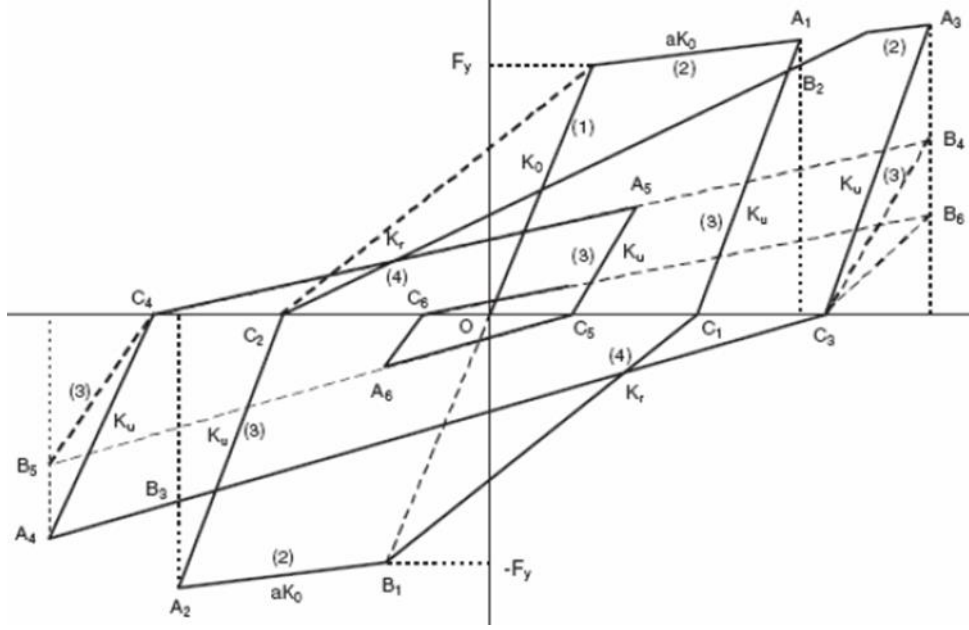
Şekil 3.2 Orijinal Clough ve Johnston Modeli [22]



Şekil 3.3 Değiştirilmiş Clough ve Johnston Modeli [22]

Değiştirilmiş Clough Modeli'nde rijitlik azalması en büyük şekil değiştirme veya yerdeğiştirmenin bir fonksiyonudur.

Sucuoğlu ve Erberik [26]'da Clough ve Johnston modelinin rijitlik azalmasını esas alan bir histeretik model geliştirdiler ve enerji esaslı dayanım azalmasını içeren bir kuralı da dahil ettiler. Şekil 3.4'te Sucuoğlu ve Erberik'in [26]'da geliştirdikleri ve simetrik olmayan davranış için 7 adet azalma kuralının tanımlandığı histeretik model görülmektedir.



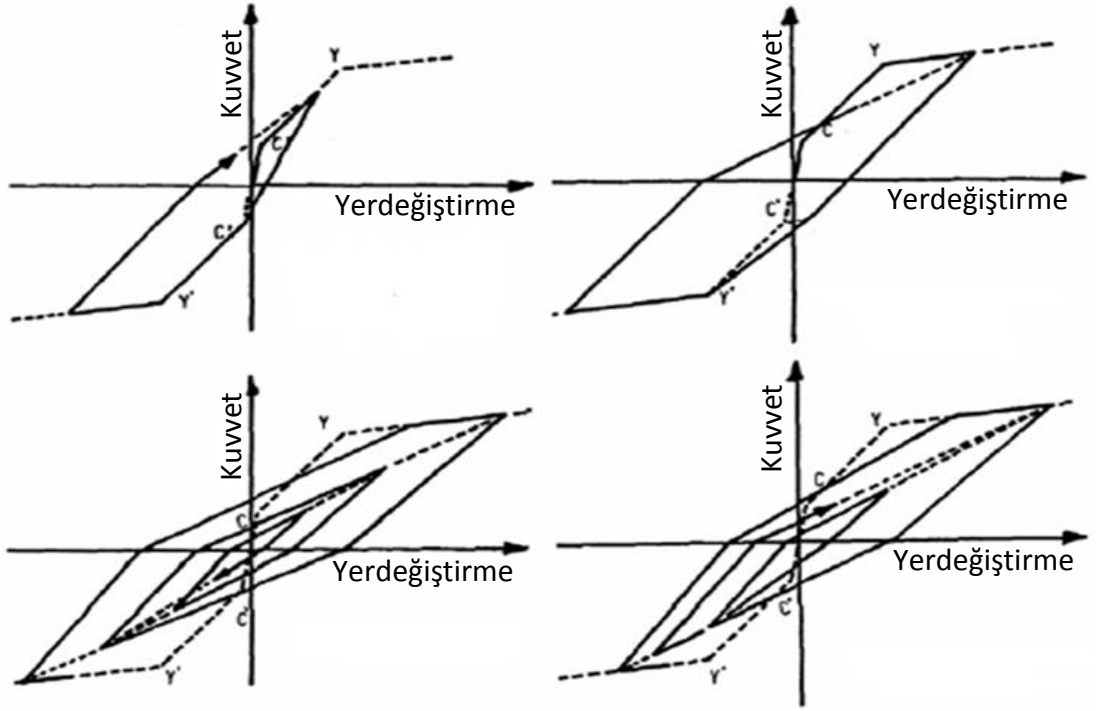
Şekil 3.4 Sucuoğlu ve Erberik tarafından önerilen histeretik model [26]

3.2.2 Takeda Modeli

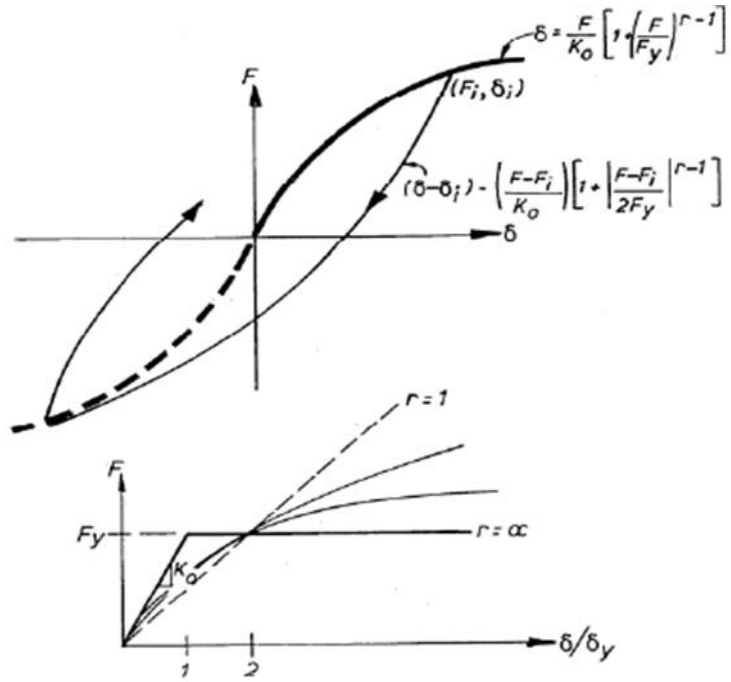
Takeda, Sozen ve Nielsen [27]'de eğilmede çatlamayı ve rijitlik değişimini, dış çevrimin içinde gerçekleşecek iç çevrimler için histeretik kuralları ve şekil değiştirmeye birlikte yük-boşalması rijitlik azalmasını içeren bir histeretik model geliştirdiler. Farklı eksenel yükler için betonarme elemanların çevrimsel yatay yükler altındaki davranışlarını esas alarak geliştirilen Takeda modelinin kuralları Şekil 3.5'te verilmiştir.

3.2.3 Ramberg-Osgood Modeli

Ramberg-Osgood model yoğun olarak 60'lı yıllarda kullanılmaktaydı [28]. Günümüzde, histeretik çevrimi eğimi sabit doğrular yerine eğrilerle ifade etmek gerektiğinde hala kullanılmaktadır. Ramberg-Osgood model köşeleri yuvarlak (smooth) bir modeldir. Yükleme ve yük-boşalması / geri-yükleme eğrileri matematiksel olarak tarif edilmiştir ve modelin kuralları Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.5 Takeda Modeli [22]



Şekil 3.6 Ramberg-Osgood Modeli [28]

Modeldeki matematiksel ifadede bulunan üstel ifade “r” eğrinin şeklini belirler. $r = 1$ elastik davranışı, $r = \infty$ elastoplastik davranışı temsil eder. Çevrimsel pekleşme faktörü yük-boşalması / geri-yüklemeye eğrisine tanımlanabilir fakat bu faktörün değeri, geçmiş

çevrimlere bağlı olmalıdır. Hem pekleşme parametreleri hem de dayanım ve rijitlik azalması parametreleri Ruaumoko analiz programına eklenmiştir [28]. Bu model özel durumlar dışında fazla kullanılmamaktadır [29] veya otomobil ve hava/uzay endüstrisinde kullanılmaktadır.

3.2.4 Kunnath vd. Azalmalı Modeli

Betonarme elemanlarda elastik olmayan şekil değiştirmeler kritik bir kesitte toplanmaz aksine plastik mafsallık uzunluğu olarak bilinen sonlu bir alana yayılır. Kunnath vd. [30]'da yayılı plastisite davranışını esas alarak bir histeretik model önermişlerdir. Önerdikleri model Takizawa'nın [31]'de önerdiği modelin basitleştirilmiş ve genişletilmiş halidir. Kunnath vd. [30]'da kayma şekil değiştirmelerinin de modele doğrudan eklenebileceğini göstermişlerdir. Bu model IDARC 2D [32] programına eklenmiştir.

3.2.5 Sivaselvan ve Reinhorn Modeli

Bouc tarafından [33]'te önerilen ve farklı araştırmacılar tarafından [34], [35], [36], [37] değiştirilen model Sivaselvan ve Reinhorn tarafından [38]'de rijitlik ve dayanım azalması ile sıkışma (pinching) etkilerini içeren çok amaçlı bir köşeleri yuvarlak (smooth) histeretik modele dönüştürülmüştür. Sivaselvan ve Reinhorn modeli viskoplastisite teorisini esas almaktadır. Model aynı zamanda çok parçalı iskelet eğrisinin kullanımına da olanak sağlamaktadır. Bouc-Wen modelle karşılaştırıldığında Sivaselvan ve Reinhorn modeli tasarımcının kontrolündeki fiziksel büyüklüklere daha yakın sonuçlar vermektedir [6].

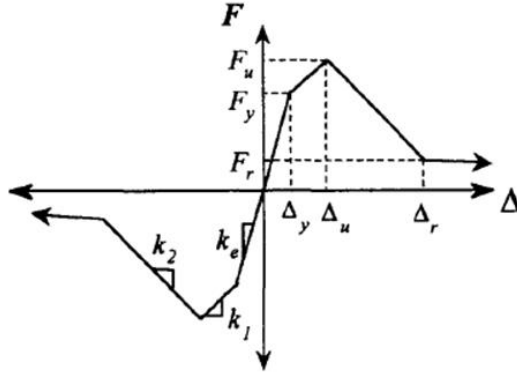
3.2.6 Song ve Pincheira Modeli

Bu model ulaşılabilecek en büyük dayanım noktasını ve tepe-sonrası davranışını içermesine karşılık çevrimsel bir dayanım azalması içermez. Şekil 3.7a'da, önerilen modelin iskelet eğrisi görülmektedir. Şekilde verilen iskelet eğrisinden de görüldüğü gibi model tepe noktası denilen bir en büyük dayanım noktasını ve bu dayanımdan sonra çevrimiçi dayanım azalmasını temsil eden negatif eğimli kısmı içermektedir. Artık dayanım denilen, sistemdeki azalma etkisinden dolayı dayanımın düşebileceği en küçük dayanımı da içermektedir. Şekil 3.7b'de histeretik çevrimin ana kuralları verilmiştir. Akma noktasından sonraki yük-boşalması rijitliği azalması α parametresi ile

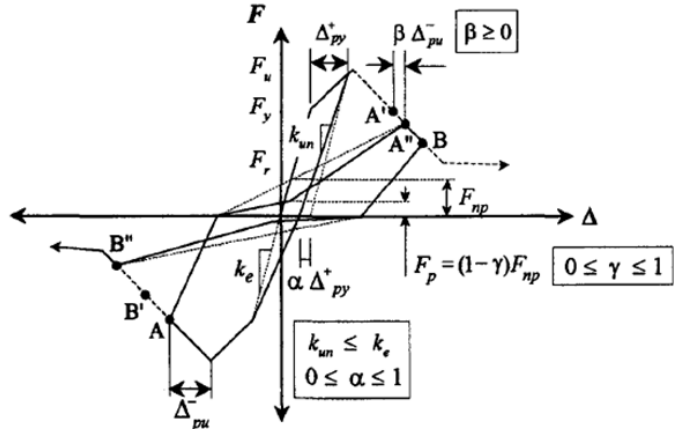
sağlanmaktadır. Modelde dayanım azalması mevcuttur fakat yalnızca tepe noktasına ulaştıktan sonra tarif edilmiştir. Sistem negatif eğime girdiğinde yük-boşalması gerçekleştiğinde geri-yükleme yolu doğrudan yük-boşalması noktasının simetriğindeki noktayı hedef alır. Fakat geri-yükleme yolu hedef noktasının yerdeğiştirme değeri β parametresiyle artırılarak ek bir dayanım azalması elde edilebilir. Geri-yükleme rijitliği γ parametresiyle değiştirilerek sıkışma etkisi modelde tanımlanır. Sıkışma etkisinin şematik gösterimi Şekil 3.7c’de verilmiştir. Geri-yüklemedeki dayanım azalması takip eden çevrimlerde v parametresiyle kademeli olarak azaltılır. Bu modelin temel eksikliği, Pincheira vd. tarafından [43]’te çevrimiçi azalmayı hesaplamak için geliştirilen yaklaşık yöntem kullanılmadığı takdirde dayanım ve tepe-sonrası dayanım azalmasını içermemesidir.

3.2.7 Bouc – Wen Modeli ve Değiştirilmiş Versiyonları

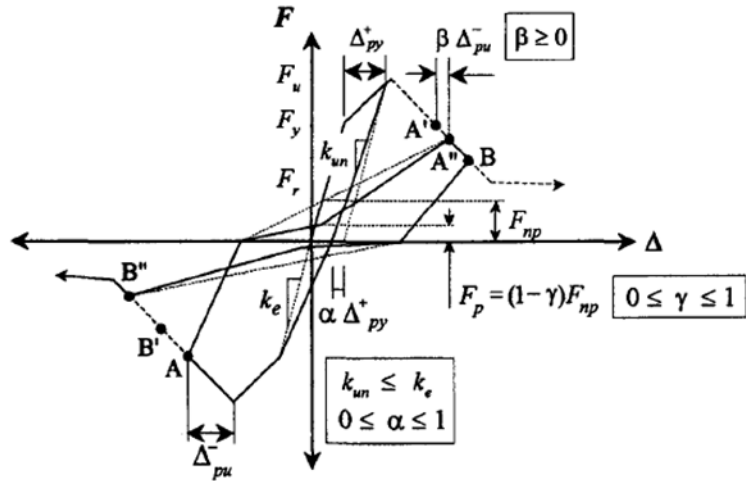
Bouc [33]’te zorlanmış titreşim altındaki TSD sistemler için çok amaçlı, eğrilerle tanımlanmış bir histeretik model geliştirdi. Wen [34]’te Bouc’un önerdiği belirleyici histeretik kuralları genelleştirmiş ve eşdeğer doğrusallaştırma yöntemini temel alarak rastgele titreşim çözümleri için yaklaşık bir yöntem önermiştir. Baber ve Wen [44]’te histeretik enerji sönümünün bir fonksiyonu olarak dayanım ve/veya rijitlik azalmasını içerecek şekilde modeli genişletmişler ve bu özelliği kullanarak ÇSD sistemlere modeli uygulamışlardır. Daha sonra Baber ve Noori [35] ve [45]’te değiştirilmiş Bouc modeline sıkışma etkisini de eklediler. Baber ve Noori’nin [45]’te eklediği “tek eleman sıkışmalı modeli” ile model Bouc-Wen-Baber-Noori (BWBN) olarak isimlendirilmiştir. Birçok araştırmacı histeretik sistemlerin rastgele titreşimlerinin incelenmesinde değiştirilmiş Bouc modelinin ilk versiyonlarını kullanmışlardır. Fakat Baber ve Wen’in [44]’te ve Baber ve Noori’nin [45]’te modele olan eklemeleriyle birlikte model yapı elemanlarının ve sistemlerinin histeretik davranışlarına daha yakın sonuçlar verir duruma gelmiştir.



a) İskelet eğrisi

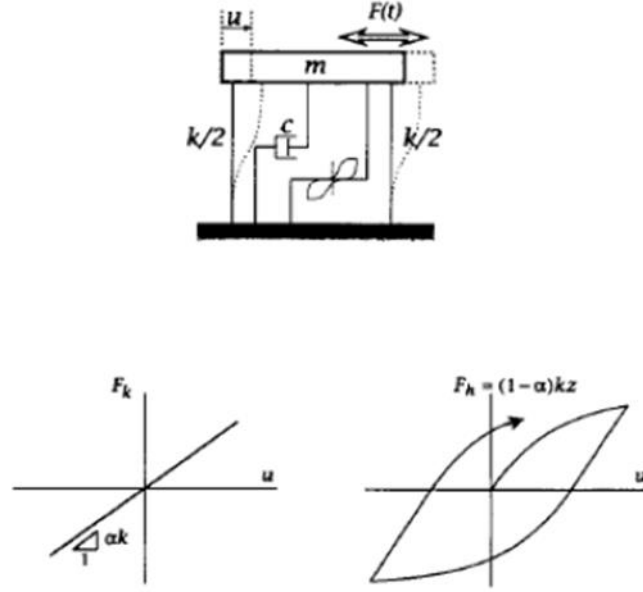


b) Histeretik çevrimin ana kuralları



c) Geri-yükleme için kurallar

Şekil 3.7 Song ve Pincheira Modeli [28]



Şekil 3.8 Bouc-Wen Modeli (histeretik kuvvetten doğrusal kuvvetin ayrılması) [46]

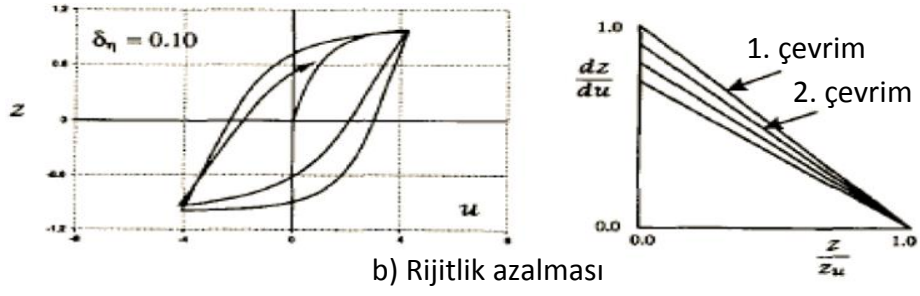
Model, kuvvetin doğrusal ($F_k = \alpha ku$) ve histeretik ($F_h = (1-\alpha)kz$) kısımlarının ayrılmasına dayanmaktadır. Şekil 3.8’de bu kuvvetler gösterilmiştir ve şekilde u toplam görece yerdeğiştirme ve z ise histeretik yerdeğiştirmedir. Böylece toplam kuvvet $F_T = \alpha ku + (1-\alpha)kz$ olur. BWBN modelde histeretik yerdeğiştirme ve toplam yerdeğiştirme aşağıda verilen birinci mertebe diferansiyel denkleme bağlıdır.

$$\dot{z} = h(z) \left\{ \frac{A\dot{u} - v(\beta|\dot{u}| + \gamma|z|^{n-1})z + \gamma\dot{u}|z|^n}{\eta} \right\} \quad (3.2)$$

(3.2) denkleminde A , β , γ ve n histeretik şekil parametreleridir ($n = \infty$ olursa elastoplastik davranış meydana gelir). u ve η sırasıyla dayanım ve rijitlik azalması parametreleridir ($u = \eta = 1$ olursa sistemde azalma olmaz) ve $h(z)$ ise Baber ve Noori tarafından [45]’te eklenmiş sıkışma fonksiyonudur ($h(z) = 1$ olduğunda sıkışma oluşmaz). t anında sistemin söndürdüğü histeretik enerji ε ise dayanım azalması denklemi $u(\varepsilon) = 1 + \delta_u \varepsilon$ şeklinde, rijitlik azalması denklemi ise $\eta(\varepsilon) = 1 + \delta_\eta \varepsilon$ şeklinde tanımlanmaktadır. Şekil 3.9’da δ_u ve δ_η etkisini gösteren grafik görülmektedir. Sıkışmayı sağlayan $h(z)$ farklı formlar alabilir ve aynı zamanda ε ve farklı birkaç parametreye bağlıdır. Sıkışmaya bir örnek dz/du ve z/z_u eksenli grafik üzerinde Şekil 3.10’da gösterilmiştir.

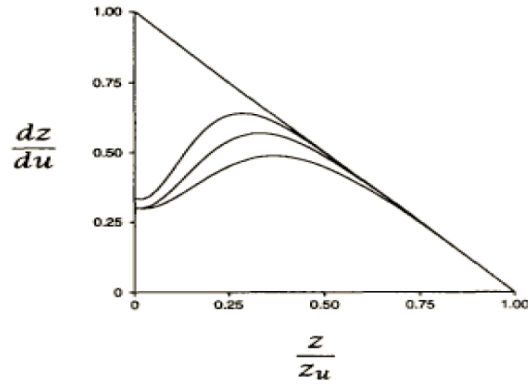


a) Dayanım azalması

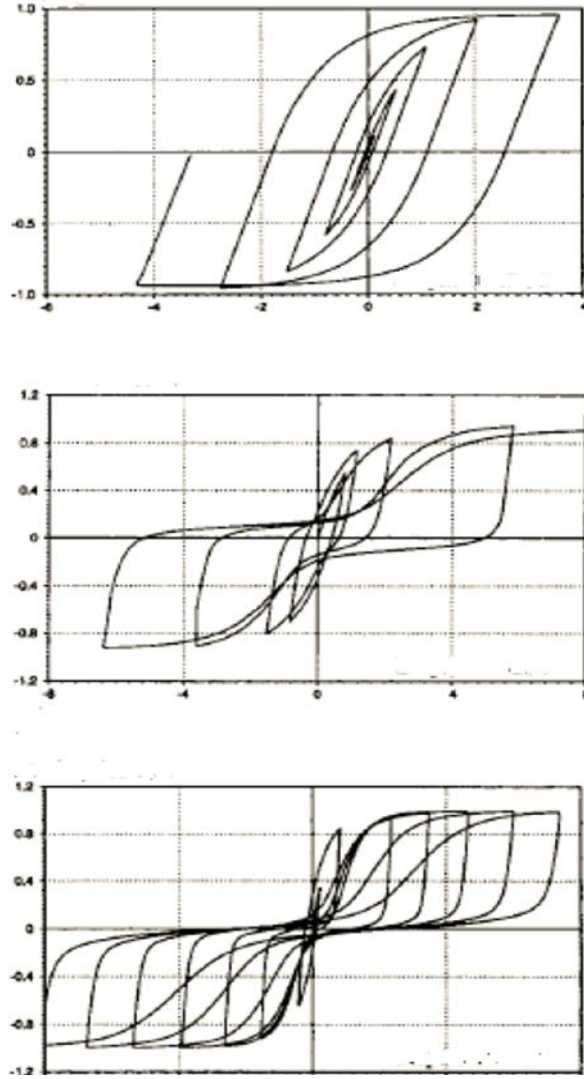


b) Rijitlik azalması

Şekil 3.9 Bouc-Wen Modeli [46]



Şekil 3.10 Baber ve Noori Modelinde histeretik sıkışma etkisi [46]



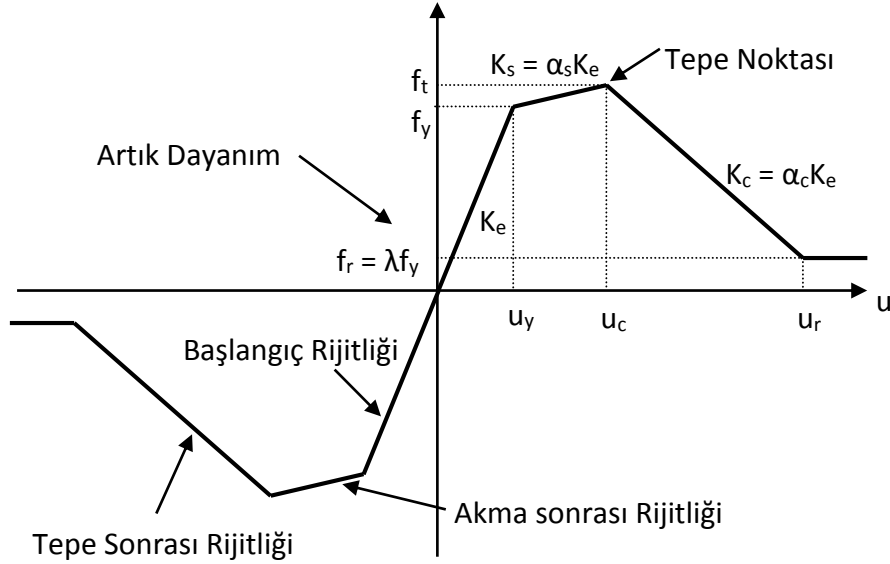
Şekil 3.11 BWBN modeli ile edilmiş bazı histeretik çevrim örnekleri [46]

Bu modelde 13 parametre vardır fakat çok azı tasarımcının kontrolündeki mühendislik büyüklükleriyle ilişkilendirilebilir. Bu modelin en büyük avantajı, Şekil 3.11’de görüldüğü gibi çok amaçlı olmasıdır. Neredeyse her histeretik davranış bir şekilde modellenebilmektedir. En büyük eksiği veya zayıf tarafı ise karmaşıklığı ve mühendislik tasarım parametreleriyle olan ilişkisinin azlığıdır.

3.2.8 Ibarra-Medina-Krawinkler Modeli (Dayanım ve Rijitlik Azalmalı Peak-Oriented Model)

Bu çalışmada kullanılan Ibarra-Medina-Krawinkler modeli, Clough ve Johnston tarafından [23]’te önerilen ve Mahin ve Bertero tarafından [25]’te geliştirilen temel

kuralları içermektedir. Fakat iskelet eğrisinde Şekil 3.12’de gösterildiği gibi dayanımın en büyük olduğu nokta olan *tepe noktasından* sonra yolun eğimi negatif olur (tepe-sonrası eğimi) ve yapının dayanımı en az *artık dayanım* (residual strength) denilen dayanıma kadar düşebilir [5].

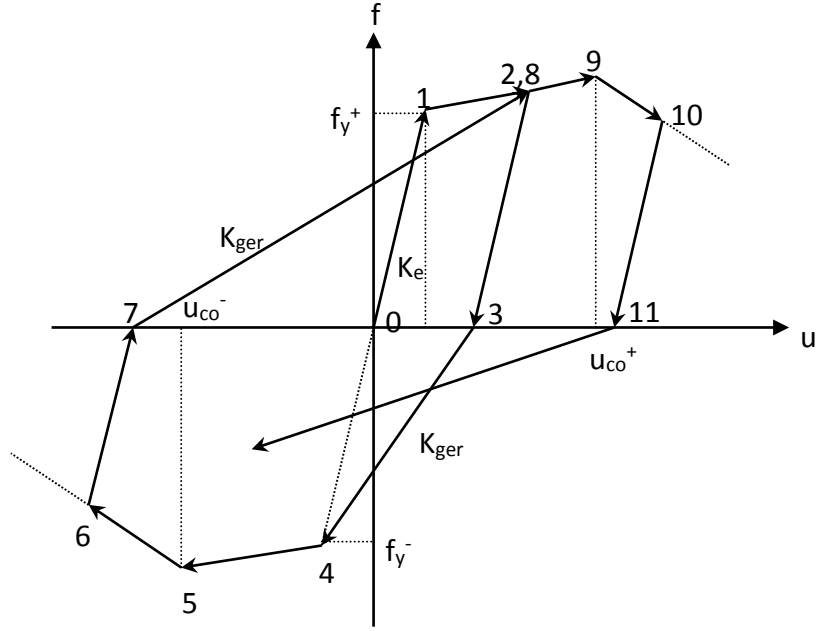


Şekil 3.12 Pike-Yönelik histeretik model için iskelet eğrisi [5]

Şekil 3.12’de "artık dayanım" f_r (3.3) denklemi ile elde edilir.

$$f_r = \lambda f_y \quad (3.3)$$

Şekil 3.13’te Pike Yönelik model için genel bir çevrim davranışı verilmiştir. Şekil 3.13’te pike yönelik model için, yatay eksene ulaşıldığında (3, 7 ve 11 noktaları) geri-yüklemeye rijitliğinin azalması görülmektedir. 3 - 4, 7 - 8 noktaları arasındaki yollar geri-yüklemeye yolu olarak isimlendirilmektedir. Geri-yüklemeye yolu her zaman bir önceki en büyük yerdeğiştirmeyi hedef alır.



Şekil 3.13 Pike-Yönelik histeretik modelin temel çevrim eğrisi [5]

3.2.8.1 Enerji Esaslı Çevrimsel Azalma (Dayanım ve Rijitlik Azalması)

Akma noktası geçildiğinde dört farklı azalma modu gerçekleşebilir. Bunlar; temel dayanım azalması, tepe-sonrası dayanım azalması, yük boşalması rijitliği azalması ve geri-yükleme rijitliği azalması olarak ifade edilmektedir.

Eleman çevrimsel yüklemeye maruz kaldığında çevrimsel azalma hızı, sönmölenen enerji temel alınarak belirlenir ve her elemanın, yükten bağımsız olarak bir çevrimsel enerji sönmö kapasitesinin olduğu kabul edilir [47]. Her (i) yarı-çevrimindeki çevrimsel azalma denklem (3.4)'te verilen β_i parametresiyle tanımlanır. Şekil 3.13'te 0123 noktaları arası bir yarı-çevrimi, 34567 noktaları arası ise diğör yöndeki yarı-çevrimi gösterir.

$$\beta_i = \left(\frac{E_i}{E_t - \sum_{j=1}^i E_j} \right)^{c'} \quad (3.4)$$

(3.4) eşitliğinde;

E_i : i. yarı çevrimde sönmölenen histeretik enerji,

$\sum_{j=1}^i E_j$: pozitif ve negatif taraflarda daha önceki tüm yarı-çevrimlerde, yükleme boyunca sönmölenen histeretik enerjilerin toplamı,

c' : dayanım ve rijitlik azalmasının hızını belirleyen parametre,

E_t : referans histeretik enerji sönüm kapasitesidir.

Referans histeretik enerji sönüm kapasitesi (3.5) eşitliğindeki gibi hesaplanır.

$$E_t = \Upsilon f_y u_y \quad (3.5)$$

(3.5) eşitliğinde Υ akmadaki elastik şekil değiştirme enerjisinin ($f_y u_y$) iki katının bir fonksiyonu olarak histeretik enerji sönüm kapasitesini verir. Υ değeri, deneysel çalışmalara göre belirlenmiştir ve her azalma modu için farklı değerler alabilir [47].

Dayanım ve rijitlik azalmasının hızını belirleyen parametre olan c' 'nin kabul edilebilir değerleri 1.0 ile 2.0 arasındadır. Eğer yerdeğiştirme geçmişi sabit genlikli çevrimlerden meydana gelmişse $c' = 1$ 'de azalma neredeyse sabit bir hızda gerçekleşir. Fakat aynı yerdeğiştirme geçmişinde $c' = 2$ değeri çevrimin başlarında azalmanın hızını yavaşlatırken, ileri çevrimlerde bu hız artar [47].

Yükleme boyunca β_i , $0 < \beta_i \leq 1$ sınırları arasında olmalıdır. Bu sınırlar dışına çıkıldığında histeretik enerji kapasitesinin tüketildiği ve göçmenin gerçekleştiği kabul edilir.

Modelde dört adet temel azalma modu tanımlanmıştır:

Temel Dayanım Azalması

Akma noktasının belli bir katsayıyla çarpılarak azaltılması ile dayanım azalması elde edilir. Şekil 3.14'te şematik olarak gösterilen temel dayanım azalması aşağıdaki gibi göz önüne alınır:

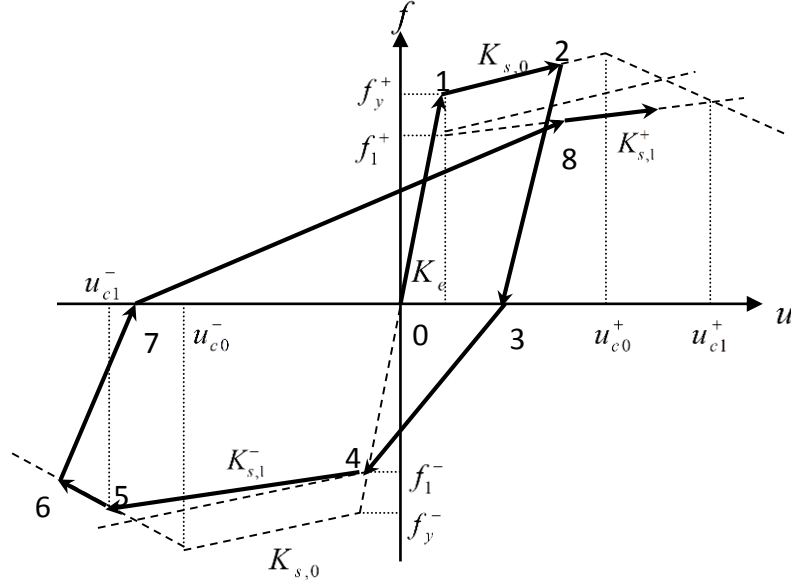
$$f_1^+ = (1 - \beta_{s,1}) f_y^+ \quad (3.6)$$

$$f_1^- = (1 - \beta_{s,1}) f_y^- \quad (3.7)$$

İlk yarı-çevrim tamamlandığında pozitif taraftaki veya negatif taraftaki dayanım (3.6) veya (3.7) eşitliklerinde verildiği gibi azaltılır. Denklem (3.6) ve (3.7) aşağıdaki gibi genelleştirilebilir:

$$f_i^+ = (1 - \beta_{s,i}) f_{i-1}^+ \quad (3.8)$$

$$f_i^- = (1 - \beta_{s,i}) f_{i-1}^- \quad (3.9)$$



Şekil 3.14 Pike-Yönelik model üzerinde temel dayanım azalması [5]

Dayanımın pozitif ve negatif tarafı birbirinden bağımsız şekilde azaltıldığından her azalma parametresi için bir eksi bir de artı işareti vardır. Buna göre f_i^{-} her pozitif yarı-çevrimden sonra, f_i^{+} ise her negatif yarı-çevrimden sonra güncellenir. Çevrim eğrisi yatay eksenini kestiğinde $\beta_{s,i}$ denklem (3.4)'e göre, uygun Υ parametresi ile hesaplanarak (Υ_s) *temel dayanım azalması* gerçekleştirilir.

Temel dayanım azalması modu, denklem (3.10) ve (3.11)'de verilen eşitliğe göre hesaplanan akma sonrası eğimin azalmasını da içerir.

$$K_{s,i}^{+} = (1 - \beta_{s,i})K_{s,i-1}^{+} \quad (3.10)$$

$$K_{s,i}^{-} = (1 - \beta_{s,i})K_{s,i-1}^{-} \quad (3.11)$$

Akma sonrası eğim de pozitif ve negatif taraf için birbirinden bağımsız şekilde azaltılır.

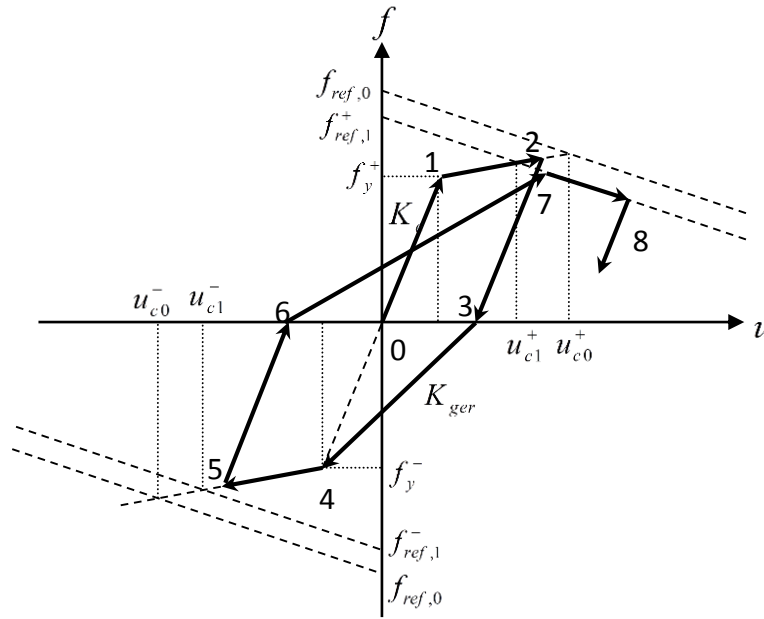
Temel dayanım azalması modu Şekil 3.14'te gösterilen model üzerinde tarif edilmiştir. Nokta 3'te, β_s ilk kez hesaplanır ve negatif taraftaki akma dayanımı'nden f_y^{-} 'den f_1^{-} 'e azaltılır. Ek olarak akma sonrası eğim de $K_{s,0}^{-}$ 'dan $K_{s,1}^{-}$ 'e azaltılır. Nokta 7'de β_s tekrar hesaplanır ve pozitif taraftaki akma dayanımı f_y^{+} 'den f_1^{+} 'e azaltılır.

Tepe Sonrası Dayanım Azalması

Bu azalma modu Şekil 3.15'te tarif edilmiştir ve tepe-sonrası yolunun düşey eksen üzerinde orijine doğru kaydırılması esasına dayanır. Temel dayanım azalmasından farklı olarak tepe-sonrası eğimi sabittir. Tepe-sonrası yolunun, (3.12) ve (3.13)'te verilen eşitliğe göre referans dayanımının azaltılmasıyla elde edilen yeni noktaya kaydırılması ile bu azalma modu elde edilir.

$$f_{ref,i}^+ = (1 - \beta_{c,i})f_{ref,i-1}^+ \quad (3.12)$$

$$f_{ref,i}^- = (1 - \beta_{c,i})f_{ref,i-1}^- \quad (3.13)$$



Şekil 3.15 Pike-Yönelik model üzerinde tepe-sonrası dayanım azalması [5].

$f_{ref}^{+/-}$ düşey eksenle tepe-sonrası yolunun hayali kesiştiği nokta olarak kabul edilir. Pozitif ve negatif tepe-sonrası dayanımının bağımsız şekilde azaltılması sebebiyle pozitif ve negatif işaretle gösterilen referans dayanımlar söz konusudur. Çevrim eğrisi yatay eksenini kestiğinde $\beta_{c,i}$ denklem (3.4)'e göre, uygun Υ parametresi ile hesaplanarak (Υ_c) *tepe-sonrası dayanım azalması* gerçekleştirilir. Tepe-sonrası dayanım azalması, doğrusal olmayan durumun ilk zamanlarında yükleme yolunu (çevrimsel yolların durumunu) etkilemeyebilir. Şekil 3.15'te ilk tepe-sonrası dayanım azalması nokta 3'e gelindiğinde hesaplanır ve negatif referans noktası $f_{ref,1}^-$ 'e taşınır. Negatif yerdeğiştirme tepe-sonrası yoluna ulaşmamış olduğundan çevrimdeki bu düzeltme yükleme yolunu etkilemez.

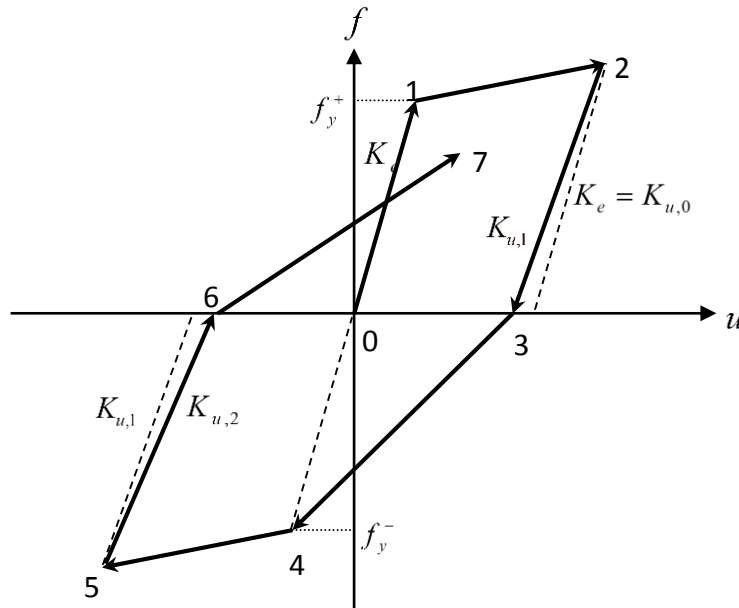
Nokta 6'da tepe-sonrası dayanım azalması tekrar hesaplanır ve bu defa yarı-çevrimde bulunan tepe yerdeğiştirmesi ($u_{c,1}^+$) aşıldığından y¼kleme yolu değiştirilir.

Y¼k Boşalması Rijitliği Azalması

Y¼k boşalması rijitliği (K_u) denklem (3.14)'te verilen eşitliğe g¼re azaltılır.

$$K_{u,i} = (1 - \beta_{k,i})K_{u,i-1} \quad (3.14)$$

$K_{u,i}$ ve $K_{u,i-1}$, i yarı-çevriminden sonraki ve ¼nceki y¼k boşalması rijitlikleridir. $\beta_{k,i}$ denklem (3.4)'e g¼re, uygun Υ parametresi kullanılarak (Υ_k) hesaplanır. Diğer azalma modlarında kullanılan β parametreleri y¼kleme yolu yatay eksenini keştiği anda hesaplanırken, y¼k boşalması rijitliğini azaltmak i¼in kullanılan β parametresi y¼kleme elastik olmayan kısımdan y¼n değiştirdiği anda hesaplanır. Bu y¼zden bu azalma modunda y¼k boşalması rijitliği her iki tarafta da birbirine bağımlı şekilde ger¼ekleřtirilir, negatif veya pozitif taraf denen ayırma kavramı bu modda ge¼erli değildir. Bu azalma modunda $\Upsilon_k = 2\Upsilon_{s,c,a}$ olarak alınır.



Şekil 3.16 Pike-Y¼nelik model ¼zerinde y¼k boşalması rijitliği azalması [5].

Şekil 3.16'da y¼k boşalması rijitliğini i¼eren pike y¼nelik model g¼r¼lmektedir. Nokta 2'de elastik olmayan kısımdaki ilk y¼n değiştirme ger¼ekleřmiř ve y¼k boşalması rijitliği K_e 'den $K_{u,1}$ 'e azaltılmıştır. Nokta 5'te negatif taraftaki ilk y¼n değiştirme ger¼ekleřmiřtir ve y¼k boşalması rijitliği $K_{u,2}$, yeni hesaplanan β_k 'ya ve $K_{u,1}$ 'e g¼re hesaplanmıştır.

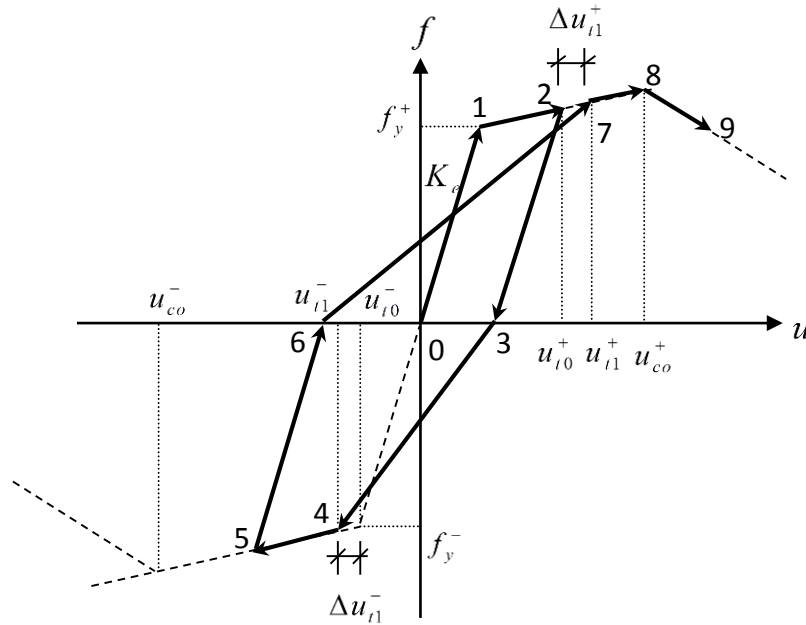
Geri-yükleme Rijitliği Azalması

Bu azalma modu, geçmiş pozitif ya da negatif en büyük yerdeğiştirmeler olan hedef yerdeğiştirmenin mutlak değerini artırır.

$$u_{t,i}^+ = (1 + \beta_{a,i})u_{t,i-1}^+ \quad (3.15)$$

$$u_{t,i}^- = (1 + \beta_{a,i})u_{t,i-1}^- \quad (3.16)$$

şekil 3.17’de gösterildiği gibi her yüklemeye doğrultusu için bir hedef yerdeğiştirme vardır ve geri-yükleme rijitliği azalması yatay eksene her ulaşıldığında hesaplanır. Geri-yükleme rijitliğini azaltmak için gerekli β_a parametresi uygun Υ kullanılarak (Υ_a) denklem (3.4)’e göre hesaplanır.

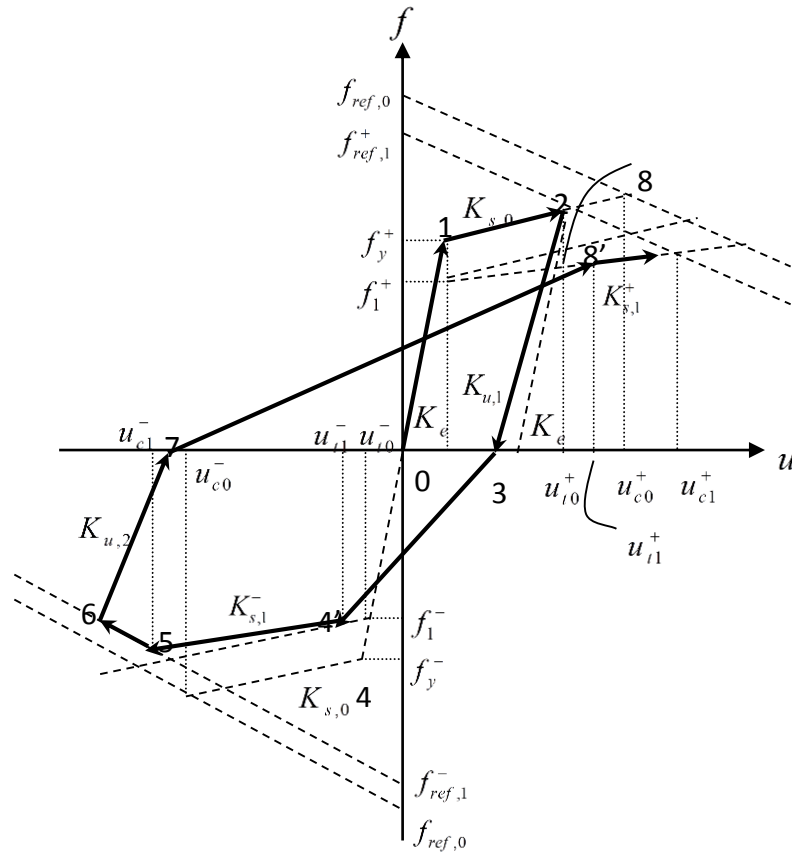


şekil 3.17 Pike-Yönelik model üzerinde geri-yükleme rijitliği azalması [5]

3.2.8.2 Çevrimsel Azalma

şekil 3.18’de yukarıda anlatılan 4 tane modun aynı anda gerçekleştiği çevrimsel azalmaya bir örnek görölmektedir. Buna göre çevrim eğrisi ilk olarak 2 noktasına geldiğinde yük boşalması rijitliği K_e ’den $K_{u,1}$ ’e azalırken, 3 noktasına geldiğinde dayanım f_y^- ’den f_{11}^- ’e, akma sonrası rijitliği $K_{s,0}$ ’dan $K_{s,1}^-$ ’e ve referans dayanımı $f_{ref,0}$ ’dan $f_{ref,1}^-$ ’e azalır. Hedef yerdeğiştirmesi u_{t0}^- bir miktar ötelenir ve yeni hedef yerdeğiştirmesi

u_{t1}^- olur. Böylece çevrim eğrisi 3 noktasından 4 noktasına gitmesi gerekirken 4' noktasına yönelir. Tüm bu azalmalardan sonra tepe noktası yerdeğiştirmesi de $u_{c,0}^-$ 'dan $u_{c,1}^-$ 'e kayar. 5 noktasına gelindiğinde tepe-sonrası eğimine girilmiş olur. Bundan sonra eğri yön değıştirdiğinde, yani 6 noktasına geldiğinde yük boşalması rijitliğı $K_{u,1}$ 'den $K_{u,2}$ 'ye düşer. Eğri 7 noktasına geldiğinde ise dayanım f_y^+ 'den f_1^+ 'e, akma sonrası rijitliğı $K_{s,0}$ 'dan $K_{s,1}^+$ 'e ve referans dayanımı $f_{ref,0}$ 'dan $f_{ref,1}^+$ 'e düşer. Hedef yerdeğiştirmesi u_{t0}^+ bir miktar ötelenir, yeni hedef yerdeğiştirmesi u_{t1}^+ olur. Bunların sonucunda hedef nokta 8 iken 8' olur ve 7 noktasından sonra, 2 noktası yerine 8' noktası hedef alınır.



Şekil 3.18 Dört adet azalma modunun aynı anda gerçekleşmesi sonucu oluşan çevrimsel azalma [5]

3.3 Çalışmada Kullanılan Histeretik Model ve Parametreler

Azalma etkisini tanımlamada 3 genel yöntem vardır. Bunlardan ilkinde azalma eleman sünekliğini kullanarak elde edilir. İkinci yöntemde azalma hem eleman sünekliği hem de sönmölenen histeretik enerjiye bağıldır. Üçüncü yöntemde ise azalma sadece sönmölenen histeretik enerjinin bir fonksiyonudur. İlk yöntem her zaman yeterli

derecede doğru sonuçlar vermez. Özel olarak, sabit süneklik esaslı çevrimsel yüklemeye maruz örneklerde azalma davranışını elde etmede başarısız olmaktadır (Chenouda 2008). İkinci yöntemde azalmayı gerçeğe yakın elde edebilmek için daha fazla sayıda parametreye ihtiyaç vardır ve bu parametrelerin herbirinin kalibre edilmesi gerekmektedir. Bu yöntemi kullanmak karmaşıklığı nedeniyle avantajlı değildir. Son yöntemde azalmayı elde edebilmek adına daha az parametre kullanılmakta, dolayısıyla azalma daha basit bir şekilde elde edilmektedir.

Bu çalışmada, daha önce de ifade edildiği gibi, Bölüm 3.2.9’da ayrıntıları anlatılan ***Ibarra-Medina-Krawinkler Modeli (dayanım ve rijitlik azalmalı Pike Yönelik Model) kullanılmıştır***. Bu model 3 parçalı Değiştirilmiş Clough Modelini esas almaktadır ve azalma sönümlenen histeretik enerjinin bir fonksiyonu olarak kolay bir biçimde elde edilebilmektedir. Aynı zamanda deneysel sonuçlarla benzer sonuçlar verdiği gösterilmiş ve azalma için kullanılan parametrelerin kalibrasyonu da yapılmıştır [5], [48].

Ayrıca Bölüm 3.1’de anlatılan ***Azalmasız İkili-Doğrusal Çevrim Modeli*** de kullanılarak C_R sabitleri elde edilmiş ve azalmalı pike yönelik model için elde edilen C_R sabitleri ile karşılaştırılmıştır.

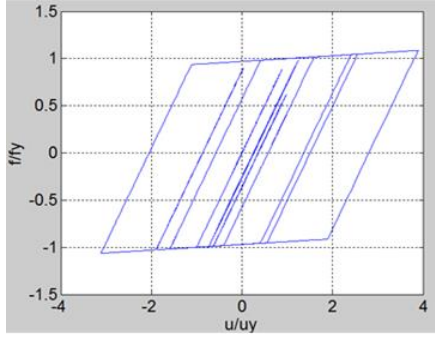
3.3.1 İkili-Doğrusal Çevrim ve Parametreleri

Çözümlemeler yapılırken histeretik çevrimin iskelet eğrisinin sınırlarının tanımlanması gerekmektedir. İkili-Doğrusal çevrimin iskelet eğrisinin sınırlarının tanımlanması için 3 parametre gerekmektedir:

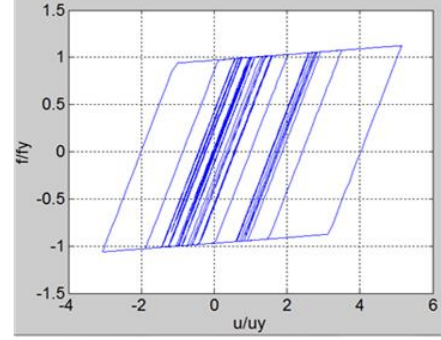
- Bunlardan ilki başlangıç rijitliğidir ki başlangıç rijitliği çalışmada kullanılan her bir periyot için belirlenmektedir. Bu çalışmada $T = 0.1 - 3$ s ($T = 0.1:0.02:0.2, 0.22:0.03:1, 1.1:0.1:3$) arasında 53 adet periyot değeri dikkate alınmıştır.
- İkincisi ise akma noktasının tanımlanmasıdır ve bunun için ise ya f_y akma kuvvetinin veya u_y akma yerdeğiştirmesinin bilinmesi gerekmektedir. Çözümler sabit dayanım için, yani belirli R_y dayanım azalma katsayısı için yapıldığından (3.17) eşitliğinde verildiği gibi elastik tepkiyi seçilen R_y ’ye bölerek akma değeri elde edilmektedir. Bu çalışmada $R_y = 1.5, 2, 3, 4, 5, 6$ olmak üzere 6 adet R_y kullanılmıştır.

$$f_y = \frac{f_e}{R_y} \text{ veya } u_y = \frac{u_e}{R_y} \quad (3.17)$$

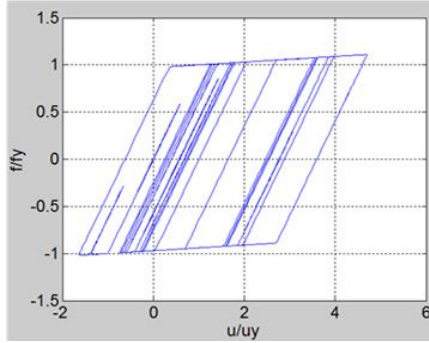
- Üçüncü parametre ise α_s akma sonrası eğimidir. Bu çalışmada $\alpha_s = \%0, \%3$ ve $\%5$ değerleri kullanılmıştır. $\alpha_s = \%0$ değeri elastoplastik davranışı temsil etmektedir.



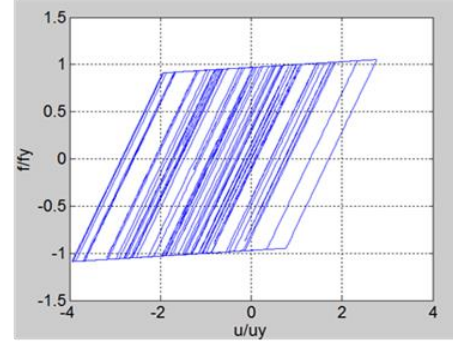
a) Loma Prieta Depremi Point Bonita kaydı



b) Kocaeli, 1999 Depremi Balıkesir kaydı



c) Imperial Valley Depremi Coachella Canal #4 kaydı



d) Chi-Chi Taiwan Depremi CHY054 kaydı

Şekil 3.19 Kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerine örnekler ($T = 1.0$ sn, $R_y = 4$ ve $\alpha_s = \%3$)

Bölüm 2’de anlatıldığı gibi deprem taleplerinin elde edilmesi amacıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yapılmıştır ve bu amaçla hareket denkleminin çözümünde Newmark Yöntemi kullanılmıştır. İkili doğrusal çevrim davranışı kabulüyle zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap MATLAB yazılımında programlanmıştır. Şekil 3.19’da hazırlanan MATLAB programı ile bazı depremler için elde edilen ikili doğrusal kuvvet-yerdeğiştirme çevrim eğrileri görülmektedir.

3.3.2 Azalmalı Pike Yönelik (Ibarra-Medina-Krawinkler) Model Parametreleri

Bölüm 3.3.1’de belirtilen İkili-Doğrusal Modelde kullanılan 3 adet parametre (başlangıç rijitliği, akma noktası ve akma sonrası eğimi), aynı değerlerle bu modelin iskelet eğrisinin

sınırlarının tanımlanması için de kullanılmıştır. Fakat ek olarak çevrimsel azalmayı tanımlayan ve etkileyen histeretik karakteristikler de (γ , u_c/u_y , α_c) belirlenmelidir [5]. Çevrimsel azalmayı etkileyen bu parametrelerin ayrıntıları Bölüm 3.2.9’da anlatılmıştır. Burada bu parametreler için dikkate alınan değerlere değinilecektir. Denklem (3.4)’te verilen c' parametresi de çevrimsel azalmayı hesaplamada gerekli parametrelerden birisi olmasına karşılık Ibarra vd. [5]’te yaptıkları çalışmalarda, çevrimsel azalmanın değerlendirilmesinde c' değerinin sabit bir değer alınabileceğini ve bu değer 1.0 olabileceğini belirtmişlerdir.

Azalmalı model tanıtılırken 4 adet azalma modu tarif edilmiş ve bu her bir azalma modu için farklı γ parametresi (γ_s , γ_c , γ_a , γ_k) kullanılabileceği belirtilmişti. Her azalma modu için farklı γ değeri kullanmak deneysel verilerle doğrulanmaya çalışılan histeretik modelin daha iyi kalibre edilmesini sağlayabilir; öte yandan elde edilen yapı tepkileri γ ’nın küçük değişimlerine fazla hassas değildir [5]. Aynı zamanda azalma etkisinin araştırılması adına tüm azalma durumları için tek bir γ değeri kullanmak yeterince etkin olacaktır [5]. Bu çalışmada azalmanın hızını belirleyen γ parametresi için 50, 100, 150 değerleri dikkate alınmıştır. **$\gamma = 50$ hızlı azalmayı, $\gamma = 100$ orta hızda azalmayı ve $\gamma = 150$ ise yavaş azalmayı** sağlamaktadır [49]. Ayrıca dayanım azalması davranışın etkisini araştırmak adına **$\gamma = \text{sonsuz}$** alınmıştır. Bu sayede çevrimsel dayanım azalması oluşmamakta, tepe-sonrası eğime girildiğinde, negatif eğimden dolayı çevrimiğin azalma oluşmaktadır.

u_c/u_y oranı *süneklik kapasitesidir*. **$u_c/u_y = 2$ gevrek sistemleri, $u_c/u_y = 4$ sünek sistemleri ve $u_c/u_y = 6$ ise yüksek süneklikli sistemleri** temsil etmektedir [50]

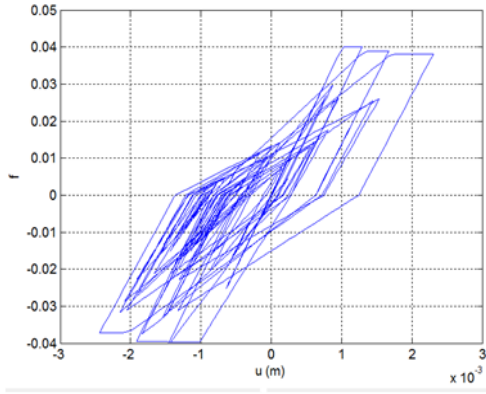
α_c tepe-sonrası eğimi oranıdır. Chenouda and Ayoub [49]’da yaptıkları çalışmalarında **küçük tepe-sonrası eğimi oranı için -%6** değerini önermişlerdir. Küçük eğim, dayanım azalması az ve sünek sistemler için geçerli olabilir. **Büyük eğimler için -%21** değeri kullanılmıştır [11]. Bu çalışmada **orta büyüklükte eğimler için -%14** değeri kabul edilmiştir. Göçme kapasitesi, α_c ’nin küçük değerlerinde α_c ’deki değişimden önemli derecede etkilenir, fakat α_c ’nin büyük değerlerinde, α_c değişimi göçme kapasitesi üzerinde fazla etkili değildir [50]. Bu yüzden -%21 üst sınır olmak üzere -%6 ve -%14 değerlerinin azalma etkisini incelemek için yeterli olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak γ parametresi için 50, 100, 150 değerleri, u_c/u_y süneklik oranı için 2, 4, 6 değerleri, α_c tepe-sonrası eğimi için -%6, -%14 ve -%21 değerleri kullanılmıştır. Bu üç azalma parametresinin farklı tüm kombinasyonları dikkate alınmka üzere 27 adet farklı azalma durumu dikkate alınmıştır.

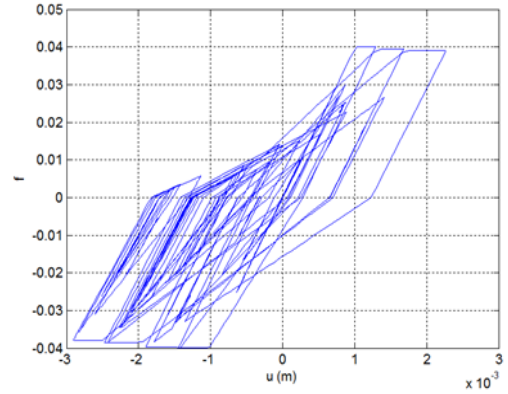
Artık dayanım katsayısı $\lambda = 0$ alınmıştır. Böylece tepe-sonrası eğrisi yatay eksene kadar ulaşabilmektedir ve bu eğri yatay ekseni kestiğinde göçmenin gerçekleştiği kabul edilerek çözümlemeye son verilmiştir [51], [5], [49]. Her azalma kombinasyonu için sistematik bir isimlendirme yapılmıştır. Örneğin $\gamma_{50_u_c/u_y4_ \alpha_c14}$ $\gamma = 50$, $u_c/u_y = 4$ ve $\alpha_c = -0.14$ değerlerinin kabul edildiği azalma kombinasyonunu göstermektedir. Çalışmada kabul edilen 36 adet azalma kombinasyonu Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Gerek göçme kapasitesine gerekse elastik olmayan yerdeğiştirme talebine **sıkışmanın (pinching)** etkisi azdır [50]. Bu sebepten, bu çalışmada **sıkışma etkisi** dikkate alınmamıştır.

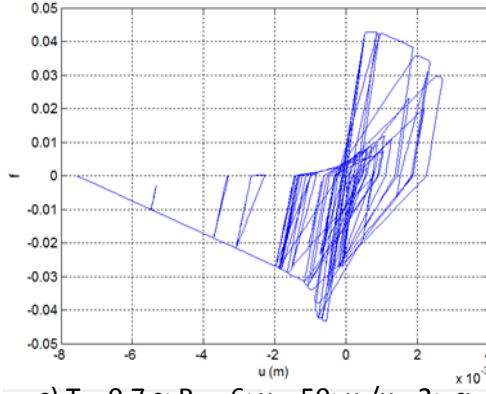
Azalmalı pike yönelik çevrim davranışını esas alan zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap MATLAB yazılımında programlanmıştır. MATLAB kodu hazırlanırken histeretik çevrimin kuralları için SNAP teorik açıklama el kitabından faydalanılmıştır. Şekil 3.20'de San Fernando (1971) depremi için MATLAB'de hazırlanan program ile elde edilmiş çeşitli azalma parametreleri için bazı çevrim eğrileri görülmektedir. Şekil 3.21'de CUREE standart yükleme protokolü [52], Şekil 3.22'de de CUREE standart yükleme protokolü kullanılarak elde edilen eğriler gösterilmiştir [52]. Şekil 3.21'de verilen CUREE yükleme değişiminin temel amacı 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan ve yakın fay etkisini içermeyen düzenli yer hareketlerini temsil etmektir ve bu yüklemede yükün değişimi yerdeğiştirme genliklerindeki değişimle sağlanmaktadır. Şekil 3.22'de verilen eğriler ile azalma parametrelerinin (γ , u_c/u_y , α_c) etkileri daha açık bir şekilde görülebilmektedir.



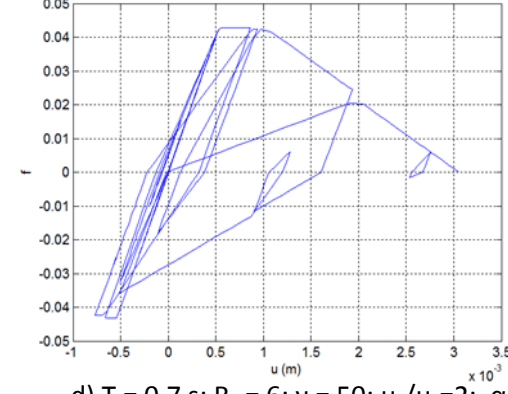
a) $T = 1$ s; $R_y = 4$; $\gamma = 50$; $u_c/u_y=4$; $\alpha_c = -0.06$; $\alpha_s = 0$



b) $T = 1$ s; $R_y = 4$; $\gamma = 100$; $u_c/u_y=4$; $\alpha_c = -0.06$; $\alpha_s = 0$

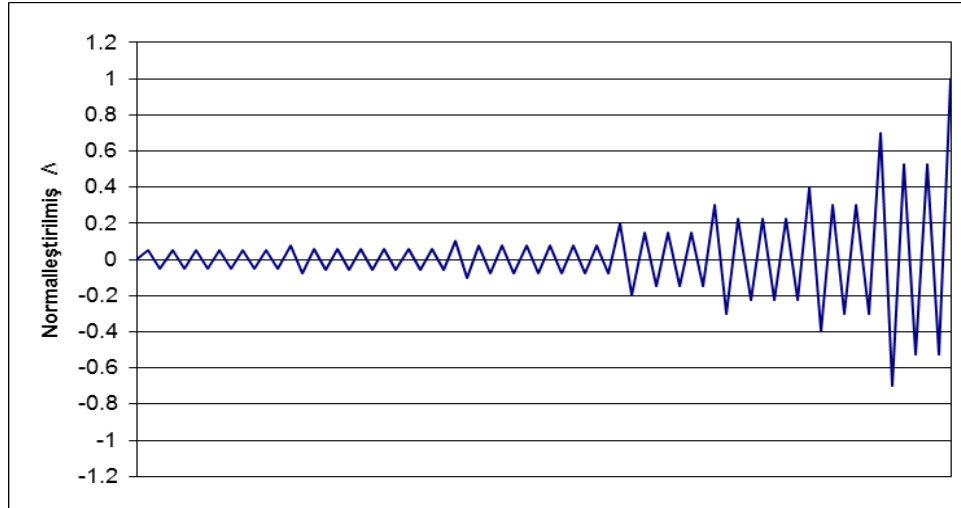


c) $T = 0.7$ s; $R_y = 6$; $\gamma = 50$; $u_c/u_y=2$; $\alpha_c = -0.06$; $\alpha_s = 0$

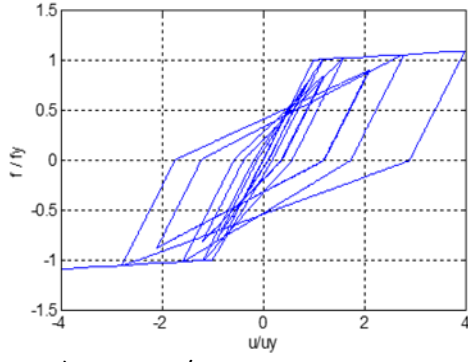


d) $T = 0.7$ s; $R_y = 6$; $\gamma = 50$; $u_c/u_y=2$; $\alpha_c = -0.25$; $\alpha_s = 0$

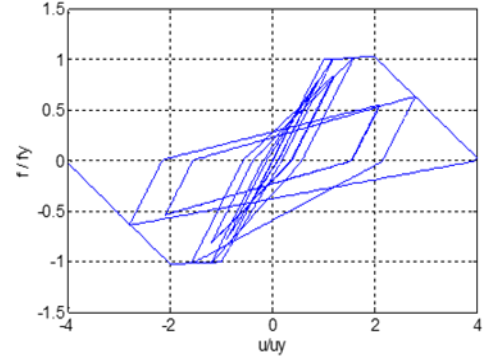
Şekil 3.20 San Fernando (1971) depremi için bazı çevrim eğrilerine örnekler



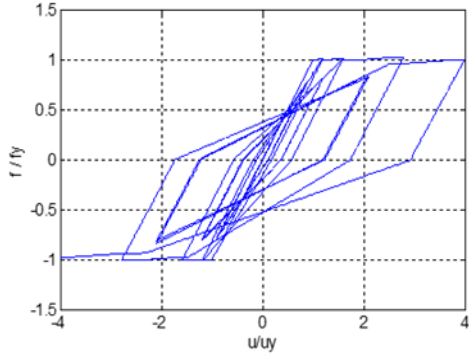
Şekil 3.21 CUREE standart yükleme protokolü [52]



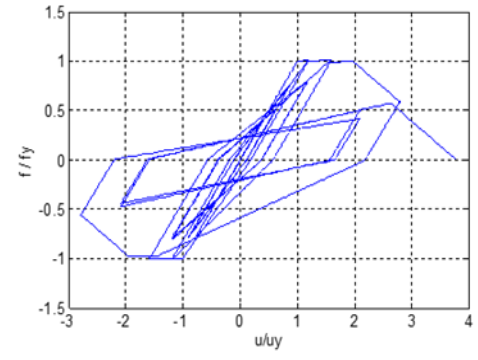
a) $\gamma = \infty$; $u_c/u_y=6$; $\alpha_c = -0.50$; $\alpha_s = 0.03$



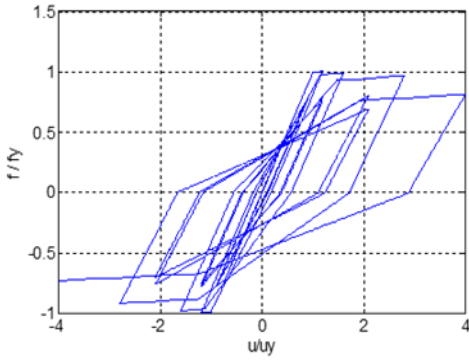
b) $\gamma = \infty$; $u_c/u_y=2$; $\alpha_c = -0.50$; $\alpha_s = 0.03$



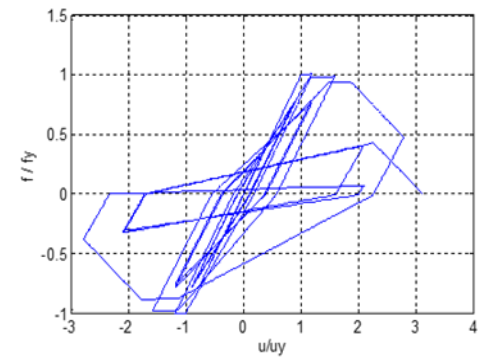
c) $\gamma = 100$; $u_c/u_y=6$; $\alpha_c = -0.50$; $\alpha_s = 0.03$



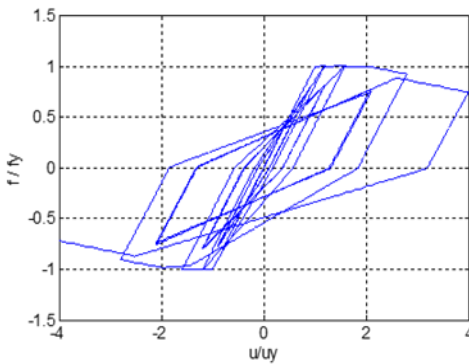
d) $\gamma = 100$; $u_c/u_y=2$; $\alpha_c = -0.50$; $\alpha_s = 0.03$



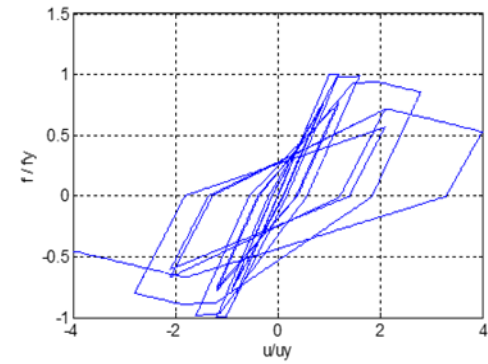
e) $\gamma = 50$; $u_c/u_y=6$; $\alpha_c = -0.50$; $\alpha_s = 0.03$



f) $\gamma = 50$; $u_c/u_y=2$; $\alpha_c = -0.50$; $\alpha_s = 0.03$



g) $\gamma = 100$; $u_c/u_y=2$; $\alpha_c = -0.06$; $\alpha_s = 0.03$

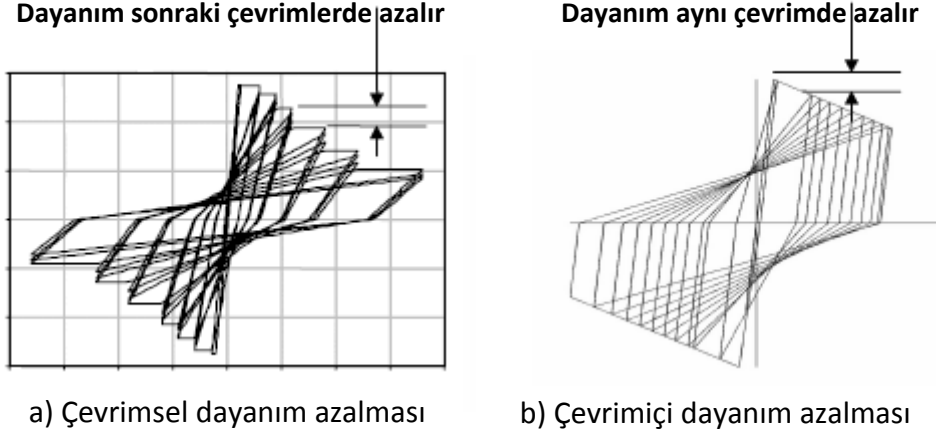


h) $\gamma = 50$; $u_c/u_y=2$; $\alpha_c = -0.06$; $\alpha_s = 0.03$

Şekil 3.22 CUREE standart yükleme protokolü için bazı çevrim eğrilerine örnekler

Şekil 3.21’de yatay eksen zaman artımını göstermektedir ki bu artım tasarımcının kararına bağlıdır, düşey eksen ise yerdeğiştirmelerin, sistemde oluşması istenen en büyük yerdeğiştirmeye bölünerek normalleştirilmiş halidir.

Histeretik çevrim boyunca iki tip dayanım azalması gerçekleşebilir [21]. Bunlar *çevrimsel dayanım azalması* ve *çevrimiçi dayanım azalması* olarak isimlendirilmişlerdir.



Şekil 3.23 Dayanım azalması tipleri [21]

Şekil 3.23a’da gösterilen çevrimsel dayanım azalmasında yapı çevrim boyunca dayanımını korumakta, takip eden çevrimlerde kaybetmektedir. Herhangi bir çevrim boyunca eğrinin elastik ötesi eğimi negatif değildir. Şekil 3.23b’de gösterilen çevrimiçi dayanım azalmasında ise elastik ötesi eğim negatiftir ve bu yüzden azalma aynı çevrimde gerçekleşmektedir. Burada eğimin negatif olması P-Δ etkisiyle oluşabilir veya çalışmada kullanılan modelin özelliği olan, yapının ulaşabileceği en büyük dayanımdan sonra ani rijitlik kaybından dolayı dayanımının düşmesiyle ortaya çıkabilir.

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan azalma kombinasyonları

	İsim	γ	α_c	u_c/u_y
1	$\gamma_{50_ \alpha_{c6_} u_c/u_y2}$	50	-%6	2
2	$\gamma_{50_ \alpha_{c6_} u_c/u_y4}$	50	-%6	4
3	$\gamma_{50_ \alpha_{c6_} u_c/u_y6}$	50	-%6	6
4	$\gamma_{50_ \alpha_{c14_} u_c/u_y2}$	50	-%14	2
5	$\gamma_{50_ \alpha_{c14_} u_c/u_y4}$	50	-%14	4
6	$\gamma_{50_ \alpha_{c14_} u_c/u_y6}$	50	-%14	6
7	$\gamma_{50_ \alpha_{c21_} u_c/u_y2}$	50	-%21	2
8	$\gamma_{50_ \alpha_{c21_} u_c/u_y4}$	50	-%21	4
9	$\gamma_{50_ \alpha_{c21_} u_c/u_y6}$	50	-%21	6
10	$\gamma_{100_ \alpha_{c6_} u_c/u_y2}$	100	-%6	2
11	$\gamma_{100_ \alpha_{c6_} u_c/u_y4}$	100	-%6	4
12	$\gamma_{100_ \alpha_{c6_} u_c/u_y6}$	100	-%6	6
13	$\gamma_{100_ \alpha_{c14_} u_c/u_y2}$	100	-%14	2
14	$\gamma_{100_ \alpha_{c14_} u_c/u_y4}$	100	-%14	4
15	$\gamma_{100_ \alpha_{c14_} u_c/u_y6}$	100	-%14	6
16	$\gamma_{100_ \alpha_{c21_} u_c/u_y2}$	100	-%21	2
17	$\gamma_{100_ \alpha_{c21_} u_c/u_y4}$	100	-%21	4
18	$\gamma_{100_ \alpha_{c21_} u_c/u_y6}$	100	-%21	6
19	$\gamma_{150_ \alpha_{c6_} u_c/u_y2}$	150	-%6	2
20	$\gamma_{150_ \alpha_{c6_} u_c/u_y4}$	150	-%6	4
21	$\gamma_{150_ \alpha_{c6_} u_c/u_y6}$	150	-%6	6
22	$\gamma_{150_ \alpha_{c14_} u_c/u_y2}$	150	-%14	2
23	$\gamma_{150_ \alpha_{c14_} u_c/u_y4}$	150	-%14	4
24	$\gamma_{150_ \alpha_{c14_} u_c/u_y6}$	150	-%14	6
25	$\gamma_{150_ \alpha_{c21_} u_c/u_y2}$	150	-%21	2
26	$\gamma_{150_ \alpha_{c21_} u_c/u_y4}$	150	-%21	4
27	$\gamma_{150_ \alpha_{c21_} u_c/u_y6}$	150	-%21	6

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan azalma kombinasyonları (devam...)

28	$\gamma_{Inf_ \alpha_c6_u_c/u_y2}$	sonsuz	-%6	2
29	$\gamma_{Inf_ \alpha_c6_u_c/u_y4}$	sonsuz	-%6	4
30	$\gamma_{Inf_ \alpha_c6_u_c/u_y6}$	sonsuz	-%6	6
31	$\gamma_{Inf_ \alpha_c14_u_c/u_y2}$	sonsuz	-%14	2
32	$\gamma_{Inf_ \alpha_c14_u_c/u_y4}$	sonsuz	-%14	4
33	$\gamma_{Inf_ \alpha_c14_u_c/u_y6}$	sonsuz	-%14	6
34	$\gamma_{Inf_ \alpha_c21_u_c/u_y2}$	sonsuz	-%21	2
35	$\gamma_{Inf_ \alpha_c21_u_c/u_y4}$	sonsuz	-%21	4
36	$\gamma_{Inf_ \alpha_c21_u_c/u_y6}$	sonsuz	-%21	6

BÖLÜM 4

GÖÇME

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, göçmenin önlenmesi her zaman önemli bir amaç olmuştur. Deprem dolayısıyla yaralanmalar, ölümler ve ekonomik kayıpların en büyük sebebi yapıların göçmesidir ve işte bu nedenle deprem mühendisliğinin temel hedeflerinden biri farklı yapı tiplerinin göçme potansiyellerini kestirebilmektir [53]. Deprem mühendisliğinde göçme, deprem etkisi ile yapının düşey yükleri taşıyacak durumda olamamasını ifade etmektedir [54]. Göçme, yerel veya toptan olabilir. Örneğin, eğer bir düşey yük taşıyan eleman basınç etkisi dolayısıyla göçerse veya yatay ve düşey elemanlar arasında kayma gerilmelerinin aktarımı gerçekleşemezse *yerel göçme* meydana gelir. Toptan göçmenin ise birkaç sebebi olabilir. Yerel göçmenin elemandan elemana yayılması peşpeşe gelen veya aşamalı bir göçmeye sebep olabilir [55], [56]. Herhangi bir katın yerdeğiştirmesi çok büyük ise bu aşamalı göçme, toptan göçmeye neden olabilir. Her iki durumda da göçmenin belirlenebilmesi için çevrimsel yüke maruz yapı elemanlarının yük-şekildeğiştirme ilişkilerinde azalma özelliklerinin modellenmesi ve P- Δ etkisinin gözönüne alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada kullanılan histeretik çevrim modelinin göçmeyi tarif eden özellikleri esas alınarak TSD sistemler için göçme durumu incelenmiştir. TSD sistemlerin göçmeye yakın davranışlarını tarif edebilmek adına göçme periyodu olarak adlandırılan sınır değeri veren bir denklem önerilmiştir. Ele alınan sistemin periyodu önerilen göçme periyodundan kısa olduğunda sistemde dinamik instabilite dolayısıyla göçme meydana gelecektir.

4.1 Toptan Göçme Üzerine Yapılan Çalışmalar

4.1.1 Göçme üzerine yapılmış deneysel çalışmalar

Vian ve Brunea [57]'de 15 farklı TSD çelik çerçeve sistemleri için sarsma tablası deneyleri yapmışlar ve kullanılan depremlerin şiddetini P-Δ etkisiyle göçme oluşana kadar aşamalı olarak artırmışlardır. Stabilite katsayısının, yapı davranışı üzerinde en önemli etkiye sahip parametre olduğunu göstermişler ve bu katsayı arttığında göçme olmaksızın karşılanabilecek spektral ivme dolayısıyla deprem yükü ve en büyük görece kat ötelemesinin azalacağını ifade etmişlerdir.

Kanvinde [58]'de Vian ve Bruneau'nun [57]'deki çalışmalarını genişleterek daha farklı TSD sistemler üzerinde çalışmıştır. OpenSees [59] platformunu kullanarak TSD sistemlerin P-Δ dolayısıyla göçmesinin analitik olarak yeterince yaklaşıklıkta elde edilebileceğini göstermiştir.

Elwood [60]'ta kolonları düşük sünekliğe sahip betonarme çerçevelerin göçme mekanizmalarını incelemek üzere 1/2 ölçekli betonarme çerçevelerde sarsma tablası deneyleri yapılmıştır.

Rodgers ve Mahin [61]'de iki katlı tek açıklıklı moment aktaran çelik çerçevelerle sarsma tablası deneyleri yapmışlar ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelen hasarların çerçevelerin davranışına etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca analitik çalışmalarla da sonuçları irdelenmiştir. Deneysel ve analitik çalışmalar göstermiştir ki göçme, meydana gelen ufak hasarlar sonrası histeretik davranış biçimi ve dayanım kaybı, P-Δ ve büyük deprem hareketlerinden dolayı olmaktadır.

4.1.2 Göçme üzerine yapılmış analitik çalışmalar

Toptan göçme üzerine yapılan ilk çalışmalarda kullanılan histeretik modeller dayanım ve/veya rijitlik azalmasını dikkate almamakta, dolayısıyla artan çevrimle oluşan bu azalmaların göçmeye etkisi araştırılamamakta, yalnızca histeretik çevrimin akma sonrası eğiminin rijitliğinin negatif olması durumunu ifade eden P-Δ etkisiyle meydana gelecek toptan göçme incelenmekteydi. Jening ve Husid [62]'de malzemenin doğrusal olmayan davranışını dikkate almak üzere azalmasız bilineer yaylar kullanarak tek katlı bir

çerçeve modeli incelemişler ve göçmeyi etkileyen en önemli parametrelerin yapının yüksekliği, depremin şiddetinin yapının akmasına oranı ve ikili doğrusal histeretik çevrim kabulünde akma sonrası eğim olduğunu göstermişlerdir. Göçme için gerekli yer hareketi şiddetinin, yer hareketinin süresine önemli derecede bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Sun vd. [63]'te TSD bir sistemin dinamik davranışına ve periyodun değişimine yerçekimi etkisini incelemişlerdir. Göçme olmaksızın sistemin yapabileceği en büyük yerdeğiştirmenin doğrudan stabilite katsayısına ve sistemin akma yerdeğiştirmesine bağlı olduğunu göstermişlerdir. Bernal [64]'te bu stabilite katsayısı üzerine ayrıntılı bir çalışma yapmış ve $P-\Delta$ etkisini dikkate alan ve almayan spektral ivme oranı temelli büyütme katsayıları (amplification factors) önermiştir. Elastoplastik TSD sistemlerde tüm periyotlar için aynı stabilite katsayıları önerdiğinden dolayı periyot ve büyütme katsayıları arasında dikkate değer bir ilişki gözlenememiştir.

MacRae [65]'te $P-\Delta$ etkisini dikkate alarak farklı akma sonrası eğimleri için Bernal'ın [64]'te yaptığı çalışmayı genişletmiştir ve sistem stabilitesini etkileyen en önemli parametrenin akma sonrası eğim olduğunu göstermiştir.

Araki ve Hjelmstad [66]'da uç uca eklenmiş L uzunluğunda kütsüz çubuklara bağlı kütlelerden oluşan N serbestlik dereceli sistemlerin dinamik göçmelerini elde etmişlerdir. Çubuklar birbirlerine elastoplastik yaylar ile bağlanmıştır ve sinüzoidal titreşimler ve yalnızca 1 adet yer hareketi kaydı için çözümler yaparak dinamik göçme için 2 adet kıstas önermişlerdir. Bu kıstaslar dinamik yükler için mod şekilleri ve kinetik enerjinin birer fonksiyonları şeklinde elde edilmiştir. Yapılan çalışmada rastgele titreşimler çalışılmamış, geometri ve malzeme özellikleri kaynaklı doğrusal olmama durumu ihmal edilmiştir.

Medina [67]'de dayanım ve rijitlik azalmasını içermeyen yapı sistemlerinin performansını değerlendirmek üzere tek açıklıklı çerçeveler için "Artımsal Dinamik Analiz" (ADA) yaklaşımını kullanarak mühendislik talep parametreleri (görelî kat ötelemesi, çatı yerdeğiştirmesi vb.) için risk eğrisi geliştirmiştir. Son yıllarda ADA, yapıların performanslarını araştırmada yaygın biçimde kullanılmaktadır; çünkü ADA ile yapıların dinamik instabiliteye kadar olan elastik ve elastik ötesi davranışları elde edilebilmektedir [68], [10]. Belli sayıda yer hareketi kaydı seçilir ve bunların yapısal davranış üzerindeki,

etkisini ifade eden bir parametre kademeli olarak artırılarak doğrusal olmayan dinamik analiz yapılır. Yer hareketlerinin şiddetleri toptan göçme gerçekleşene kadar artırılır [69]. ADA sonuçları genelde yatay eksen istem parametresini (görelî kat ötelemesi, dönme, birim şekil değıştirme...) ve düşey eksen de şiddet ölçüsünü gösteren (spektral yerdeğıştirme, spektral ivme, en büyük yer ivmesi...) bir grafikte gösterilir. Lee ve Foutch, dinamik instabilitenin başlangıcını, ADA eğrisinin eğiminin, elastik bölgedeki başlangıç eğiminin %20'sinden daha az bir eğime düştüğü nokta olarak tanımlanmıştır [70].

Miranda ve Akkar [11]'de TSD sistemlerde P-Δ etkisiyle dinamik instabilitenin ortaya çıkmaması için gereken en küçük yatay dayanımı elde etmek adına akma-sonrası eğim ve doğal periyodun fonksiyonu olan bir denklem önermişlerdir. Çalışmalarında negatif akma-sonrası eğimli azalmasız ikili doğrusal histeretik davranış kabulü ile Kaliforniya bölgesinde kaydedilmiş 72 adet yer hareketi kaydı kullanmışlardır. Küçük negatif akma-sonrası eğimli sistemler için kısa periyot bölgesinde, periyodun dinamik instabilitenin ortaya çıkmaması için gereken en küçük yatay dayanım üzerinde dikkate değeri bir etkisinin olduğunu gözlemlemişlerdir. Elde edilen yatay dayanımdaki saçılma negatif akma-sonrası eğim azaldıkça ve periyot arttıkça artmaktadır.

Adam vd. [71]'de eşdeğer TSD sistem kabulüyle ÇSD sistemlerin göçme kapasitelerini elde etmek üzere bir yöntem önermişlerdir. Azalmasız ÇSD sistemlerde P-Δ etkisini elde etmek için önerilen yöntemle eşdeğer TSD sistemin kullanılmasının uygun sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Wei vd. [72]'de azalmasız elastoplastik histeretik davranış kabulüyle, 308 adet yer hareketi kaydı ve farklı TSD sistemler için ZTADOH yaparak, regresyon çözümlemesiyle P-Δ etkisinin tasarım aşamasında dikkate alınmasında kullanılabilecek katsayılar önermişlerdir. Hedef yerdeğıştirme elde edilirken P-Δ etkisinin yapı yerdeğıştirmesini artırarak göçmeyi çabuklaştırmasını hesaba katmak üzere, tasarımda esas alınan yatay dayanım artırılır. Wei vd. [72]'de yaptıkları bu çalışmada yerdeğıştirme ve yatay dayanım artırma katsayıları olan λ_Δ ve λ_F için denklemler önermişlerdir. Ayrıca göçmenin önlenmesi performans seviyesi için stabilite katsayısı $\theta_\Delta = 0.15$ üst limitinin uygun olduğunu söylemişlerdir.

Deneyisel çalışmalar göstermiştir ki tüm malzemeler elastik olmayan davranışlarında çevrimsel yük altında azalma (deterioration) gösterirler [4]. Bu sebeple çevrimsel yüklere maruz bir yapının gerçeğe en yakın davranışını dikkate alarak çözümler yapabilmek için histretetik çevrimde azalma etkisinin dikkate alınması gerekir.

Takizawa ve Jennings [73]'te yaptıkları çalışmada azalmasız üç parçalı ve dayanım azalmalı 4 parçalı histeretik davranış esas alarak eşdeğer TSD sistem kabulüyle betonarme bir çerçevenin depremden dolayı göçme potansiyelini araştırmışlardır. Bu çalışma P-Δ etkisinin ve azalmanın dikkate alındığı ilk çalışmalardan biridir. Yazarlar yer hareketi süresinin yapının göçmesinde oldukça etkili olduğunu göstermişlerdir.

Bernal [8]'de düzlem çerçevelerin dinamik instabiliteye karşı güvenliğini değerlendirmek üzere basitleştirilmiş bir yöntem geliştirmiştir. Rijitlik azalmalı elastoplastik eşdeğer TSD sistemler için, sıkı zeminlerde kaydedilmiş 24 adet yer hareketi kaydı kullanarak bir takım istatistiksel değerlendirmeler yapmıştır. Yaptıkları çalışmada P-Δ etkisini dikkate almışlardır. Yöntem, instabilite kaybını önleyecek en küçük taban kesme kuvvetiyle ilgili bir istatistiksel ifade elde etmeye dayalıdır. Stabilite kaybının ortaya çıkmayacağı güvenli sınır, gerçek taban kesme kuvveti kapasitesinin, istatistiksel çalışmalarla elde edilmiş bu en küçük taban kesme kuvvetine oranıyla elde edilmiştir. Kabul edilen göçme mekanizmasının şeklinin stabilite kaybına karşı güvenliği önemli derecede etkilediğini göstermiştir. Bernal vd. [74]'te benzer bir çalışmayı yakın alan etkisini içeren deprem kayıtları kullanarak da yapmıştır.

Ascheim ve Black [75]'te TSD sistemlerin en büyük yerdeğiştirmelerine, daha önce oluşan hafif ön hasarların etkisini araştırmak için bir çalışma yapmışlardır ve histeretik davranış olarak Takeda modelini esas almışlardır. Sözü edilen hafif hasar, kalıcı yerdeğiştirmenin ihmal edilebilir olduğu varsayılarak başlangıç rijitliğinde bir azaltma yapılarak modellenmiştir. Ön hasar olsa da olmasa da negatif akma-sonrası eğime sahip TSD sistemlerin göçmeye çok yatkın olduğunu göstermişlerdir.

Lee ve Foutch [70]'te FEMA/SAC kapsamında önerilen yeni moment aktaran çelik çerçevelerin performansını değerlendirmek üzere ADA yaklaşımını kullanarak sistemin görelî yerdeğiştirme kapasitelerini araştırmışlardır.

Jalayer de [76]'da standart betonarme ve çelik binaların dinamik instabilite kapasitelerini elde edebilmek adına ADA yaklaşımını kullanmıştır. Jalayer çalışmasında, Pincheira vd. [43]'te geliştirdikleri modeli esas alarak kolonların kesme kırılmalarından meydana gelen dayanım azalmasını dikkate almıştır.

Williamson [77]'de değiştirilmiş Park ve Ang hasar modelini esas alarak TSD sistemlerin deprem tepkilerini araştırmıştır. Çalışmasında $P-\Delta$ ve azalma etkisini dikkate almıştır. Yapı tepkisinin, hem depremin hem de yapının özelliklerine oldukça duyarlı olduğunu göstermiştir.

Mehanny ve Deierlein [78] ve [79]'da betonarme kolonlar ve çelik veya kompozit kirişlerden oluşan kompozit yapıların göçme durumunu araştırmışlardır. Eleman hasar indeksini kullanarak deprem etkisinde yapı göçmesi olasılığını değerlendirmek için bir yöntem önermişlerdir. Hasar indeksi, hasar görmüş kesitlerin dayanım ve rijitliğindeki azalmanın belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Zareian [80]'de çerçeve ve perdeli sistemlerde yapısal parametrelerin geniş bir kombinasyonunu kullanarak göçme kapasitesini ayrıntılı olarak incelemiş ve tasarım aşamasında yardımcı olacak bir sistem önermiştir. Zareian ve Krawinkler [81]'de bu veritabanını kullanarak çerçeve ve perdeli yapıların göçme potansiyellerini elde etmek için göçme hasar olasılık eğrilerini kullanarak bir takım istatistiksel ifadeler geliştirmişlerdir.

Haselton ve Deierlein [82]'de Ibarra-Krawinklerin [5]'te önerdiği azalmalı histeretik modeli kalibre ederek ABD'de bulunan betonarme çerçeve yapıların sismik göçme riskini değerlendirmek için analitik bir göçme çalışması yapmışlardır. Haselton ve Deierlein [53]'te yaptıkları çalışmada ise günümüz yönetmeliklerine uygun yapılmış yapıların göçme güvenilirliklerini araştırmışlardır. Sözü edilen çalışma, mevcut süneklik düzeyi düşük betonarme yapıların göçme tehlikelerini azaltmak adına kullanılan güçlendirme tekniklerinin etkinliğini değerlendirmek üzere kullanılmıştır [83].

Riahi vd. [84]'te Haselton vd. [85]'te tasarladıkları 30 adet 3 açıklıklı ve 1, 2, 4, 8, 12, 20 katlı betonarme moment aktaran çerçeveler için Dayanımın Korunduğu Süre (Endurance Time) ve Artımsal Dinamik Analiz (ADA) yöntemlerini kullanarak göçme değerlendirmesi yaparak iki yöntemin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. ADA yöntemi önceki bölümlerde

anlatılmıştı. Dayanımın Korunduğu Süre yönteminde ise yapıların zaman tanım alanında hesabı için ivme kaydı yerine gittikçe şiddetlenen bir girdi hareketi (örneğin ivme fonksiyonu) kullanılır ve tek bir doğrusal olmayan dinamik analiz ile farklı risk seviyeleri için yapı performansı değerlendirilebilir. Bu yöntem ile uygun yer hareketi seçimindeki karmaşıklık da önlenmiş olur. Dayanımın Korunduğu Süre yöntemindeki en önemli husus uygun bir ivme fonksiyonunun hazırlanmasıdır. Dayanımın Korunduğu Sürede ivme fonksiyonları, optimizasyon yöntemi kullanılarak tepki spektrumu kavramı temelinde oluşturulur. İlk olarak bir hedef tepki spektrumu seçilir. Daha sonra, hedef zaman olarak adlandırılan özel bir zaman ve aynı zamanda ivme fonksiyonunun toplam süresi seçilir. Son olarak da herhangi bir t zamanında Dayanımın Korunduğu Süre ivme fonksiyonunun tepki spektrumu ile hedef tepki spektrumunu eşleştirmek üzere bir optimizasyon yöntemi belirlenir. Böylelikle, elde edilen Dayanımın Korunduğu Süre ivme fonksiyonu doğrusal olmayan dinamik analizde girdi olarak kullanılır. Riahi vd. [84] yaptığı çalışmada 30 adet betonarme çerçeveyi 2 boyutlu olarak OpenSees analiz programında ve Ibarra vd. [5]'te önerdiği, aynı zamanda bu çalışmada da kullanılan azalmalı pike-yönelik histeretik davranış kabulü ile analitik olarak modellemiştir. Haselton ve Deierlein'nin [82]'de kullandığı 39 adet yatay yer hareketi çiftlerinin tepki spektrumları ASCE7-05'te [86] Los Angeles bölgesinde C zemin sınıfı için tarif edilen tasarım spektrumuna ölçeklenerek DGS ivme fonksiyonları elde edilmiştir. Dayanımın Korunduğu Süre ve ADA yöntemleri ile göçme değerlendirmeleri yapılmıştır. Her iki yöntemde de göçmeden önce elde edilen sonuçların birbirine uyumu kabul edilebilir yakınlıkta çıkmıştır. Özellikle 1 ve 2 katlı yapılarda olmak üzere göçme anındaki görel kat ötelemeleri değerleri iki yöntemde farklılık göstermesine ve "Dayanımın Korunduğu Süre" yöntemi daha küçük değerler vermesine rağmen, genel olarak Dayanımın Korunduğu Süre yöntemi betonarme moment aktaran çerçeveli yapıların göçme değerlendirmesinde yeterli yaklaşıklıkta sonuçlar vermektedir. Bu yöntemle daha kısa sürede sonuçlar elde etmek mümkündür.

Haselton vd. [87]'de sünek betonarme çerçevelerin göçme güvenliğini araştırmışlardır. Bunun için 30 adet ASCE 7 [86] ve ACI 318'e [88] uygun tasarlanmış betonarme özel moment çerçeveleri için 39 adet yer hareketi çifti kullanarak ADA analizi yapmışlar ve dikkate adıkları sismik bölge ve çerçeve tipleri için göçme olasılıklarını elde etmişlerdir.

Yapı modellerini OpenSees [59] programında modellemişler ve plastik mafsallı bölgelerinin histeretik davranışı için Ibarra vd. [5]'te önerdiği ve bu çalışmada da dikkate alınan azalmalı modeli kullanmışlardır. 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem şiddeti için göçme olasılıkları %3 – 20 arasında değişmektedir ve ortalama değer olarak %11 göçme olasılığı elde etmişlerdir.

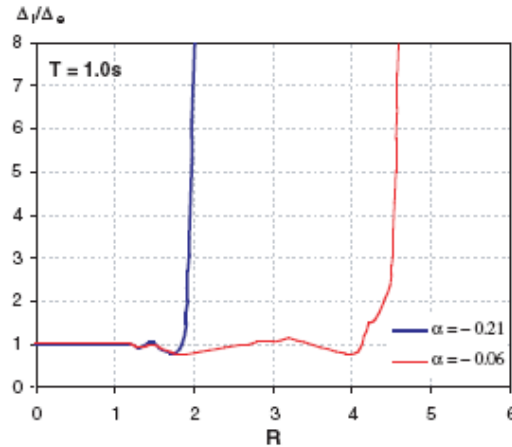
Yapılan çalışmalar, çevrimsel yüklere maruz yapılarda dayanım ve rijitlik azalması oluştuğunu ve azalmanın ileri düzeylerinde sistemin hızlı bir şekilde yumuşamaya uğrayarak göçme meydana geldiğini göstermektedir. Çevrimsel yüklere maruz bu yapıların histeretik çevrimleri modellenirken dayanım ve rijitlik azalması dikkate alınmalı, aynı zamanda da ileri azalma seviyelerinde oluşacak yumuşamayı ifade eden negatif eğim de modelde tarif edilmelidir [5]. Bu negatif eğim $P-\Delta$ etkisiyle veya en büyük dayanıma ulaştıktan sonra gözlenen dayanım azalması ile oluşabilmektedir. En büyük dayanımdan sonraki bu dayanım azalması FEMA 440'ta [21] **çevrimiçi azalma** olarak tarif edilmiştir. Yukarıda anlatılan analitik göçme çalışmalarının birçoğunda azalma etkisi dikkate alınmamış, alınanlarda ise betonarme yapıların çevrimsel davranışına uygun olan pike-yönelik çevrimsel davranış tipi esas alınmamıştır. Azalmayı dikkate alan pike-yönelik çevrimsel histeretik davranışın kullanıldığı çalışmalarda, gerçekleşmesi muhtemel azalma seviyeleri ayrıntılı olarak incelenmemiştir. Bu çalışmada azalmalı pike-yönelik histeretik çevrim modeli kullanılmış ve gerçekleşmesi muhtemel birçok azalma seviyesi incelenerek, her azalma seviyesinde oluşacak göçme potansiyeli irdelenmiştir.

4.2 Dinamik İstabilite Dolayısıyla Göçme

Bu çalışmada “göçme” ifadesi ile doğrudan *toptan göçme* kastedilmektedir. Deprem mühendisliğinde göçme, deprem etkisi ile yapının düşey yükleri taşıyamayacak duruma gelmesini ifade etmektedir [50]. Yükteki küçük artımlar, yapının tepkisinde de küçük artışlara sebep oluyorsa, yüklemeye maruz yapı stabildir [9]. Aksi durumda, yani yüklemedeki küçük artımlar yapının tepkisinde büyük artışlara sebep olduğunda yapı stabilitesini koruyamayacak ve dinamik instabilite olarak adlandırılan stabilite kaybı gerçekleşecektir. Dinamik instabilite gerçekleştiğinde sistemin göçtüğü kabul edilmektedir [8], [9], [11], [89]. Dinamik instabiliteye örnek olabilecek bir grafik Şekil

4.1’de verilmiştir. Şekilde yatay eksen dayanım azaltma katsayısını, dikey eksen ise elastik ötesi yerdeğiştirmenin elastik yerdeğiştirmeye oranını göstermektedir.

Şekilden de görüldüğü gibi dinamik instabilite gerçekteştiğinde yerdeğiştirme ani bir artış göstermekte ve sonsuza gitmektedir.



Şekil 4.1 Dinamik instabiliteye bir örnek [21]

Deprem yüklerine maruz gerçekte yapılar da hangi durumlarda dinamik instabilite ortaya çıkacağı nın analitik olarak belirlenmesinin oldukça zor ve karmaşık oldu ğu açıktır. Öncelikle, tanjant rijitliğinin yeterli yaklaşı kt a belirlenmesi, kritik bölgelerdeki dayanım ve rijitlik azalmaları, malzeme pekleşmesi, üç boyutlu modellemedeki belirsizlikler sebebiyle dinamik instabilitenin oluşacağı duruml arı belirlemek oldukça karmaşık bir problemdir [8], [90]. Bunun yanında dinamik yükler etkisinde ortaya çıkan yapı tepkisi sadece etkin (efektif) rijitliğin bir fonksiyonu da değildir, aynı zamanda atalet ve sönüm kuvvetlerine de bağı ldır [8], [90]. Tüm bu karmaşı klığa rağmen ÇSD sistemlerin göçme potansiyellerinin tahmini deprem mühendisliği açısından oldukça önemlidir. Bernal [8] ve [9]’da, Vamvatsikos ve Cornell [10]’da ve Miranda ve Akkar [11]’de TSD sistemlerin dinamik instabilitesinin elde edilmesinin deprem yüküne maruz ÇSD sistemlerin göçme potansiyelinin değerlendirilmesinde önemli bilgiler ve fikirler verdiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, kullanılan histeretik çevrim eğrisine uygun davranış gösteren TSD sistemlerin göçme potansiyelleri araştırılmış tır ve dinamik instabilitenin ortaya çıktığı sınır periyodun tahmini için bir istatistiksel bağı ntı önerilmiştir. Sözü edilen periyot, **göçme periyodu** olarak adlandırılmış tır.

Geleneksel olarak, göçme potansiyeli azalmasız sistemlerde istem parametreleri olarak adlandırılan görelî kat ötelemesi, süneklik, histeretik enerji vb. tepkileri elde ederek ve bu parametrelere özgü bir takım limitler tanımlayarak elde edilir. Fakat istem parametreleri, sistem göçmeye yaklaştığında yükün küçük artışlarına oldukça hassas olmaktadır ve yüklemedeki küçük bir artım göçmeyi elde etmek için kullanılan tepkilerde büyük artışlara sebep olmaktadır [54]. Bu çalışmada göçme, görelî kat ötelemesi veya süneklik gibi öznel bir takım sınırlar yerine, histeretik çevrimde enerji kapasitesinin tüketilmesi veya stabilite kaybı tanımları ile elde edilmiştir.

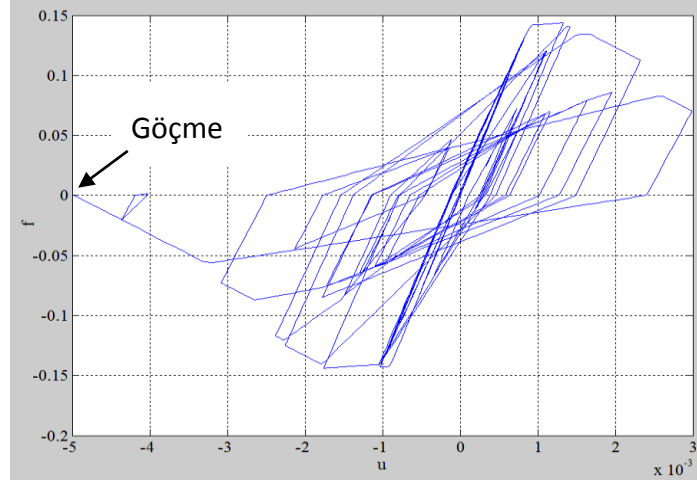
4.3 Yöntem

Çalışmada kullanılan histeretik çevrim modeli enerji esaslı bir modeldir ve ayrıntıları 2. Bölümde anlatılmıştır. Kullanılan bu çevrim modelinin özellikleri dikkate alınarak iki temel göçme ölçütü kabul edilmiştir:

- Histeretik çevrimde tepe-sonrası eğimi yatay ekseni kestiğinde (artık dayanım sıfırdır) dinamik instabilitenin gerçekleştiği kabul edilir ve bu da göçmenin oluştuğunu göstermektedir [5], [11], [49], [91]. Bu çalışmada da aynı kabul yapılmıştır.
- β_1 parametresi (enerji parametresi) 1'i aştığında göçme gerçekleşmiştir. Bu durum histeretik enerji kapasitesinin (E_t) tükendiğini göstermektedir [5], [49].

Bu çalışmada yapılan analizlerde, göçme sadece dinamik instabiliteden dolayı gerçekleşmiştir. Diğer bir değişle enerji kapasitesi tüketilmeden önce tepe-sonrası eğimi yatay eksene ulaşmaktadır. Azalmalı bir sistemde tepe noktası sonrası negatif eğimli bölümün yatay ekseni kesmesinden dolayı göçmenin meydana geldiği bir histeretik çevrim örneği Şekil 4.2'de verilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında "göçme" ifadesi ile dinamik instabiliteden dolayı göçme kastedilecektir.

Chenouda ve Ayoub [49]'da, bu çalışmada kullanılan histeretik çevrim eğrisi ve aynı göçme kabullerini yaparak elastik olmayan yerdeğiştirme sabiti üzerine çalışmalar yapmıştır ve belirli bir periyottan kısa periyotlu TSD sistemlerde dinamik instabiliteden dolayı göçmenin gerçekleştiğini göstermişlerdir.

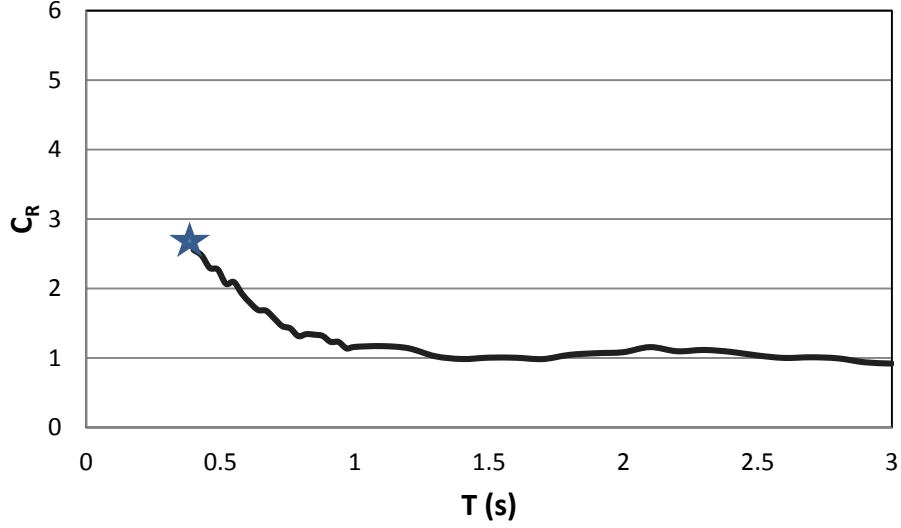


Şekil 4.2 Göçmenin gerçekleştiği çevrimsel azalmalı histeretik davranışa bir örnek

Şekil 4.3'te belli bir TSD sistemin elastik olmayan yerdeğiştirme sabitindeki periyoda bağlı değişim şematik olarak gösterilmiştir. Düşey eksen *elastik olmayan yerdeğiştirme sabitini* (C_R), yatay eksen ise periyodu göstermektedir. C_R elastik ötesi yerdeğiştirme talebinin elastik yerdeğiştirme talebine oranıdır. Şekilde “★” ile gösterilen nokta göçmenin gerçekleştiği ilk periyottur ve bu periyottan kısa tüm periyotlar için sistem göçmektedir.

Bu çalışmada, göçmenin gerçekleştiği ilk periyot değeri “**göçme periyodu**” (T_{col}) olarak isimlendirilmiştir ve göçme periyodu için bir denklem önerilmiştir. Böylelikle, TSD bir sistemde dayanım ve rijitlik azalması ile birlikte çevrimiçi azalmayı da dikkate alarak belli bir deprem kaydı için yapı tepkileri elde edilmek istendiğinde (elastik olmayan yerdeğiştirme talebi, enerji talebi, kalıcı yerdeğiştirme talebi vb.) gözönüne alınan TSD sistemin göçme potansiyeli tahmin edilebilecektir. T_{col} , dinamik instabilite olacak sistemin elastik periyodunu ifade etmektedir, sistemin dinamik instabilite olduğu andaki periyodu değildir.

Göçme periyodunu elde etmek üzere **zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap** (ZTADOH) yapılmıştır. ZTADOH'da hareket denkleminin çözümü için Newmark-Beta yöntemi kullanılmıştır (Ayrıntıları Bölüm 2'de verilmiştir). Çevrimsel davranışı tarif etmek üzere kullanılan model, Bölüm 3'te de anlatıldığı üzere **dayanım ve rijitlik azalmasıyla birlikte çevrimiçi azalmayı (en büyük dayanımdan sonra negatif eğime girmesi)** da dikkate almaktadır.



Şekil 4.3 Göçme potansiyelinin dikkate alındığı C_R grafiğine bir örnek

4.4 Göçme Periyodu (T_{col})

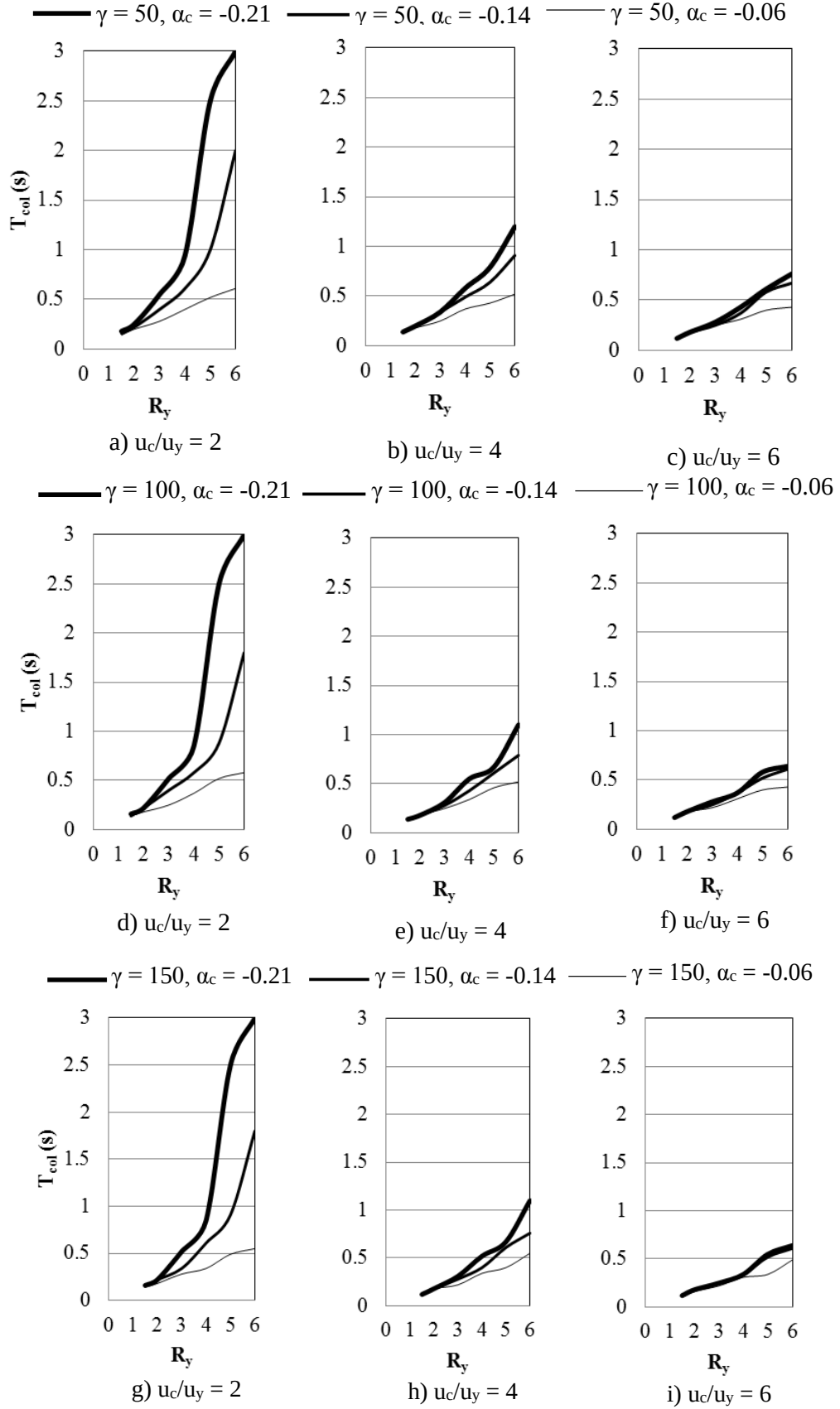
Dayanım azaltma katsayısı $R_y = 1.5, 2, 3, 4, 5, 6$, akma-sonrası eğimi oranı %0, %3 ve %5 olmak üzere 0.1 ve 3 s arasında ($T = 0.1:0.02:0.2, 0.22:0.03:1, 1.1:0.1:3$) 53 adet doğal titreşim periyodu, 27 adet azalma kombinasyonu ve 160 adet yer hareketi kaydı için ZTADOH yapılmış ve **göçme periyodu (T_{col})** elde edilmiştir. Literatürdeki genel eğilim takip edilerek histeretik çevrimin negatif kısmı yani tepe-sonrası eğimi yatay eksen kestiğinde göçme gerçekleştiği kabul edilmiştir [5], [11], [49], [91]. Belirli bir sistemde, belirli bir periyot için tüm deprem kayıtlarından en az %50'sinde göçme gerçekleşiyorsa, o sistem için o periyotta göçme olacaktır demektir [49]. Şekil 4.3'te yıldızla işaretlenen periyottan kısa tüm periyotlarda göçme gerçekleşmiştir. Bu yüzden göçmenin gerçekleştiği en uzun periyot **göçme periyodu (T_{col})** olarak tanımlanmıştır. Bir sistemde T_{col} elde edildiğinde o sistemde dikkate alınan azalma kombinasyonları için göçme periyodundan kısa tüm periyotlarda göçmenin olacağı anlaşılabilmektedir ($T < T_{col}$). Şekil 4.4'te tüm depremlerin ortalaması ile farklı azalma kombinasyonları için elde edilmiş dayanım azaltma katsayısı – göçme periyodu ilişkileri ($R_y - T_{col}$) görülmektedir. Şekil 4.4'ten de görüldüğü gibi dayanım azaltma katsayısı R_y arttıkça T_{col} de artmaktadır. A, B, C ve D zemin gruplarının her biri için elde edilmiş dayanım azaltma katsayısı – göçme periyodu ilişkisi ($R_y - T_{col}$) Ek-A'da verilmiştir.

4.4.1 Akma – sonrası rijitliğinin T_{col} üzerine etkisi

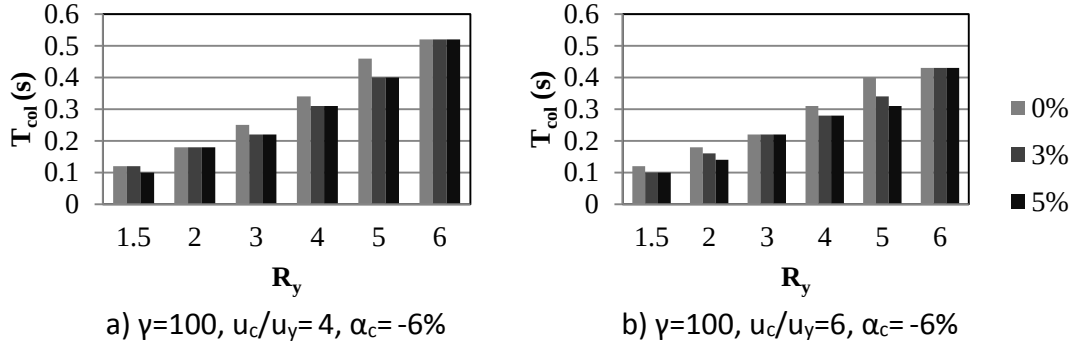
Şekil 4.5'te akma - sonrası rijitlik oranının (α_s) T_{col} üzerine etkisi görülmektedir. Şekil 4.5'ten de görüldüğü üzere, özellikle küçük R_y 'ler için α_s 'nin T_{col} üzerinde önemsenecek bir etkisi yoktur. Büyük R_y 'lerde α_s 'nin T_{col} üzerinde az bir etkisi olsa da bu etki ihmal edilebilecek düzeydedir. Sonuç olarak, T_{col} denklemi elde etmek için $\alpha_s = \%0$ almak güvenli ve yeterli sonuçlar verecektir.

4.4.2 Zemin sınıfının T_{col} üzerine etkisi

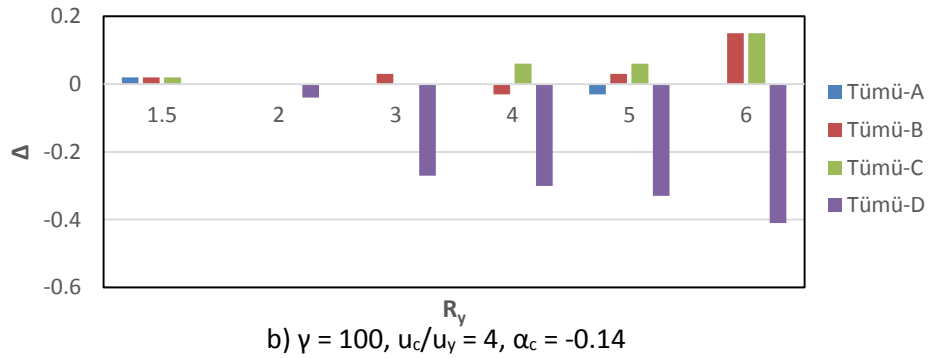
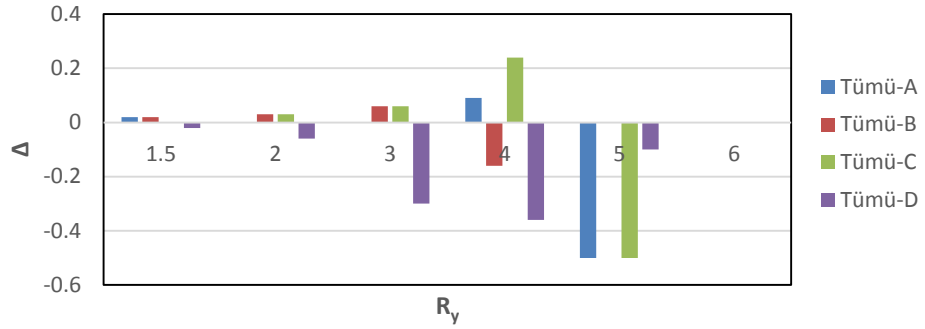
DBYBHY 2007, FEMA ve ATC 40 gibi birçok yönetmelik ve kılavuz doküman farklı zemin sınıfları için doğrusal elastik tasarım spektrumları tanımlamışlardır. Bu nedenle zemin sınıflarının göçme periyodu üzerindeki etkisini araştırmak önemlidir. Şekil 4.6'da, $\Upsilon = 50$, $u_c/u_y = 2$, $\alpha_c = 0.21$ ve $\Upsilon = 100$, $u_c/u_y = 4$, $\alpha_c = 0.14$ azalma kombinasyonları için zemin sınıfının T_{col} üzerine etkisi görülmektedir. Şekil 4.6'da verilen Δ ifadesi tüm zemin sınıfları için elde edilmiş T_{col} ile her zemin sınıfı için ayrı ayrı elde edilmiş T_{col} arasındaki farktır. Örnek olarak, Şekil 4.6a'da $R_y = 4$ ve D zemin sınıfı için elde edilen T_{col} değeri, $R_y = 4$ ve tüm zemin sınıfları için elde edilen T_{col} değerinden 0.36 s daha uzundur.



Şekil 4.4 Tüm zemin sınıfları için farklı azalma kombinasyonlarında T_{col}



Şekil 4.5 Farklı akma – sonrası eğimleri için T_{col}



Şekil 4.6 Tüm zemin sınıfları ve her bir zemin sınıfı için elde edilen T_{col} farkları

Çözümlerden elde edilen sonuçlara göre zemin sınıfının etkisi azalma kombinasyonlarına bağlıdır. Fakat D zemin sınıfı T_{col} üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve tüm azalma kombinasyonları için her zaman daha uzun T_{col} elde edilmektedir. Azalma kombinasyonlarının çoğu için A, B ve C zemin sınıfları, tüm zemin sınıfları için elde edilmiş T_{col} 'den daha kısa değerler verir. Sonuç olarak zemin sınıflarının, özellikle büyük dayanım azaltma katsayıları için ($R_y \geq 3$) T_{col} üzerinde önemsenecek etkisi vardır.

4.4.3 Azalma parametresi γ 'nın T_{col} üzerine etkisi

γ parametresi T_{col} üzerinde u_c/u_y ve α_c kadar etkili değildir. Örnek olarak, $R_y = 6$, $u_c/u_y = 2$ ve $\alpha_c = -0.06$ parametrelerinde $\gamma = 50, 100, 150$ için sırasıyla $T_{col} = 0.61, 0.58$ ve 0.55 s'dir. $R_y = 6$, $u_c/u_y = 4$ ve $\alpha_c = -0.14$ parametrelerinde $\gamma = 50, 100, 150$ için sırasıyla $T_{col} = 0.91, 0.79$ ve 0.76 s'dir. γ arttıkça T_{col} azalmaktadır.

4.4.4 Süneklik kapasitesi u_c/u_y 'nin T_{col} üzerine etkisi

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi u_c/u_y , T_{col} üzerinde önemsenecek bir etkiye sahiptir, özellikle büyük tepe - sonrası eğimlerinde. Örnek olarak, $R_y = 6$, $\gamma = 100$ ve $\alpha_c = -0.14$ parametrelerinde, $u_c/u_y = 2, 4, 6$ için $T_{col} = 1.8, 0.79, 0.61$ s'dir. $R_y = 4$, $\gamma = 100$ ve $\alpha_c = -0.14$ parametrelerinde ise, $u_c/u_y = 2, 4, 6$ için $T_{col} = 0.58, 0.43, 0.37$ s'dir. $R_y = 1.5$, $\gamma = 100$ ve $\alpha_c = -0.14$ parametrelerinde, $u_c/u_y = 2, 4, 6$ için $T_{col} = 0.14, 0.12, 0.12$ s'dir. u_c/u_y arttıkça T_{col} azalmaktadır fakat T_{col} 'un u_c/u_y 'ye bağlı olarak değişimi, büyük dayanım azaltma katsayıları (R_y) için daha belirgindir.

4.4.5 Tepe-sonrası eğimi α_c 'nin T_{col} üzerine etkisi

α_c 'nin T_{col} üzerindeki etkisi Şekil 4.4'te görülmektedir. Örnek olarak, $R_y = 6$, $\gamma = 100$ ve $u_c/u_y = 4$ parametrelerinde, $\alpha_c = -0.06, -0.14$ ve -0.21 için $T_{col} = 0.52, 0.79, 1.1$ s'dir. $R_y = 4$, $\gamma = 100$ ve $u_c/u_y = 4$ parametrelerinde, $\alpha_c = -0.06, -0.14$ ve -0.21 için $T_{col} = 0.34, 0.43, 0.55$ s'dir. $R_y = 1.5$, $\gamma = 100$ ve $u_c/u_y = 4$ parametrelerinde, $\alpha_c = -0.06, -0.14$ ve -0.21 için $T_{col} = 0.12, 0.14, 0.14$ s'dir. α_c arttıkça T_{col} artmaktadır fakat T_{col} 'un α_c 'ye bağlı olarak değişimi, büyük dayanım azaltma katsayıları (R_y) için daha belirgindir. $R_y = 6$, $u_c/u_y = 2$ ve $\alpha_c = -0.21$ olan bir sistemde (düşük yatay dayanım, düşük süneklik ve büyük tepe - sonrası eğimi) tüm γ değerleri için $T_{col} = 3$ s'dir. Böylesi bir TSD sistemde tüm periyot değerlerinde göçme meydana gelmektedir.

4.5 Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi

Dayanım azalması $R_y = 1.5, 2, 3, 4, 5, 6$, akma-sonrası eğimi oranı %0, %3 ve %5, $T = 0.1 - 3$ s arasında 53 adet doğal titreşim periyodu, 27 adet azalma kombinasyonu ve 160 adet yer hareketi kaydı için ZTADOH yapılmış ve farklı birçok TSD sistemler için **göçme periyodu (T_{col})** elde edilmiştir.

Tüm TSD sistemler için bulunan T_{col} değerleri ile **en küçük kareler yöntemi** kullanılarak **doğrusal olmayan regresyon çözümlemesi** yapılmıştır. Böylece T_{col} için R_y , u_c/u_y ve α_c 'nin fonksiyonu olan bir denklem önerilmiştir. Yapılan çalışmada farklı azalmaları ve süneklikleri dikkate almak üzere histeretik çevrim için 36 adet farklı azalma kombinasyonu dikkate alındığı Bölüm 3.3.2'de açıklanmış ve dikkate alınan kombinasyonlar Çizelge 3.1'de verilmişti. Yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmış yapı elemanları yüksek süneklik kapasitesi göstereceklerdir ve tepe dayanımı ve kalıcı dayanım şekil değiştirmeleri büyük olacaktır, bu yüzden bu tip sistemlerde tepe-sonrası eğimi küçük olacaktır [92]. Ayrıca bu tip sistemlerde deprem yükleri dolayısıyla oluşacak azalma yavaş olacaktır. Bu yüzden daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için bazı azalma kombinasyonları regresyon çözümlerinde dikkate alınmamıştır. Örnek olarak hızlı azalma ve büyük tepe-sonrası eğimi oluşacak bir sistemin yüksek sünekliğe sahip olması beklenemez veya yavaş azalma olacak kadar iyi tasarlanmış bir yapıda da düşük süneklik ve büyük tepe-sonrası eğimi olması beklemek doğru olmayacaktır. Bunlar da hesaba katılarak regresyon çözümlerinde daha gerçekçi sonuçlar elde etmek üzere dikkate alınan azalma kombinasyonları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Regresyon çözümlerinde dikkate alınan azalma kombinasyonları

	İsim	γ	α_c	u_c/u_y
1	$\gamma50_ \alpha_c14_ u_c/u_y2$	50	-%14	2
2	$\gamma50_ \alpha_c14_ u_c/u_y4$	50	-%14	4
3	$\gamma50_ \alpha_c21_ u_c/u_y2$	50	-%21	2
4	$\gamma50_ \alpha_c21_ u_c/u_y4$	50	-%21	4
5	$\gamma100_ \alpha_c6_ u_c/u_y4$	100	-%6	4
6	$\gamma100_ \alpha_c6_ u_c/u_y6$	100	-%6	6
7	$\gamma100_ \alpha_c14_ u_c/u_y2$	100	-%14	2
8	$\gamma100_ \alpha_c14_ u_c/u_y4$	100	-%14	4
9	$\gamma100_ \alpha_c14_ u_c/u_y6$	100	-%14	6
10	$\gamma150_ \alpha_c6_ u_c/u_y4$	150	-%6	4

Çizelge 4.1 Regresyon çözümlerinde dikkate alınan azalma kombinasyonları

11	$\gamma_{150_a_6_u_c/u_y6}$	150	-%6	6
12	$\gamma_{150_a_{14}_u_c/u_y4}$	150	-%14	4
13	$\gamma_{150_a_{14}_u_c/u_y6}$	150	-%14	6

Göçme periyodu T_{col} için (4.1) bağıntısı önerilmiştir. Önerilen denklemin katsayıları her azalma seviyesi ($\gamma = 50, 100, 150$) ve her zemin sınıfı (A, B, C, D ve tümünün ortalaması) için ayrı ayrı elde edilmiş ve Çizelge 4.2’de bu katsayıların değerleri verilmiştir.

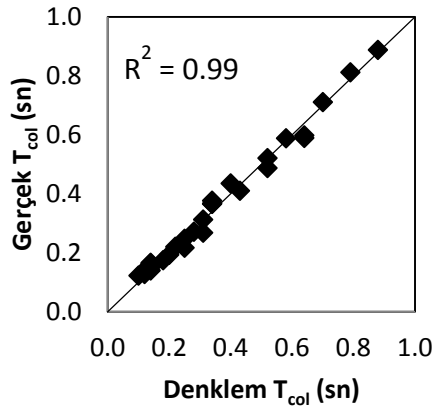
$$T_{col} = 0.1 + x_1 R_y^{x_2} \left(\left(\frac{u_c}{u_y} \right)^{x_3} + \alpha_c^{x_4} \right) \quad (4.1)$$

Azalma seviyesi γ ’nın tek başına göçme periyodu üzerinde önemsenecek bir etkisi yoktur. Fakat azalmanın γ , u_c/u_y ve α_c ’nin kombinasyonunun bir fonksiyonu olmasından dolayı bu parametrelerin bu kombinasyon içinde etkileri daha farklı gözlemlenebilir. Bu nedenle (4.1) eşitliğinin katsayıları her γ için ayrı ayrı verilmiştir.

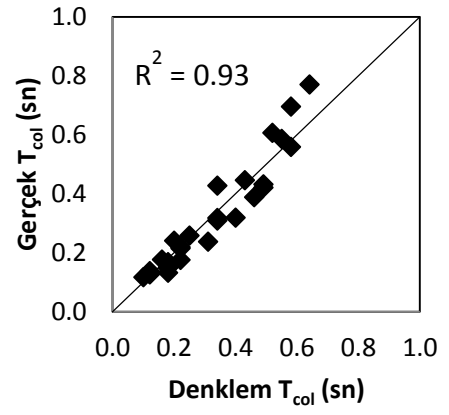
Çizelge 4.2 (4.1) eşitliğinde verilen denklemin katsayıları

Zemin Sınıfı	Azalma Seviyesi	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Korelasyon Katsayısı
A	Hızlı	0.0760	1.9946	-2.1919	0.6819	0.99
	Orta	0.0500	2.0508	-1.6188	0.6950	0.99
	Yavaş	0.0685	1.9516	-1.5128	0.8597	0.99
B	Hızlı	0.1080	2.5910	-3.3713	1.4010	0.97
	Orta	0.0736	2.0795	-1.4281	1.2740	0.93
	Yavaş	0.0520	1.9192	-1.6044	0.6563	0.98
C	Hızlı	0.1127	1.9430	-3.3559	0.9167	0.96
	Orta	0.0660	1.6114	-1.7429	0.5218	0.97
	Yavaş	0.0791	1.5530	-1.1348	0.8600	0.95
D	Hızlı	0.0902	1.7420	-0.6007	0.6929	0.97
	Orta	0.1093	1.7232	-1.5604	0.5378	0.98
	Yavaş	0.1735	1.6249	-1.9407	0.6922	0.96
Tümü	Hızlı	0.1123	2.0338	-2.7238	0.9330	0.98
	Orta	0.0873	1.7190	-1.4146	0.7963	0.98
	Yavaş	0.0600	1.8424	-1.3995	0.6928	0.98

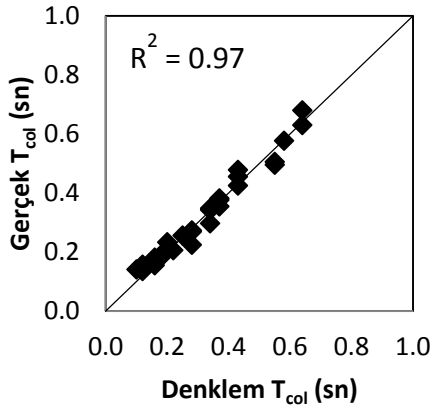
Bu çalışma kapsamında zaman tanım alanında bulunan değerler **gerçek değerler** olarak isimlendirilmiştir. Şekil 4.7’de düşey eksen gerçek değerleri yatay eksen ise önerilen denklem ile bulunan değerleri göstermek üzere T_{col} için saçılma grafikleri verilmiştir. Şekil 4.7’de verilen grafik orta azalma hızı ($\gamma = 100$) içindir. Yavaş ($\gamma = 150$) ve hızlı ($\gamma = 50$) azalmalar için saçılma grafikleri Ek-B’de verilmiştir. Şekil 4.7’den görüldüğü üzere denklem ile bulunan T_{col} ve gerçek T_{col} değerleri birbirine çok yakındır ve T_{col} elde etmek için (4.1) eşitliğinde önerilen denklem iyi sonuçlar vermektedir.



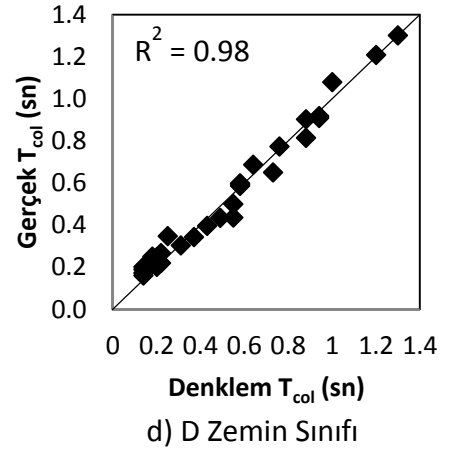
a) A Zemin Sınıfı



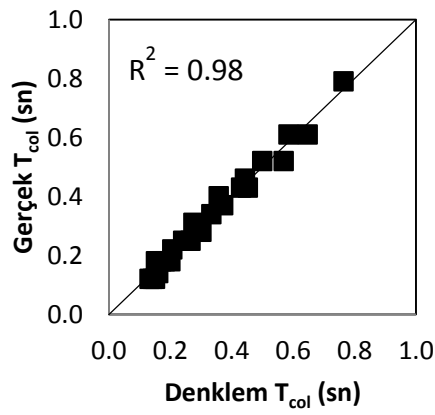
b) B Zemin Sınıfı



c) C Zemin Sınıfı



d) D Zemin Sınıfı



e) Tüm Zemin Sınıfları

Şekil 4.7 $\gamma = 100$ (Orta azalma hızı) için T_{col} saçılma grafikleri

ELASTİK ÖTESİ YERDEĞİŞTİRME SABİTİ (C_R)

Şiddetli depremler yapılarda önemli hasarlar oluşturabilmekte ve hatta yerel veya toptan göçmelere sebep olabilmektedirler. Yeni yapılacak yapıların depreme karşı güvenli şekilde tasarlanması ve mevcut yapıların deprem güvenilirliğinin belirlenmesi önemli bir konudur. Mevcut bir yapının depreme göre değerlendirilmesinde veya yeni bir yapının tasarımında “yerdeğiştirme esaslı” ve “kuvvet esaslı” olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, yapısal ve yapısal olmayan elamanlarda oluşan hasarlar şiddetli depremlerdeki büyük yerdeğiştirmelerden kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak son yıllarda, özellikle mevcut yapıların deprem güvenilirliğinin belirlenmesinde “yerdeğiştirme esaslı” yöntem “kuvvet esaslı” yöntemine göre daha fazla tercih edilmektedir. Yerdeğiştirme esaslı yöntem, geniş anlamda bilinen “performansa dayalı hesap yöntemi” olarak bilinmektedir. Performansa dayalı hesapta, depremin oluşturacağı elastik ötesi yerdeğiştirmenin tahmini en önemli adımlardan birisidir.

Performansa dayalı hesap temelde doğrusal elastik ve doğrusal olmayan iki ayrı yöntemle yapılabilir. Doğrusal olmayan yöntemde elastik ötesi yerdeğiştirmenin en doğru bir şekilde elde edilmesi gerekmektedir. “Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap” yöntemi koşulsuz her türlü yapıya uygulanabilir olmasına ve elastik ötesi yerdeğiştirmenin elde edilmesinde daha gerçekçi sonuçlar verebilmesine karşılık, uygulamadaki zorluğu ve hesapların zaman alıcı olması nedeniyle pratikte hala fazla tercih edilmemektedir. Elastik ötesi yerdeğiştirmenin elde edilmesinde güvenilir ve daha basit yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde bu bağlamda önerilen birkaç

yöntem bulunmasına rağmen bu yöntemlerden en kabul görmüş ve kullanılan yöntemler, Freeman'ın [93]'te önerdiği ve ATC 40'ta kullanılan "Kapasite Spektrumu Yöntemi" ve Seneviratna ve Krawinkler tarafından [94]'te geliştirilen, aynı zamanda FEMA'da ve DBYBHY 2007'de kullanılan "Katsayılar Yöntemi"dir.

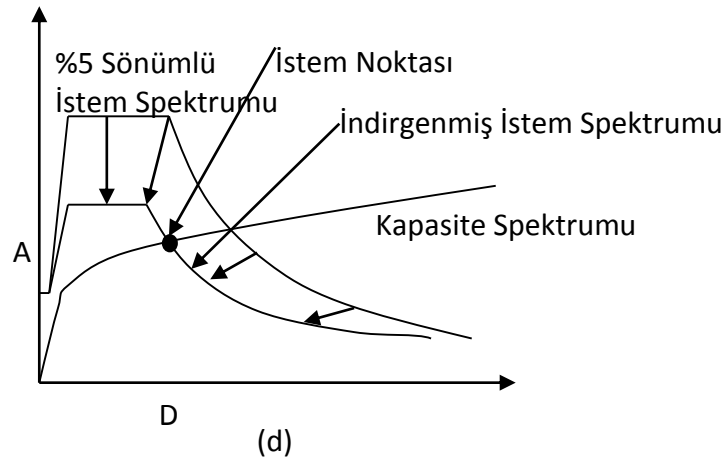
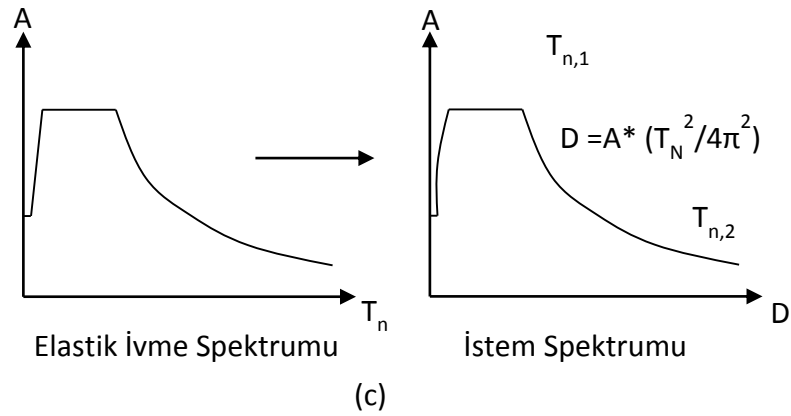
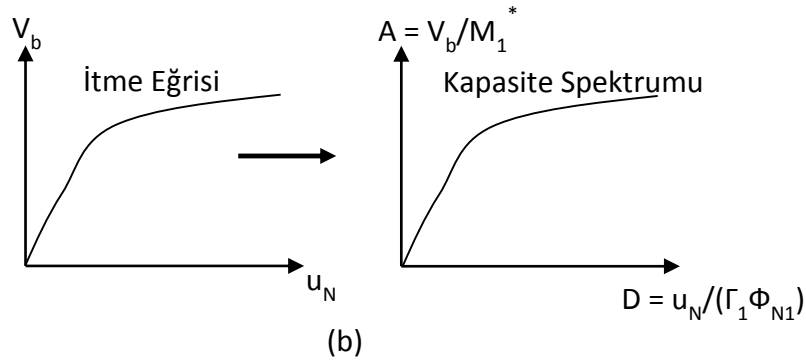
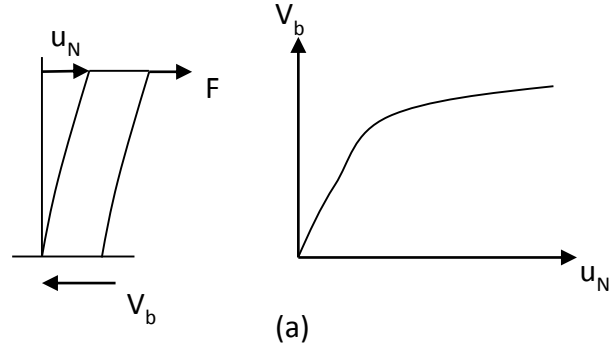
5.1 Elastik Ötesi Yerdeğiştirme İstemi için Bazı Yönetmeliklerde Önerilen Yöntemler

5.1.1 Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC 40)

ATC40'ta yapıların elastik olmayan yer değiştirme hesabı için Kapasite Spektrumu Yöntemi önerilmektedir.

Yöntem, özet olarak; kapasite eğrisinden türetilen *kapasite spektrumu* ile indirgenmiş *istem spektrumunun* kesiştiği noktanın bulunmasıdır. İstem spektrumu, doğrusal olmayan davranışı dikkate almak üzere indirgenir. İndirgeme işlemi için etkili sönüm oranı cinsinden verilen spektral azaltma katsayıları kullanılır. Etkili sönüm ise kapasite spektrumunun altındaki alandan faydalanarak bulunur. Dolayısıyla, etkili sönüm, kapasite spektrumunun şekli ile ilgilidir. İstem noktası, genelde iteratif olarak belirlenir. Yöntem özet olarak, Şekil 5.1'de adım adım gösterildiği gibi şu aşamalardan oluşmaktadır:

- a) Sistemin statik itme eğrisi elde edilir,
- b) Birinci mod değerleri dikkate alınarak, itme eğrisinden spektral yer değiştirme – spektral ivme formatında kapasite spektrumu elde edilir,
- c) Elastik ivme spektrumundan, spektral yer değiştirme – spektral ivme formatındaki istem spektrumu elde edilir,
- d) Kapasite spektrumu ile indirgenmiş (doğrusal olmayan davranış dikkate alınmak üzere düzeltilmiş) istem spektrumunun kesiştiği nokta bulunarak yer değiştirme istemi elde edilir.

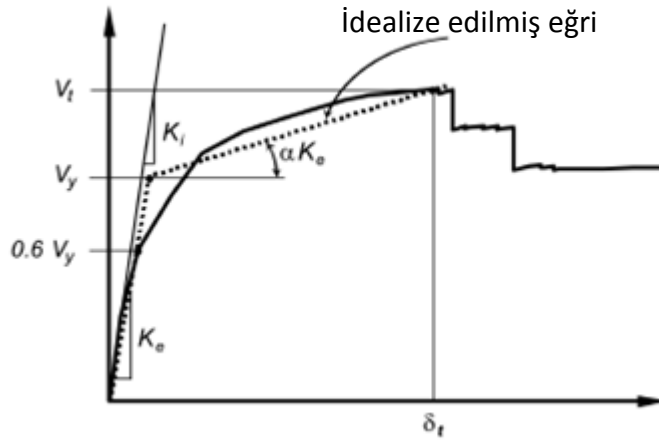


Şekil 5.1 Kapasite Spektrumu Yöntemine göre elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi [1]

5.1.2 Katsayılar Yöntemi (FEMA)

FEMA, elastik olmayan yer değiştirme istemini katsayılar yöntemini ile elde etmektedir.

Yöntem, esasen doğrusal olmayan çözümlemeyle elde edilen itme eğrisinden faydalanır. İtme (Taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme) eğrisi doğrularla idealize edilebilir. Basitleştirilmiş bir hesap yapılacaksa, kapasite eğrisi iki adet doğruyla idealize edilebilir. Böylece, etkili rijitliğin (K_e) hesabı kolaylaşmış olur. İki adet doğru ile idealize edilmiş tipik bir taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme eğrisi Şekil 5. 2’de verilmiştir. Bu şekilde K_i başlangıçtaki yapı yatay rijitliğini, K_e ise etkili yatay rijitliği temsil etmektedir ki bu, akma dayanımının %60’ı kadar bir yük esas alınarak hesaplanır.



Şekil 5.2 FEMA’ya göre idealize edilmiş itme eğrisi [2]

İdealize edilmiş eğride etkili rijitlik başlangıç doğrusunun eğimidir. İkinci doğrunun eğimi (αK_e) ise doğrunun altında ve üstünde kalan alanların eşitliğinden hareketle belirlenir. İkinci doğru gerçek eğriyle hedef yer değiştirme noktasında kesişmelidir. Bunun için iki eğrinin kesişme noktası hedef yer değiştirme kabul edilir ve (5.1) bağıntısıyla bulunan hedef yer değiştirme ile karşılaştırılır. Fark %5’den az ise iki eğrinin kesişme noktası hedef yer değiştirme olarak kabul edilebilir. Aksi halde, kesişme noktasının, (5.1) bağıntısıyla bulunan yer değiştirme değeri olduğu kabul edilerek, yeni bir idealleştirme yapılır ve buna bağlı olarak yeni bir hedef yer değiştirme bulunur. Bu şekilde tekrarlanacak bir iteratif yaklaşımla hedef yer değiştirme belirlenir.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (5.1)$$

Denklem (5.1)'de ilk üç terim elastik yerdeğiştirmeyi düzeltme katsayılarıdır. T_e ise denklem (5.2)'de verilmiştir.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (5.2)$$

C_0 : Bu katsayı spektral yerdeğiştirmeyi tepe yer değiştirmesine çevirir [95].

$$C_0 = \Phi_{N1} \Gamma_1 \quad (5.3)$$

Φ_{N1} : Birinci mod tepe noktası genliği

Γ_1 : Birinci mod katılım çarpanı

C_1 : Elastik yer değiştirme ile elastik olmayan yer değiştirme arasındaki oranı veren katsayıdır. Kısa periyotlarda elastik yer değiştirmeyi artırır ve bu yüzden eşit yer değiştirme kuralının geçerli olmadığı kısa periyot bölgelerinde hesaplanır. Eşit yerdeğiştirmenin geçerli olduğu bölgelerde $C_1 = 1$ olur.

FEMA 356'ya göre C_1 denklem (5.4) ve (5.5)'te olduğu gibi verilmiştir.

$$C_1 = 1 \quad (T_e > T_s) \quad (5.4)$$

$$C_1 = \left[1 + (R - 1) \frac{T_s}{T_e} \right] / R \quad (T_e < T_s) \quad (5.5)$$

T_s : Tasarım spektrumunda sabit ivme bölgesinden sabit hız bölgesine geçişi temsil eden karakteristik periyottur.

C_1 katsayısı **FEMA 440'**ta denklem (5.6)'da verildiği gibidir.

$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{a.T_e^2} \quad (5.6)$$

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m \quad (5.7)$$

C_m yüksek modların etkisini dikkate alan bir katsayıdır. (5.6) denklemindeki "a" katsayısı B, C ve D zemin sınıfları için sırasıyla 130, 90 ve 60 olarak alınmaktadır.

C_2 : Rijitlik azalması ve çevrimsel dayanım azalmasını dikkate almak üzere kullanılır. Kısa periyotlu ve dayanımı düşük sistemlerde elastik yerdeğiştirmeyi artırır.

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left(\frac{R-1}{T_e} \right)^2 \quad (5.8)$$

5.1.3 DBYBHY 2007'ye göre Elastik Ötesi Yerdeğiştirme İstemi

Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e bağlı olarak aşağıdaki denklemden elde edilir:

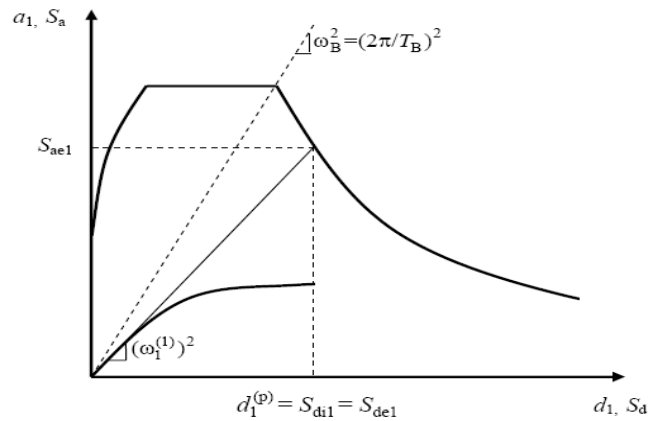
$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (5.9)$$

Doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} 'den hesaplanabilir:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (5.10)$$

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, yönetmeliğin 2.4 kısmında tanımlanan ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$), doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1} , eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan eşitlenik doğrusal elastik sistem'e ait lineer elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e eşit alınacaktır. Bu yüzden C_{R1} denklem (5.11)'de verildiği gibi kullanılır. şekil 5.3'te grafik olarak gösterilmiştir.

$$C_{R1} = 1 \quad (5.11)$$



şekil 5.3 $T_1^{(1)} > T_B$ durumunda elastik ötesi yerdeğiştirme hesabı [3]

$T_1^{(1)} < T_B$ ise spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , ardışık yaklaşımla aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, yaklaşık olarak iki doğrulu bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki ($i = 1$) doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere, $(\omega_1^{(1)})^2$ eşit alınır.

b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ kabulü yapılarak eşdeğer akma noktasının koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 5.4a'da görülen a_{y1}^0 esas alınarak C_{R1} aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B/T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (5.12)$$

R_{y1} dayanım azaltma katsayısıdır ve denklem (5.13)'te verildiği gibidir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (5.13)$$

Bulunan bu C_{R1} kullanılarak (5.9) bağıntısına göre hesaplanan S_{di1} esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları, Şekil 5.4b'de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.

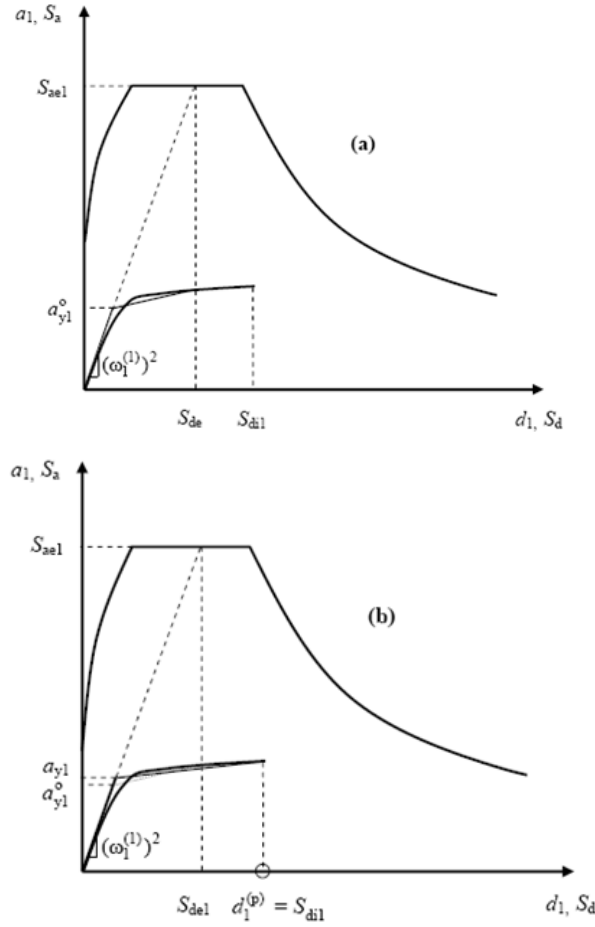
Son itme adımı $i = p$ için modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$ 'den, örneğin x deprem doğrultusundaki, tepe yerdeğiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (5.14)$$

Φ_{xN1} : X doğrultusundaki hakim moda ait tepe noktası genliği

Γ_{x1} : X doğrultusundaki hakim moda ait modal katılım çarpanı

$d_1^{(p)}$: X doğrultusundaki spektral yerdeğiştirme istemi



Şekil 5.4 $T_1^{(1)} < T_B$ durumunda elastik ötesi yerdeğiştirme hesabı [3]

5.2 Elastik Ötesi Yerdeğiştirme Sabiti (C_R)

Büyük depremlerden dolayı yapılarda meydana gelecek büyük yatay yerdeğiştirmelerin oluşturacağı hasarların önlenmesi önemli bir husustur. Bu yüzden yapılarda oluşabilecek bu elastik ötesi yerdeğiştirmelerin en doğru bir şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir. Bölüm 5.1’de elastik ötesi yerdeğiştirme istemini elde edebilmek için bazı yönetmeliklerde önerilen yöntemler anlatılmıştır. Bu yöntemlerden katsayılar yöntemi, elastik ötesi yerdeğiştirme istemini elde edebilmek için görece olarak kolay ve kullanışlı bir yöntemdir.

Literatürde, katsayılar yönteminde kullanılan elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin tahmini için çeşitli “*elastik ötesi yerdeğiştirme oranı*” (C) bağıntıları önerilmiştir. Elastik ötesi yerdeğiştirme oranı, denklem (5.15)’te gösterildiği gibi, bir yapının elastik ötesi en

büyük yatay yerdeğiştirmesi (u_i) ile elastik en büyük yatay yerdeğiştirmesi (u_e) arasındaki orandır.

$$C = \frac{u_i}{u_e} \quad (5.15)$$

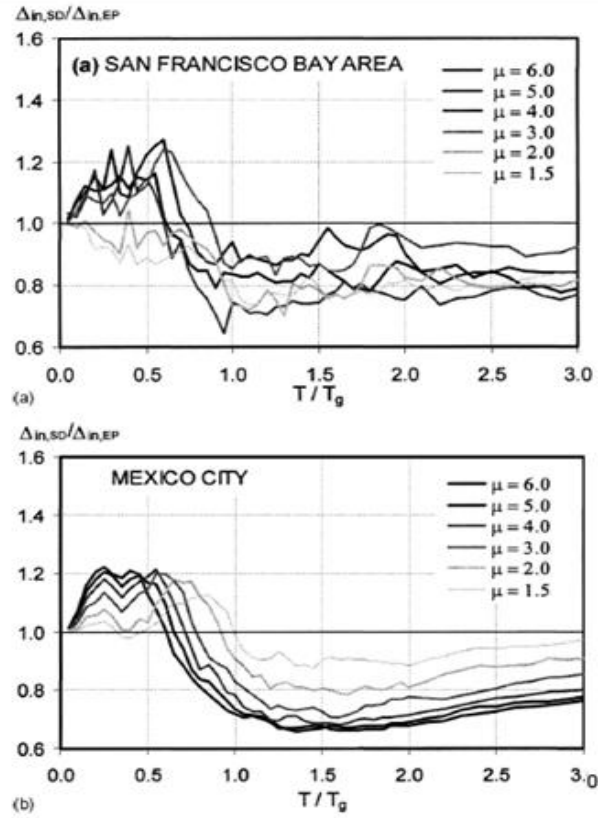
Elastik ötesi ve elastik yerdeğiştirme arasındaki ilişki ile ilgili ilk çalışmayı Veletsos ve Newmark [96]'da yapmıştır. TSD sistemlerde elastoplastik histeretik davranış kabulü ile kaydedilmiş 3 adet yer hareketi kullanarak bu ilişkiyi araştırmışlardır. Yüksek periyotlarda elastik ve elastik olmayan sistemlerin en büyük yerdeğiştirmelerinin oldukça yakın olduğunu gözlemlemişler ve bu gözlem ile çok iyi bilinen **eşit yerdeğiştirme kuralını** ortaya atmışlardır. Daha sonraki çalışmalar ile orta düzeydeki periyotlarda da eşit yerdeğiştirme kuralının geçerli olduğu gösterilmiştir. Bu çalışma ile aynı zamanda, kısa periyotlu yapıların elastik ötesi yerdeğiştirmesinin elastik yerdeğiştirmesinden büyük olduğunu göstermişlerdir.

Veletsos ve Newmark'ın [96]'daki çalışmasının temelinde yapılan çalışmalar ile Newmark ve Hall [97]'de elastik tepki spektrumundan elastik ötesi tepki spektrumu elde edilen yöntemi geliştirmişlerdir.

Shimazaki ve Sozen [98]'de 5 farklı histeretik model kabulü (Bilineer ve Clough modelleri) ile yalnızca El-Centro deprem kaydını kullanarak elastik ötesi ve elastik sistemlerin yerdeğiştirme istemlerinin oranı ile ilgili çalışmalar yaparak bir takım sonuçlar elde etmişlerdir. Sabit ivme bölgesi ile sabit hız bölgesi arasındaki geçiş periyodundan (karakteristik periyot) yüksek periyotlarda histeretik modelden bağımsız olarak elastik ötesi yerdeğiştirmeler ile elastik yerdeğiştirmelerin oldukça yakın olduğunu gözlemlemişler ve eşit yerdeğiştirme kuralını doğrulamışlardır. Karakteristik periyottan düşük periyotlarda elastik ötesi yerdeğiştirmelerin, elastik yerdeğiştirmelerden fazla olduğunu ve bu miktarın histeretik modele ve yatay dayanıma göre değiştiğini belirtmişlerdir. Yazarların sonuçları daha sonra Qi ve Moehle tarafından [99]'da da doğrulanmıştır.

Bu konu üzerinde Miranda ve çalışma arkadaşları [100], [101], [102], [103], [104], [105] ayrıntılı çalışmalar yapmıştır. Miranda [100], [101] ve [106]'da farklı zemin tiplerinde kaydedilmiş 124 yer hareketi kullanarak elastoplastik malzeme kabulü ile 30.000'in üzerinde TSD sistemler için çözümler yapmış ve farklı zeminler için bağıntılar

önermiştir. Aynı zamanda eşit yerdeğiştirme kuralının geçerli olduğu sınır periyot değerini de araştırmıştır. Miranda, [107]'de çalışmalarını genişletmiş ve 264 adet yer hareketi ile farklı deprem büyüklükleri, odak uzaklıkları ve zemin durumlarını dikkate alarak yerdeğiştirme oranları oluşturmuştur. Çözümlemeler sonucu elde ettiği değerlerin regresyon analizleri ile sabit süneklikli elastoplastik sistemler için geçerli olan bir bağıntı önermişlerdir. Daha sonra, Miranda [102]'de elastik ötesi yerdeğiştirme oranını (doğrudan yöntem olarak adlandırılmış) ve dayanım azaltma katsayılarını (R_μ - μ -T ilişkisi) (dolaylı yöntem olarak adlandırılmış) kullanarak elastik ötesi yerdeğiştirmeleri elde etmiş ve dolaylı yöntemin doğrudan yöntemle göre daha güvensiz tarafta sonuçlar verdiğini göstermiştir. Miranda ve Ruiz-Garcia [103]'te sabit süneklik için bulunan C_μ değerinin aynı sistemde, sabit dayanım azalması için bulunan C_R değerinden küçük olduğunu göstererek sabit süneklik için yapılan çözümlemelerin güvensiz yönde kalacağını belirtmiştir. 12 farklı depreme ait 216 adet yer hareketi kaydı ile elastoplastik çevrim kabulü ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemeler yaparak C_R için bir bağıntı önermiştir. Bu çözümlemeler sırasında ***zemin sınıfının, akma sonrası rijitliğinin, deprem büyüklüğünün ve odak uzaklığının*** etkilerini incelemiştir. Miranda ve Ruiz-Garcia'nın [103]'te yaptıkları çalışma dikkate alınarak, güvenli tarafta kalmak adına bu çalışmada da sabit dayanım azalmalı sistemler için elastik ötesi yerdeğiştirme oranı (C_R) araştırılmıştır. Miranda ve Ruiz-Garcia [104]'te dayanım azaltma istemiyle (R_μ) ilgili, elastoplastik model ve Clough modellerini (rijitlik azalmasını dikkate alarak) kullanarak çalışmalar yapmıştır. Karakteristik periyottan düşük periyotlarda rijitlik azalmalı modelle elde edilen değerlerin, azalmasız modelle elde edilenlere göre ortalamada %20 fazla olduğunu, karakteristik periyottan uzun periyotlarda ise tersi olarak daha az olduğunu göstermiştir. Son olarak Ruiz-Garcia ve Miranda [105]'te yumuşak zeminlerde elastik ötesi yerdeğiştirme oranlarını elde edebilmek için çalışmalar yapmıştır. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap için ***elastoplastik çevrim ve rijitlik azalmalı Clough çevrim modelleri*** kabulünü yapmıştır. Çalışmada elastik olmayan davranışın, deprem büyüklüğünün, odak uzaklığının ve ***rijitlik azalmasının*** etkileri incelenmiştir. Rijitlik azalmasının etkisi Şekil 5.5'te açık şekilde görülebilmektedir.



Şekil 5.5 Rijitlik azalmalı ve azalmaz elastoplastik sistemlerin elastik ötesi yerdeğiştirmeleri arasındaki oran [105]

Şekil 5.5'te T_g yer hareketinin hakim periyodunu, $\Delta_{in,SD}$ rijitlik azalmalı Clough sistemler için elde edilen elastik ötesi yerdeğiştirme istemini, $\Delta_{in,EP}$ ise azalmaz elastoplastik sistemler için elde edilen elastik ötesi yerdeğiştirme istemini göstermektedir.

Fakat Miranda ve çalışma arkadaşlarının yaptıkları çalışmalarda çevrimsel ve çevrimiçi azalma etkisi ile göçme potansiyeli dikkate alınmamıştır.

Krawinkler ve çalışma arkadaşları da [108], [109], [94]'te Miranda'nın çalışmalarına benzer çalışmalar yapmışlardır. Malzeme modeli olarak, ikili doğrusal ve Clough modelleri kullanılmış ve dayanım, rijitlik azalması ve pinching etkisi dikkate alınmasına rağmen hem dayanım hem de rijitlik azalmaları ayrı ayrı dikkate alınmıştır.

Vidic vd. [110]'da sabit dayanım azalması katsayılı yer değiştirme sabiti önermişlerdir. Gupta ve Kunnath [111]'de TSD sistemler için 15 adet yer hareketi ile üç parametrelili bir dayanım azalmalı çevrim modeli kullanarak benzer çalışmalar yapmıştır.

Song ve Pincheira [112]'de 12 deprem kaydı ile dayanım ve rijitlik azalmasını dikkate alarak çalışmalar yapmışlardır. Fakat 12 adet kayıt kullanılması ve yakın alan veya uzak alan etkileri gözetiilmeden sıkı ve yumuşak zeminlerden rastgele seçimler yapılmasından dolayı sonuçlar üzerindeki istatistikî bilgilerin güvenilirliği azdır [95]. Aynı zamanda bu çalışmadaki histeretik modelde azalma modu sönümlenen histeretik enerjiden çok çevrim sayısına bağılıdır.

Yazarların çalışmalarındaki sonuçlara göre:

- Düşük dayanımlı yapılarda azalma etkisinin dikkate alındığı modellerden elde edilen elastik ötesi yerdeğıştirme istemi, azalmasızlara oranla büyük olabilmektedir
- *Geri – yükleme rijitliği ve tepe – sonrası rijitliği*, azalmalı TSD sistemlerin elastik ötesi yerdeğıştirme istemi üzerinde en fazla etkiye sahipler.
- Sıkışma (pinching) etkisi parametresinin ve tekrarlı çevrimli azalma parametrelerinin etkileri yalnızca **yumuşak zeminlerde** gözlemlenmiştir. Sıkı ve kaya zeminlerde bu parametrelerdeki değışimin en büyük yerdeğıştirme üzerinde gözle görülür bir etkisi gözlemlenmemiştir.
- T_g karakteristik periyodundan kısa periyotlarda, aynı akma dayanımına ve periyoda sahip sistemler için azalmalı modelle bulunan elastik ötesi yerdeğıştirme, azalmasıza göre fazla olmaktadır.

Çalışmada T_g , eşdeğer hızın en büyük olduğı periyot olarak tanımlanmıştır.

Aydinoğlu ve Kaçmaz [113]'te 146 yer hareketi kullanarak TSD sistemler için azalmasız elastoplastik çevrim kabulü ile sabit dayanım azalması ($R = 1.5, 2, 3, 4, 5, 6$) ve %5 sönüm için yerdeğıştirme oranları hesaplamış ve regreson analizleri ile bu oranlardan faydalanarak elastik ötesi yerdeğıştirme oranı için bir bağıntı önermişlerdir. Yer hareketlerinde sıkı zeminlerde kaydedilen kayıtlar kullanılmış ve yakın alan etkisi dikkate alınmamıştır.

Chopra ve Chintanapakdee [114]'te 140 yer hareketi kullanarak, azalmasız ikili doğrusal çevrim modeli ile sabit süneklikli (μ) ve sabit dayanımlı (sabit R) sistemler için elastik olmayan yer değıştirme sabitleri elde etmişler ve bunlarla ilgili bağıntılar önermişlerdir.

Pekoz ve Pincheira [115]'te, Song ve Pincheira'nın [112]'de yaptığı çalışmada kullandıkları histeretik modeli esas alarak elastik ötesi yerdeğiştirme oranı ile ilgili araştırmalar yapmışlar ve yer hareketinin karakteristik periyodundan (%5 sönümlü elastik giriş enerjisi spektrumunun en büyük olduğu periyot değeri olarak tanımlanmıştır) kısa periyotlarda, azalmalı sistemlerin elastik ötesi yerdeğiştirme istemlerinin azalmasız sistemlerle elde edilenlerden büyük olduğunu göstermişlerdir.

Chenouda ve Ayoub [49]'da, Rahnema ve Krawinler'in [109]'da önerdiği Ibarra vd. [5]'te ayrıntılarıyla anlattığı azalmalı çevrim modeli ile C_R (elastik ötesi yerdeğiştirme oranı) katsayısı için çalışmalar yapmış ve Nassar ve Krawinler'in [108]'de ve Chopra ve Chintanapakdee'nin [114]'te önerdiği C_R bağıntılarındaki sabitleri düzelterek bu bağıntılara azalma etkisini eklemek istemişlerdir. Fakat modelde ($\xi = \%5$, $\alpha_s = \%3$, $\alpha_c = -\%6$, $c = 1$ ve $u_c/u_y = 4$) parametrelerini kabul ederek yalnızca γ azalma hızını değiştirmişlerdir. α_s , α_c ve u_c/u_y gibi parametrelerin çeşitliliği de sonuçlarda önem arz edebileceğinden [112], bu parametrelerin de C_R elde edilirken dikkate alınması gerekmektedir.

Lumantharna vd. [116]'da dayanım azalmasının elastik ötesi yerdeğiştirme istemi üzerindeki etkisinin karakteristik periyotla ne düzeyde değiştiğini araştırmışlar ve köşe periyodu uzadıkça dayanım azalmasının elastik ötesi yerdeğiştirme istemini artırdığını göstermişlerdir.

Eser vd. [117]'de zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak elastoplastik davranış kabulü ile 64 adet yer hareketi kaydı için TSD sistemlerin elastik ötesi yerdeğiştirme oranı ile ilgili çalışmalar yapmışlar ve yeni bir bağıntı önermişlerdir. Eser [118]'de ise yumuşak zeminde bulunan TSD sistemler için zemin-yapı etkileşimini ve rijitlik azalmasını dikkate alan bir bağıntı önermiştir.

Bölüm 3'te ayrıntılı bir biçimde anlatıldığı üzere elastik ötesi davranış durumunda çevrimsel yükler altında yapılar da dayanım ve rijitlik azalması meydana gelir [5]. Birçok araştırmacı betonarme yapıların veya yapı elemanlarının çevrimsel yükler altındaki davranışları üzerine deneysel çalışmalar yapmışlar ve histeretik davranışlarının ikili doğrusal çevrim modeline uymadığını aksine çevrimsel yükler altında dayanım ve rijitlik azalmasının olduğunu ve histeretik çevrimin "Peak-Oriented" modele daha uygun

olduğunu göstermişlerdir [7]. Chintanapakdee ve Jaiyong [119]'da azalmasız ikili doğrusal model yerine azalmalı Peak-Oriented histeretik model kullanıldığında TSD sistemler için elde edilen yerdeğiştirme zaman geçmişinin, ÇSD betonarme çerçevelerin tepe yerdeğiştirme zaman geçmişine çok yakın olduğunu göstermişlerdir. Bu yüzden ve yukarıda bahsedilen azalmalı sistemler için yapılmış çalışmalar sonucunda, TSD sistemler için daha gerçekçi bir elastik ötesi yerdeğiştirme oranı elde edebilmek adına çevrimiçi azalmanın (negatif rijitlik, yumuşama kısmı) da dikkate alındığı dayanım-rijitlik azalmalı bir histeretik davranış dikkate alınmalıdır. Negatif rijitlik, bu çalışmada tepe-sonrası rijitliği olarak isimlendirilmiş ve Bölüm 3'te açıklanmıştır.

Chenouda ve Ayoub [49]'da göçme potansiyelinin dikkate alındığı enerjiye dayalı dayanım-rijitlik azalmalı histeretik model kullanmasına rağmen, sınırlı sayıda azalma parametresi kullanarak, azalma parametrelerindeki değişimin elastik ötesi yerdeğiştirme oranı üzerindeki etkisini araştırmamışlardır.

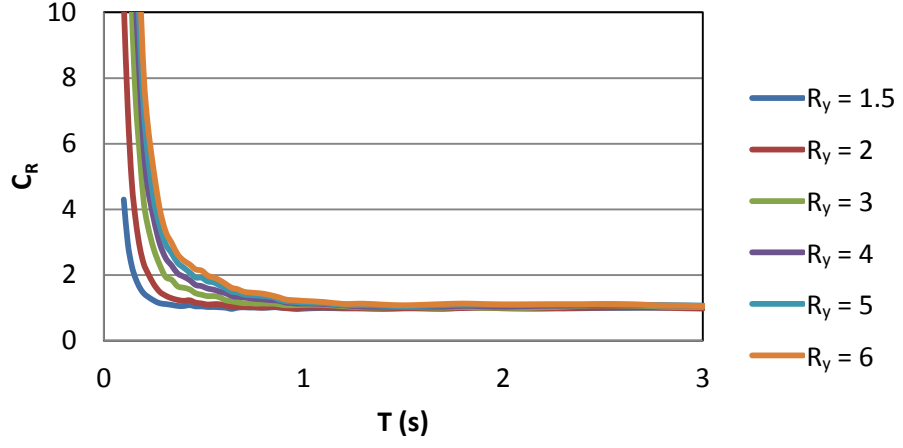
Bu çalışmada, sabit dayanımlı TSD sistemlerde, göçme potansiyelini dikkate alan enerjiye dayalı dayanım-rijitlik azalmalı histeretik çevrim kabulü ile elastik ötesi yerdeğiştirmeler araştırılmış ve doğrusal olmayan regresyon ile dayanım azaltması katsayısı (R_y), periyot ve azalma parametrelerinin bir fonksiyonu olan yeni bir **elastik ötesi yerdeğiştirme oranı bağıntısı** önerilmiştir. Ayrıca, yerel zemin sınıfları ve akma sonrası rijitliğinin elastik ötesi yerdeğiştirme üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Aynı zamanda azalmasız ikili-doğrusal histeretik davranış için de çözümlemeler yapılarak, ikili-doğrusal davranışta yerel zemin sınıflarının ve akma sonrası rijitliğinin etkileri incelenmiş, mevcut bağıntıların yaklaşıklığı araştırılmıştır. Son olarak önerilen bağıntı ile mevcut bağıntıların ve azalmasız ikili-doğrusal sistemin verdiği sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.2.1 İkili-doğrusal Çevrim Modeli için Elastik Ötesi Yerdeğiştirme Oranı (C_R)

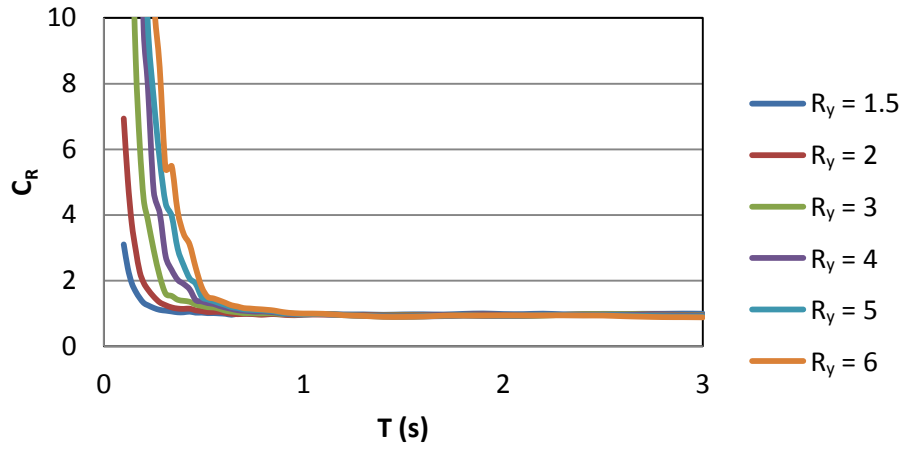
Çalışmanın bu kısmında, literatürde önerilen bağıntıların yaklaşıklığını ve azalmalı sistemlerin elastik ötesi yerdeğiştirmelerinin azalmasız ikili-doğrusal sistemler için elde edilenlerden farkını irdelemek üzere azalmasız ikili-doğrusal çevrimsel davranış kabulü için sabit dayanımlı TSD sistemlerin C_R sabitleri elde edilmiştir.

Elastik ötesi yerdeğiştirme oranı, sabit dayanımlı sistemler için (C_R) veya sabit süneklikli sistemler için (C_μ) elde edilebilir. Sabit dayanımlı sistemlerin hesabında belirli bir dayanım azaltma katsayısı (R_y) için çözümler yapılır ve histeretik çevrimde akma dayanımı, elastik kuvvetin R_y 'ye bölünmesi ile elde edilir. Sabit süneklikli sistemlerin hesabında ise belirli bir süneklik (μ) için çözümler yapılır ve bu sünekliği sağlayacak akma dayanımı iterasyon ile bulunur. Bu nedenle zaman alıcıdır. Bölüm 5.2'de de anlatıldığı gibi Miranda ve Ruiz-Garcia [103]'te sabit süneklik için bulunan C_μ değerinin aynı sistemde, sabit dayanım azalması için bulunan C_R değerinden küçük olduğunu göstererek sabit süneklik için yapılan çözümlerinin güvensiz yönde kalacağını belirtmiştir. Bu tespitten hareketle, bu çalışmada sabit dayanımlı sistemler için çözümler yapılmıştır.

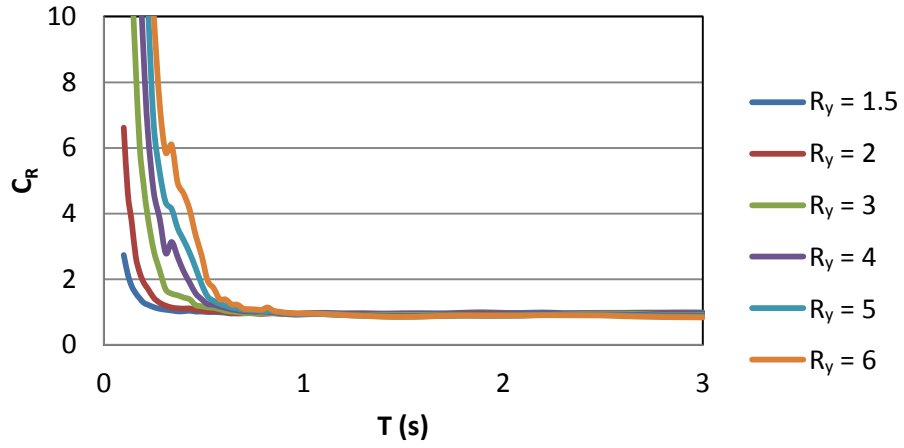
$R_y = 1.5, 2, 3, 4, 5, 6$ olmak üzere 6 adet dayanım azaltma katsayısı, $\alpha_s = \%0, \%3$ ve $\%5$ olmak üzere 3 adet akma sonrası rijitliği, $T = 0.1 - 3$ s arasında 53 adet doğal titreşim periyodu ($T = 0.1:0.02:0.2, 0.22:0.03:1, 1.1:0.1:3$), Bölüm 2.3'te anlatılan 160 adet yer hareketi kaydı için $\%5$ sönümlü ikili-doğrusal TSD sistemlerin C_R sabitleri elde edilmiştir. Gözönüne alınan her sistem için ikili-doğrusal çevrim kabulü ile MATLAB'de [120] hazırlanan zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap programı ile elastik ötesi yerdeğiştirme istemi elde edilmiş ve ilgili sistemin elastik yerdeğiştirme istemine bölünerek C_R elde edilmiştir. 6 adet R_y , 3 adet α_s , 53 adet T ve 160 adet yer hareketi kaydı için 152640 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yapılarak ikili-doğrusal çevrim modeli için ortalama C_R sabitleri elde edilmiştir. Her bir sistem için 160 adet yer hareketi kaydından elde edilen 160 adet C_R sabitinin ortalaması alınarak, o sistemin ortalama C_R sabiti bulunmuştur. Şekil 5.6'da elde edilen C_R sabitleri için grafikler verilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki kısmında C_R ifadesi ile "ortalama C_R " kastedilecektir.



a) $\alpha_s = \%0$



b) $\alpha_s = \%3$



c) $\alpha_s = \%5$

Şekil 5.6 Azalmasız ikili-doğrusal çevrim modeli için elde edilen C_R sabitleri

Şekil 5.6'dan görüldüğü üzere uzun periyotlarda eşit yerdeğiştirme kuralı geçerli ve C_R 1'e eşittir. Fakat uzun ve kısa periyot bölgesini ayıran sınır periyot değeri dayanım

azaltma katsayısı R_y ile değişmektedir. Örneğin $R_y = 1.5$ 'da uzun ve kısa periyot bölgelerinin sınırı yaklaşık $T = 0.3$ s iken $R_y = 6$ 'da bu sınır $T = 1$ s olmaktadır.

5.2.1.1 İkili-doğrusal davranışta zemin sınıfının C_R üzerine etkisi

Bu çalışmada kullanılan 160 adet deprem kaydı, herbirinde 40 adet yer hareketi olmak üzere USGS [17] sınıflandırmasına göre A, B, C, D olarak 4 farklı zemin sınıfını içermektedir. C_R sabitleri her bir zemin sınıfı için elde edilmiş ve tüm zemin sınıflarının beraber dikkate alınması durumuyla karşılaştırılmıştır. Şekil 5.7'de tüm kayıtlar için elde edilmiş C_R ile her bir zemin sınıfına ait kayıtlar için elde edilmiş C_R oranları verilmiştir. Şekil 5.7'den görüldüğü üzere zemin sınıfının C_R üzerindeki etkisi kısa periyot bölgesinde önemsenecek düzeydedir. A ve B zemin sınıfları için elde edilen C_R değerleri tüm kayıtların ortalamalarına göre küçük tarafta kalmaktadır. C ve D zemin sınıflarında ise daha büyük değerler elde edilmektedir. Şekil 5.7 görüleceği üzere, sıkı zeminler (A ve B) için ve tüm zemin sınıflarının ortalaması ile elde edilen C_R sabitlerinin oranı, C ve D zemin sınıfları için ve tüm zemin sınıflarının ortalaması ile elde edilen C_R sabitlerinin oranından daha büyüktür. Buna göre, sıkı zeminlerde zemin sınıfını dikkate almadan tüm zemin sınıflarının ortalaması için C_R elde edildiğinde, meydana gelecek hata yumuşak zeminlere göre daha fazla olacaktır. Fakat periyot uzadıkça zemin sınıfının C_R üzerinde önemsenecek bir etkisi kalmamaktadır.

Şekil 5.7'den de görüldüğü gibi akma sonrası eğimi arttıkça zemin sınıfının dikkate alınmaması, C_R elde edilmesindeki hata payını artırmaktadır. Bu durum özellikle daha sıkı zeminler için (A ve B zemin sınıfları) daha fazla önem arz etmektedir. Şekil 5.7'de $C_{R,n}$ ifadesindeki "n" ile herhangi bir zemin sınıfı ifade edilmektedir.

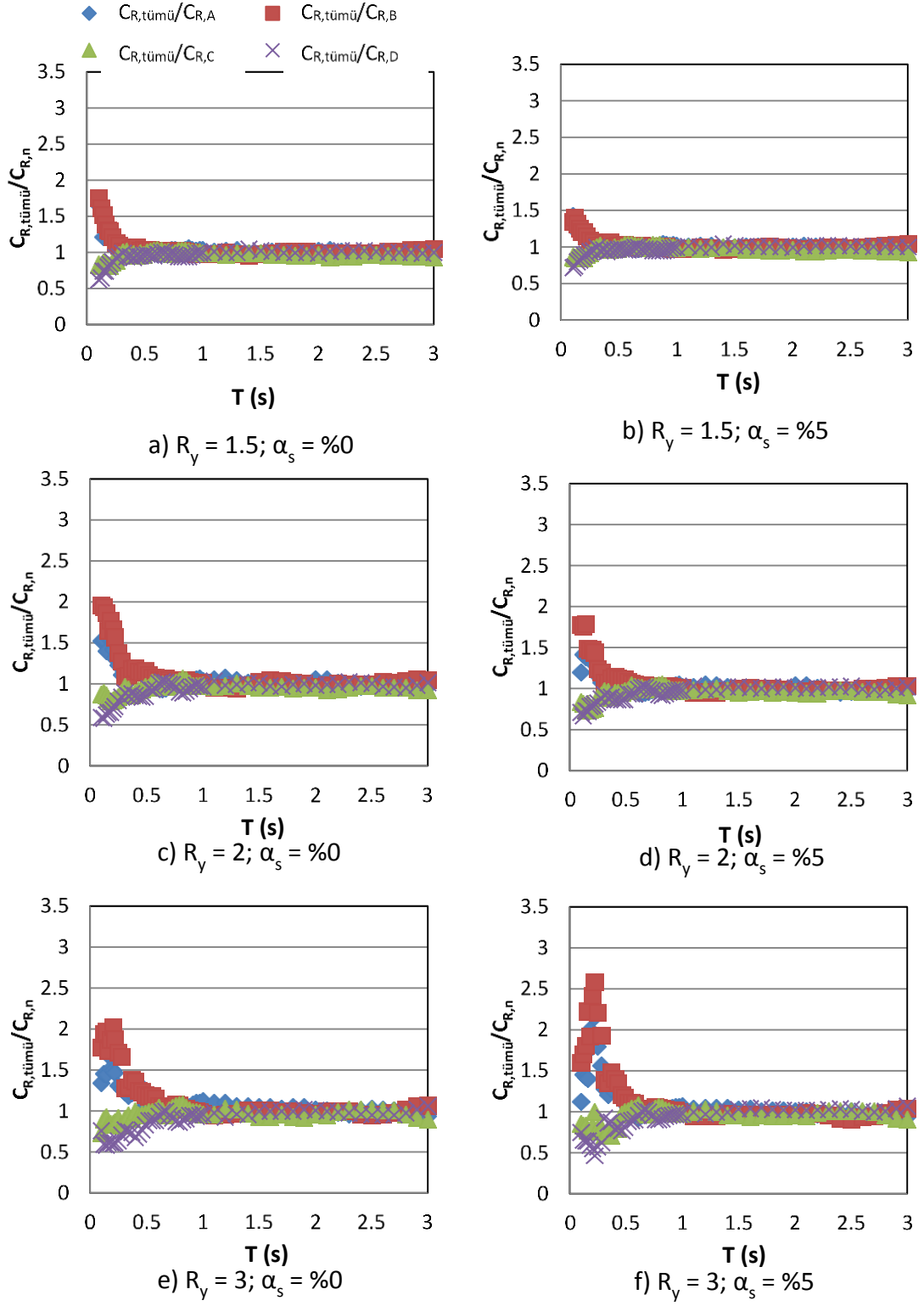
5.2.1.2 İkili-doğrusal davranışta akma sonrası eğiminin C_R üzerine etkisi

Akma sonrası eğiminin C_R üzerine etkisi, Şekil 5.8'de verilmiştir. Bu etki, kısa periyot ve uzun periyot olmak üzere iki periyot bölgesinde incelenebilir.

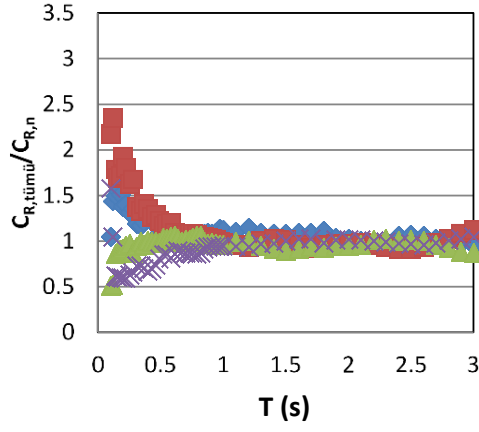
Kısa periyot bölgesinde, elastoplastik sistemler ($\alpha_s = \%0$) R_y 'nin 3 ve üzeri değerleri için genel olarak daha küçük C_R değerleri vermektedir. Bahsi geçen kısa periyot bölgesi sınırı, $R_y = 3$ için $T = 0.3$ s ve $R_y = 4, 5, 6$ için $T = 0.5$ s'dir. Uzun periyot bölgesinde ise elastoplastik

sistemlerde daha büyük C_R elde edilmektedir. $R_y = 1.5$ ve 2 değerleri için kısa periyot bölgesinde elastoplastik sistem daha büyük C_R değerleri vermektedir ve bu kısa periyot bölgesi sınırı yaklaşık olarak $T = 0.25$ s'dir.

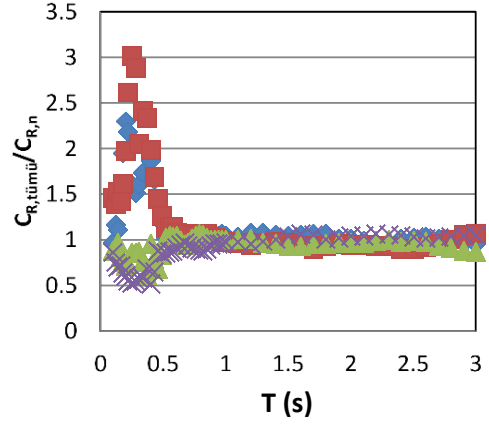
$R_y = 1.5$ ve 2 için $T = 0.25$ s'den uzun periyotlarda tüm α_s değerleri için C_R değişmemektedir. R_y arttıkça elastoplastik sistem ve $\alpha_s = \%3, \%5$ için bulunan ortalama C_R 'lerin oranı da artmaktadır. $R_y = 6$ için bu değer en fazla yaklaşık 1.3 olmaktadır ki, elastoplastik sistem için bulunan C_R 'nin, $\alpha_s = \%5$ için bulunan C_R 'den %30 fazla olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar ışığında uzun periyotlarda elastoplastik sistem kullanmak yerdeğiştirme isteminde güvenli tarafta sonuçlar verecek ve yeterli olacaktır. Bununla beraber kısa periyot bölgesinde akma sonrası eğiminin dikkate alınması güvenli tarafta sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Ayrıca, akma-sonrası rijitliği eşit yerdeğiştirmenin başladığı sınır periyot değerini de etkilemektedir. α_s arttıkça eşit yerdeğiştirmenin başladığı periyot biraz daha kısalmaktadır.



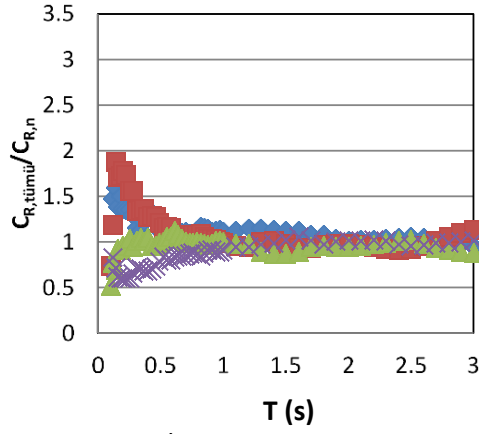
Şekil 5.7 Azalmasız ikili-doğrusal çevrim modeli için tüm zemin sınıflarının C_R sabiti ile her bir zemin sınıfı için bulunmuş C_R sabiti oranları



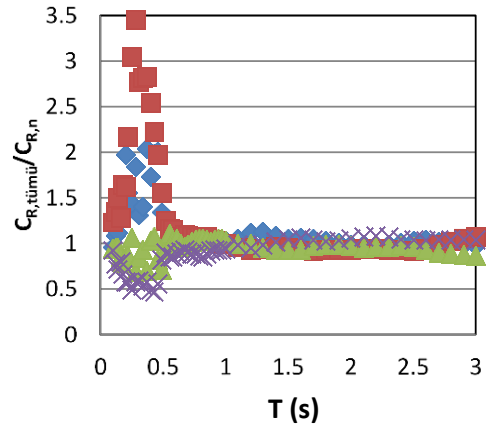
g) $R_y = 4; \alpha_s = \%0$



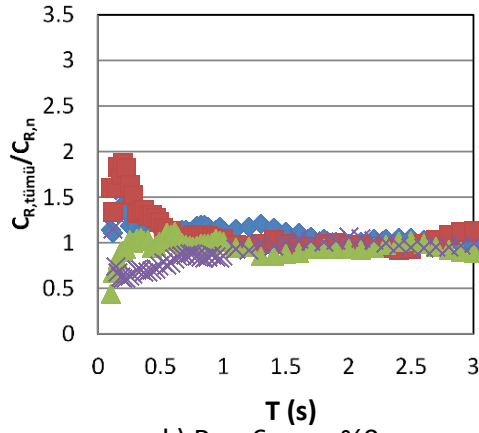
h) $R_y = 4; \alpha_s = \%5$



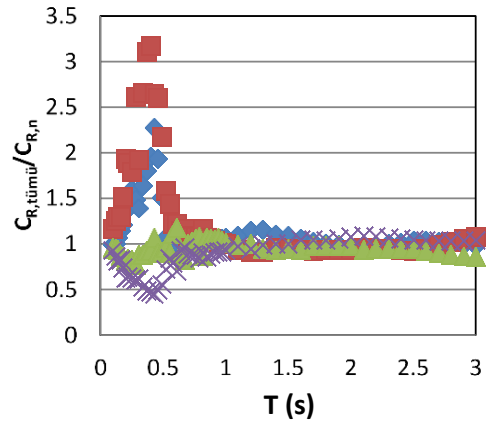
i) $R_y = 5; \alpha_s = \%0$



j) $R_y = 5; \alpha_s = \%5$

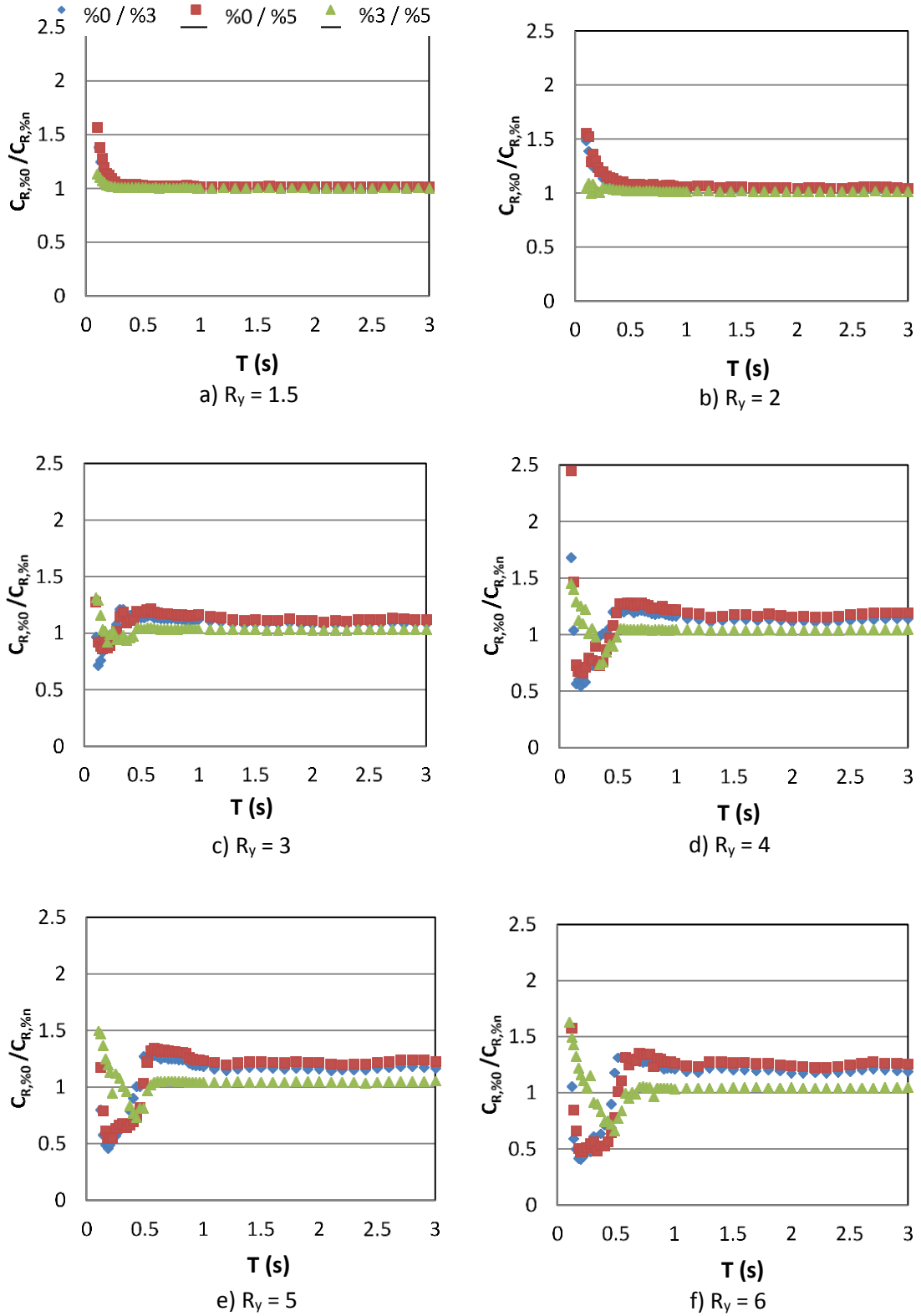


k) $R_y = 6; \alpha_s = \%0$



l) $R_y = 6; \alpha_s = \%5$

Şekil 5.7 Azalmasız ikili-doğrusal çevrim modeli için tüm zemin sınıflarının C_R sabiti ile her bir zemin sınıfı için bulunmuş C_R sabiti oranları (Devam...)



Şekil 5.8 Azalmasız ikili-doğrusal çevrim modeli için tüm zemin sınıflarının C_R sabiti ile her bir zemin sınıfı için bulunmuş C_R sabiti oranları

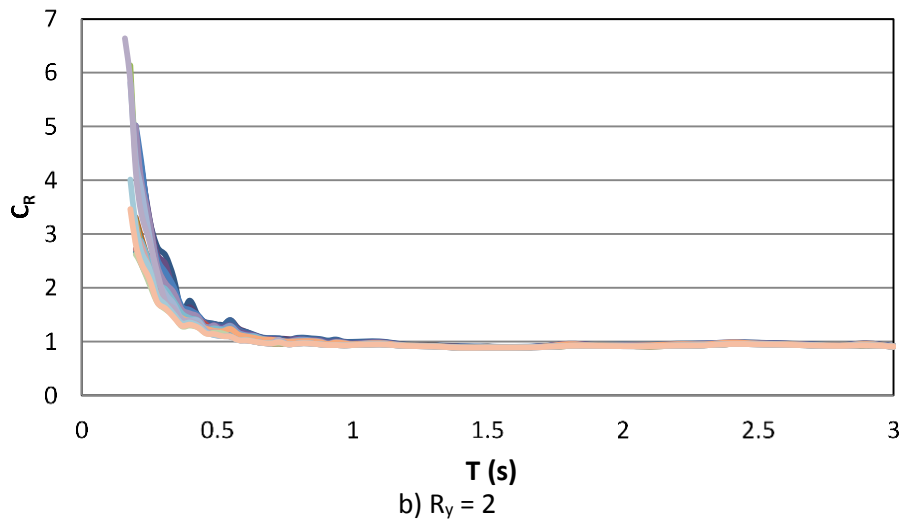
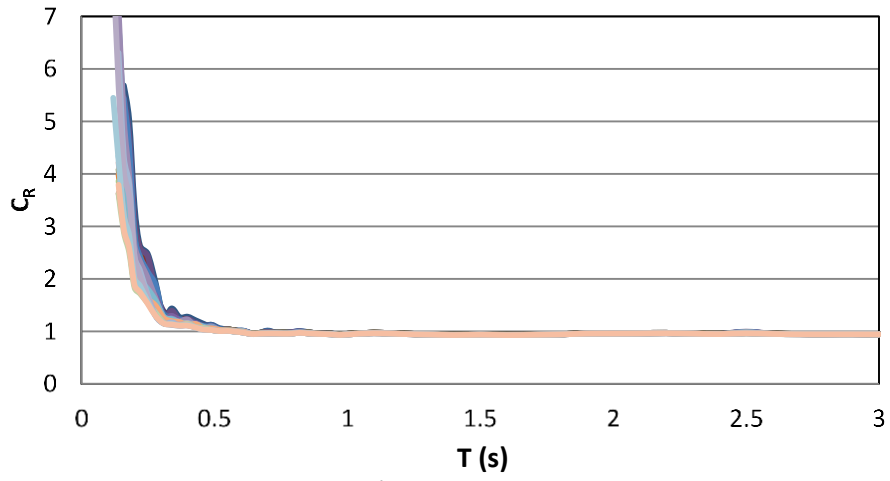
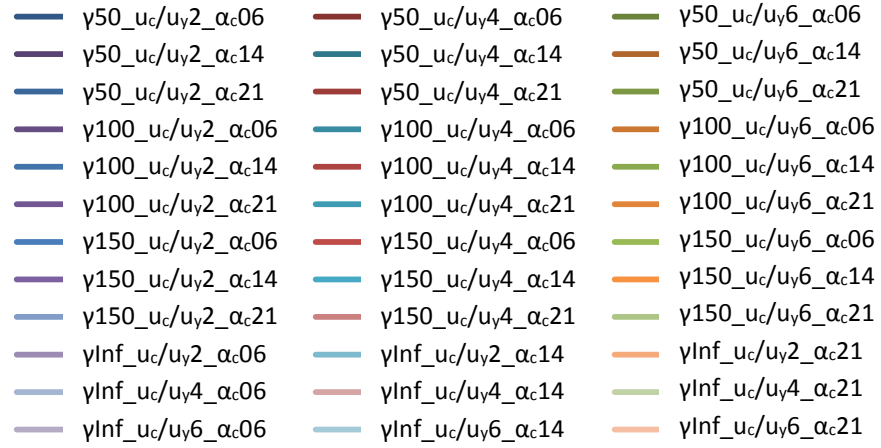
5.2.2 Azalmalı Clough Model (Peak-Oriented) için C_R

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi histeretik çevrim davranışında dayanım-rijitlik azalması ve göçme potansiyelinin dikkate alınması deprem yerdeğiştirme isteminde ve buna bağlı olarak şekil değiştirme istemlerinin elde edilmesinde önemsenecek bir etkiye sahiptir.

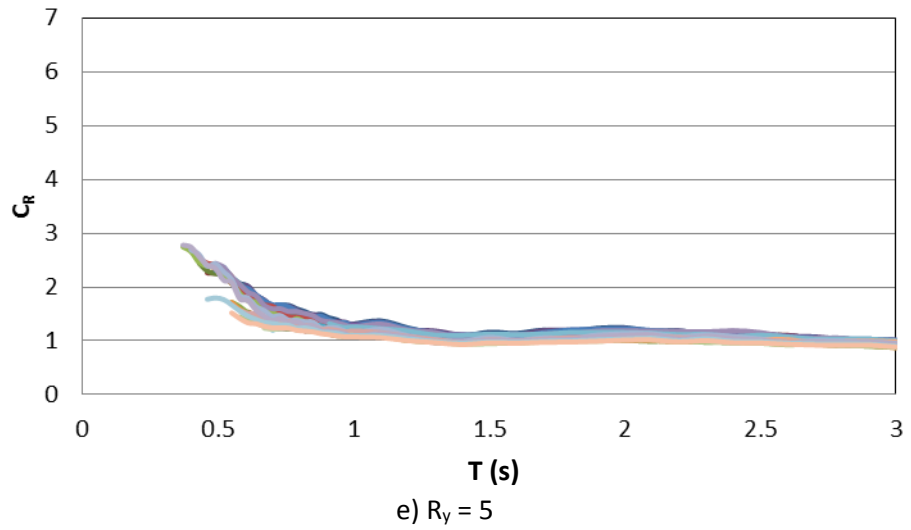
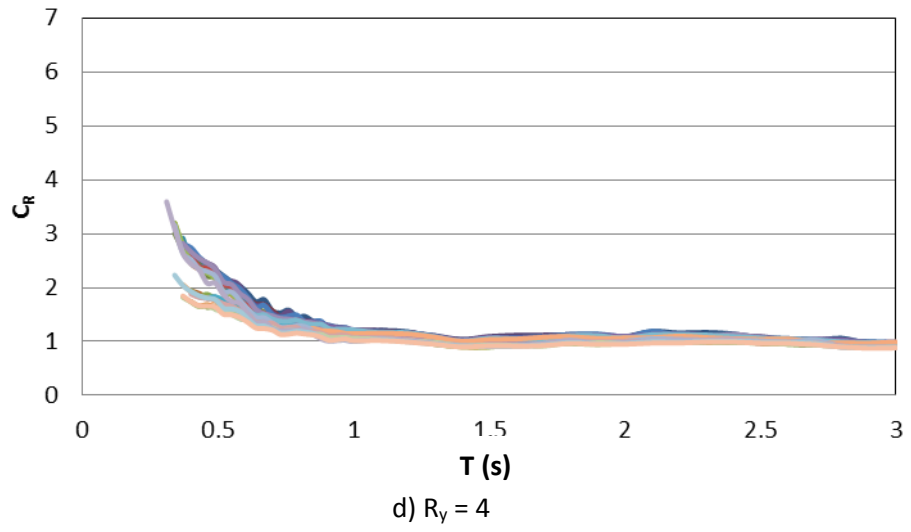
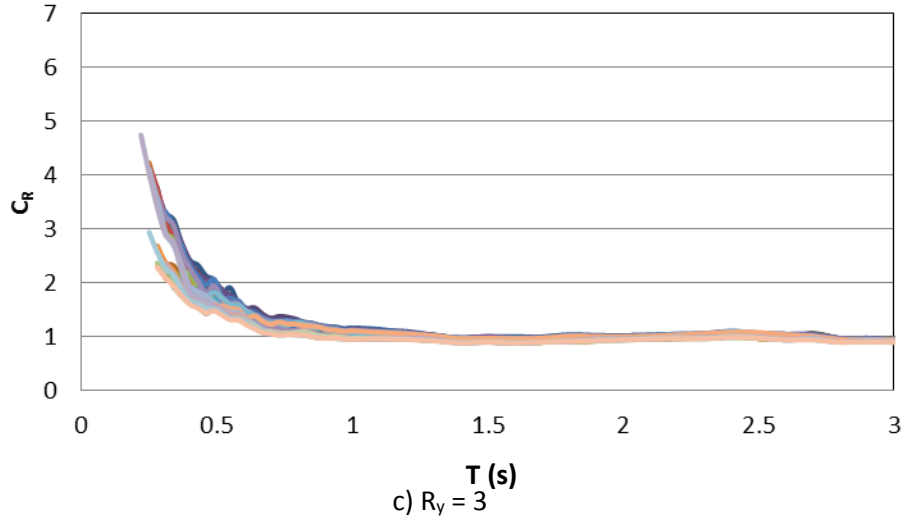
Bu yüzden azalma etkisini araştırabilmek adına histeretik çevrimde gerçekleşmesi olası farklı azalma kombinasyonları dikkate alınmıştır. Azalma hızı için $\gamma = 50, 100, 150$ ve sonsuz (azalmaz); süneklik için $u_c/u_y = 2, 4$ ve 6 ve tepe-sonrası eğimi için de $\alpha_c = -0.06, -0.14$ ve -0.21 değerleri dikkate alınmıştır. Bu 3 farklı azalma parametresinin sözü edilen değerleri kullanılarak 36 farklı azalma durumu için hesap yapılmıştır.

$R_y = 1.5, 2, 3, 4, 5, 6$ olmak üzere 6 adet dayanım azaltma katsayısı, $\alpha_s = \%0, \%3$ ve $\%5$ olmak üzere 3 adet akma sonrası rijitliği, $T = 0.1 - 3$ s arasında 53 adet doğal titreşim periyodu ($T = 0.1:0.02:0.2, 0.22:0.03:1, 1.1:0.1:3$), Bölüm 2.3'te anlatılan 160 adet yer hareketi kaydı ve 36 adet azalma kombinasyonu için $\%5$ sönümlü Clough çevrim davranışı esas alınmış, TSD sistemlerin C_R sabitleri elde edilmiştir. 5495040 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yapılmış, elde edilen sonuçlar C_R 'nin tahmini için türetilen bağıntının regresyon analizinde kullanılmıştır.

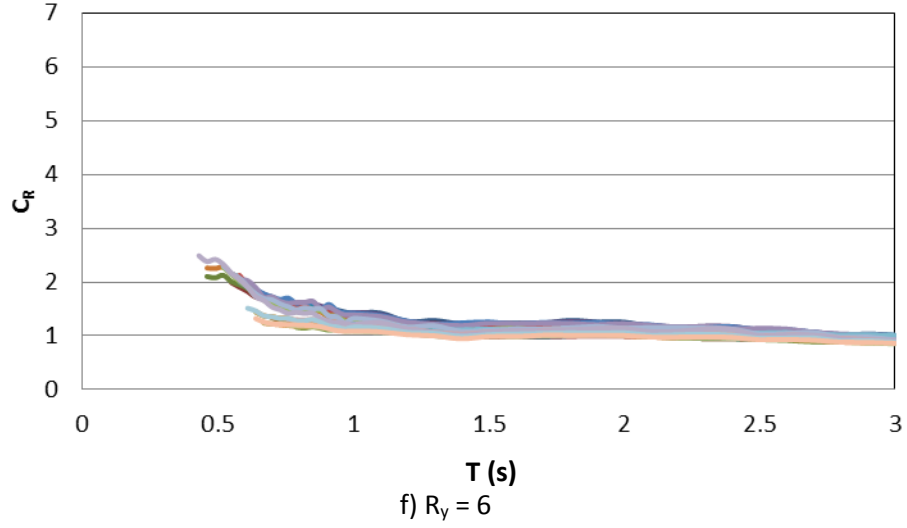
Şekil 5.9'da $\alpha_s = \%0$ için C_R sabitleri grafikleri verilmiştir. $\alpha_s = \%3$ ve $\%5$ için elde edilen grafikler Ek-C'de verilmiştir. Şekil 5.9'dan da görüldüğü gibi grafikler her bir R_y için belli bir sınır periyot değerinden itibaren çizilmiştir. Bunun sebebi, sözü edilen sınır periyottan kısa periyotlarda sistemde dinamik instabilite dolayısıyla göçme oluşacağından, bir yerdeğiştirme isteminin söz konusu olmamasıdır. Bahsi geçen bu sınır periyot "göçme periyodu" (T_{col}) olarak isimlendirilmiştir ve ayrıntılı bir biçimde Bölüm 4'te açıklanmıştır. Şekil 5.10'da ise birkaç azalma kombinasyonu için, aynı grafik üzerinde farklı R_y değerleri için çizilmiş C_R sabitleri verilmiştir.



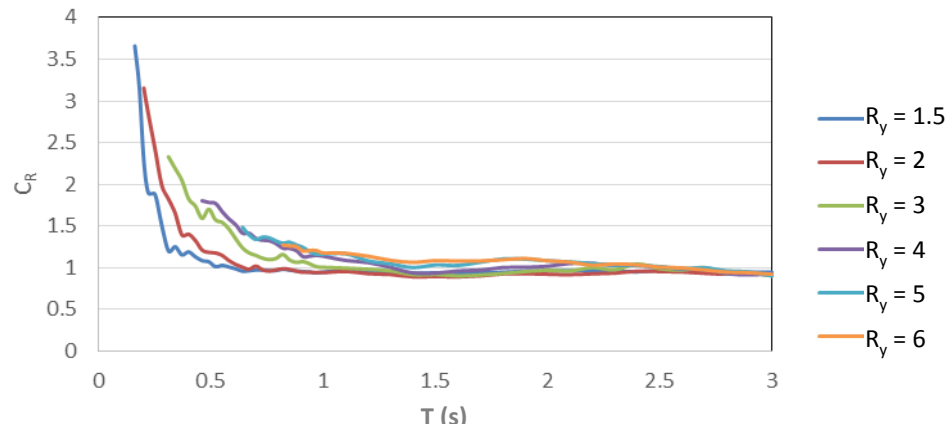
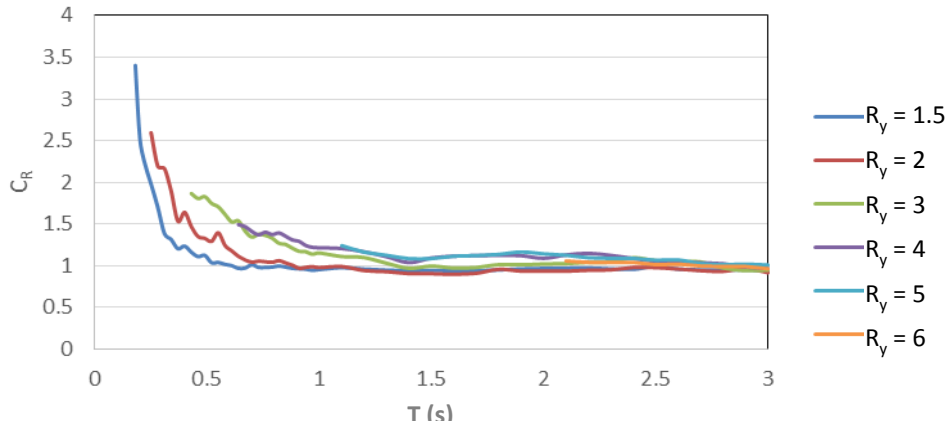
Şekil 5.9 Azalmalı Pike-Yönelik modelde $\alpha_s = \%0$ ve tüm kayıtlar için C_R sabitleri



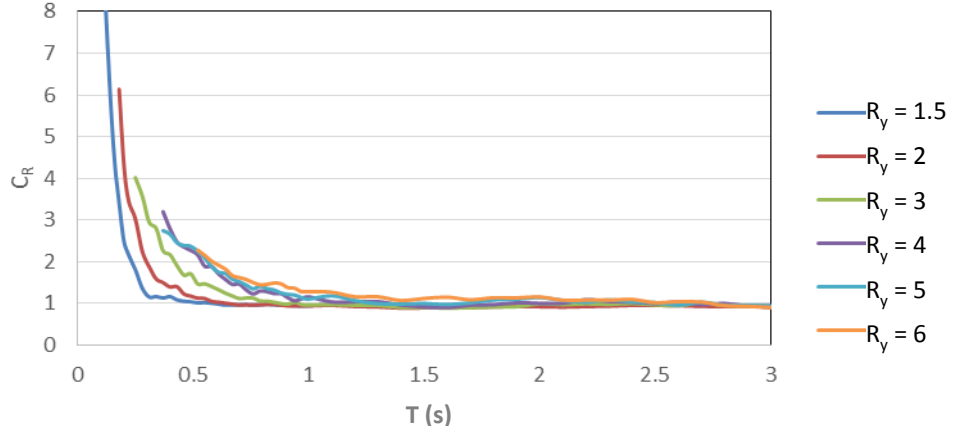
Şekil 5.9 Azalmalı Pike-Yönelik modelde $\alpha_s = \%0$ ve tüm kayıtlar için C_R sabitleri
(devam...)



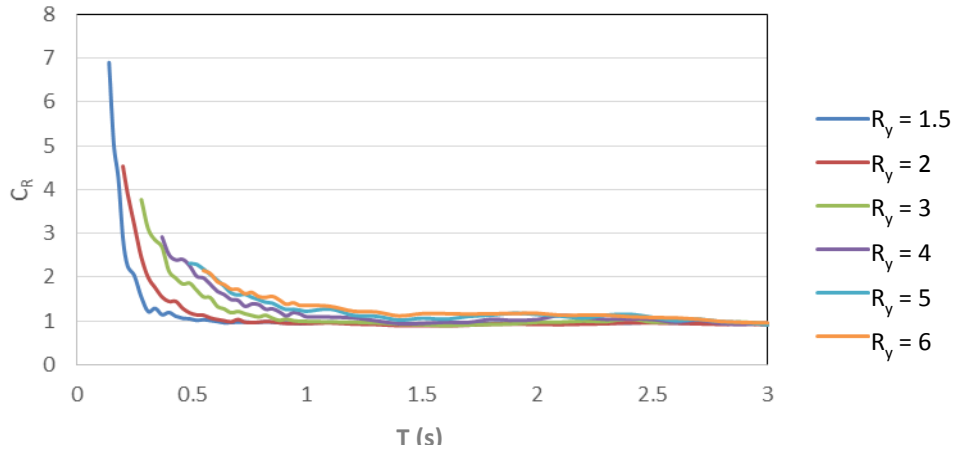
Şekil 5.9 Azalmalı Pike-Yönelik modelde $\alpha_s = \%0$ ve tüm kayıtlar için C_R sabitleri
(devam...)



Şekil 5.10 Azalmalı Pike-Yönelik modelde $\alpha_s = \%0$ ve tüm kayıtlar için C_R sabitleri (farklı R_y 'ler için)



c) $\gamma = 150$; $u_c/u_y = 6$; $\alpha_c = 0.06$



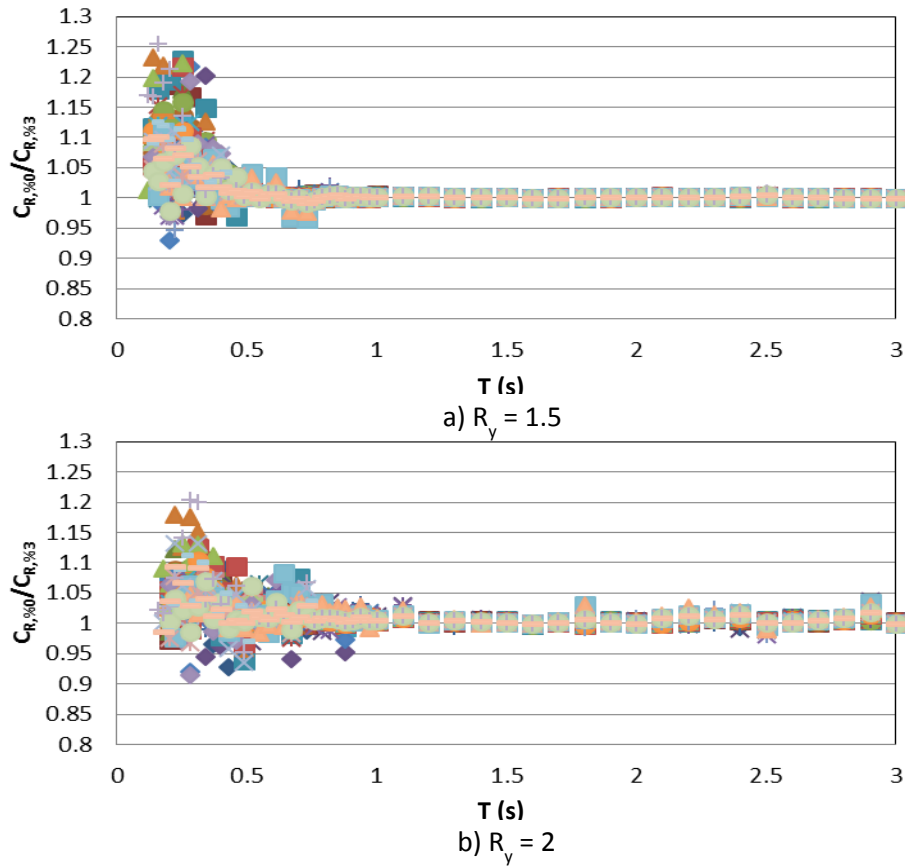
d) $\gamma = 100$; $u_c/u_y = 4$; $\alpha_c = 0.06$

Şekil 5.10 Azalmalı Pike-Yönelik modelde $\alpha_s = \%0$ ve tüm kayıtlar için C_R sabitleri (farklı R_y 'ler için) (devam...)

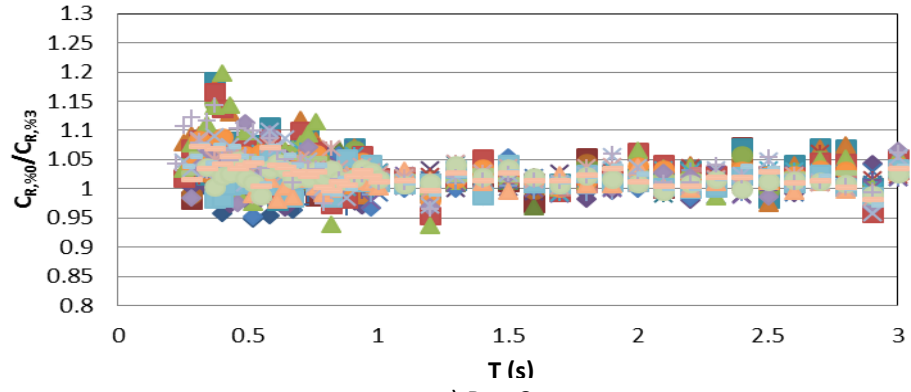
5.2.2.1 Akma sonrası eğiminin (α_s) C_R üzerine etkisi

Şekil 5.11'de $\alpha_s = \%0$ (elastoplastik sistem) için bulunan C_R sabitlerinin $\alpha_s = \%3$ için bulunan ortalama C_R sabitlerine oranı, Şekil 5.12'de $\alpha_s = \%0$ için bulunan C_R sabitlerinin $\alpha_s = \%5$ için bulunan C_R sabitlerine oranı verilmiştir. Böylelikle α_s 'nin C_R üzerine etkisi incelenmiştir. 37 farklı azalma kombinasyonu için α_s 'nin etkisini incelemek pek mümkün olmadığından Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilen grafikte genel eğilimi incelenmiştir. Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'den de görüldüğü gibi azalma kombinasyonlarının genelinde $\alpha_s = \%0$ için bulunan C_R 'ler $\alpha_s = \%3$ ve $\%5$ için bulunan C_R 'lerden daha büyüktür. Bu büyüklük $R_y = 1.5$ için $\alpha_s = \%0$ ile $\alpha_s = \%5$ için elde edilen sonuçların birbirine oranında en büyük değerini almaktadır ve $\alpha_s = \%0$ için bulunan C_R , $\alpha_s = \%5$ için bulunandan %35 daha büyük

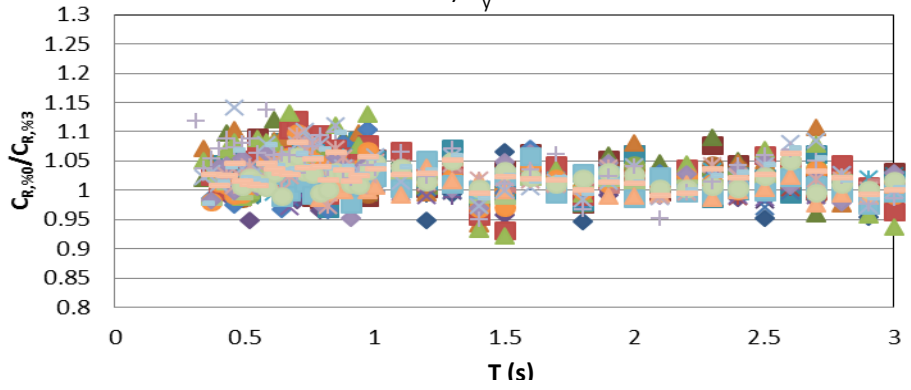
olmaktadır. Bazı azalma kombinasyonlarında $\alpha_s = \%0$ için bulunan C_R küçük değerler olsa da bu oran en fazla $\%10$ olmakta ve önemsenmeyecek mertebelerde kalmaktadır. $R_y = 1.5, 2$ ve 3 için ve kısa periyot değerlerinde bu oranlar artmakta, uzun periyotlarda ise tüm α_s 'ler için bulunan C_R 'ler neredeyse aynı olmaktadır. $R_y = 4, 5, 6$ için ise hemen hemen tüm periyot değerlerinde tüm α_s 'ler için bulunan C_R sabitleri birbirine yakın değerler almakta, fakat genel olarak $\alpha_s = \%0$ için bulunan C_R sabitleri en fazla $\%15$ kadar büyük olmaktadır. Bu sonuçlara göre, mühendislik pratiğinde elastoplastik ($\alpha_s = \%0$) sistemler için hesap yapılması güvenli tarafta sonuçlar verecektir. Böylelikle C_R 'nin hesabında kullanılan parametre sayısı da azalmış olacaktır. Bu nedenle, bu çalışmada C_R için bağıntı elde edilirken sadece elastoplastik ($\alpha_s = \%0$) sistemler dikkate alınmıştır.



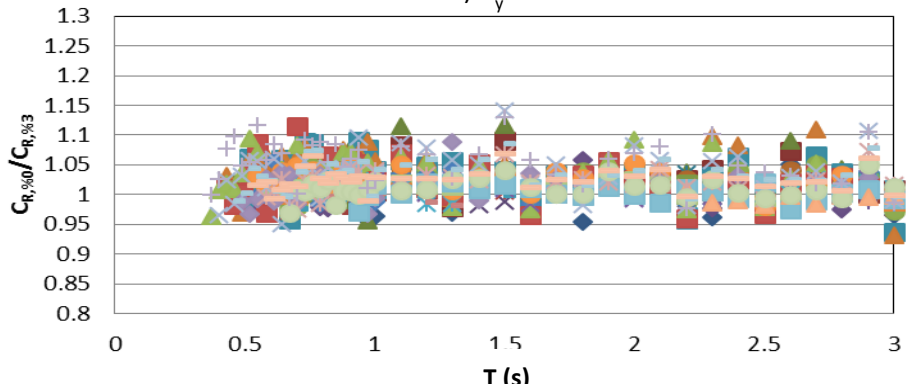
Şekil 5.11 Azalmalı Pike-Yönelik modelde $\alpha_s = \%0$ ve $\alpha_s = \%3$ C_R oranları



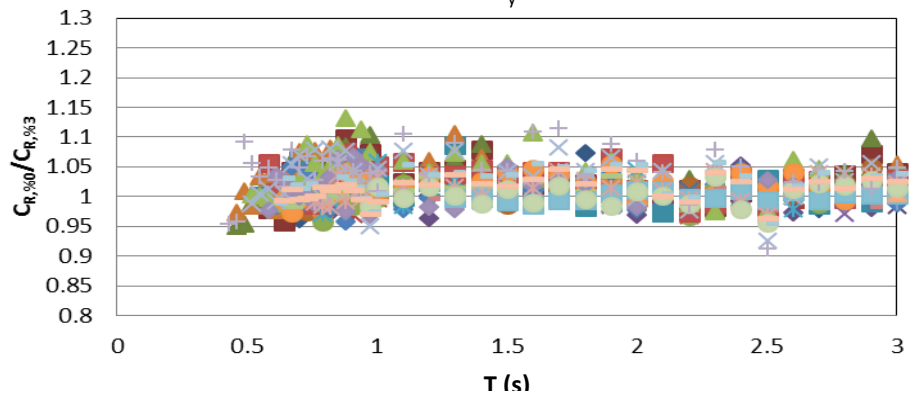
c) $R_y = 3$



d) $R_y = 4$

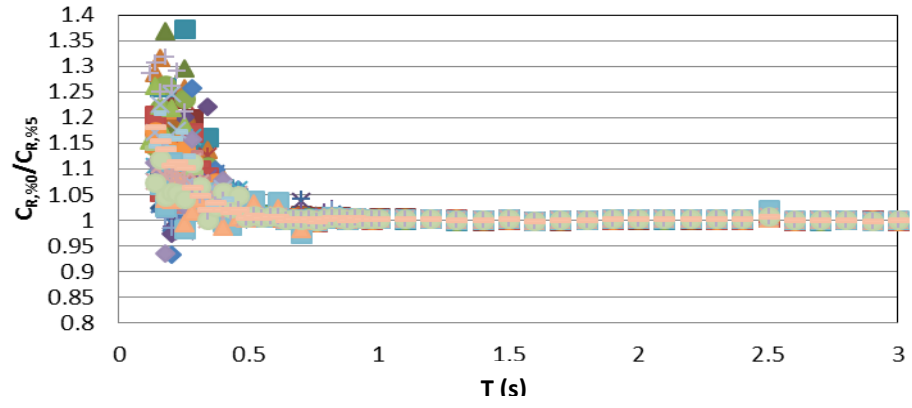


e) $R_y = 5$

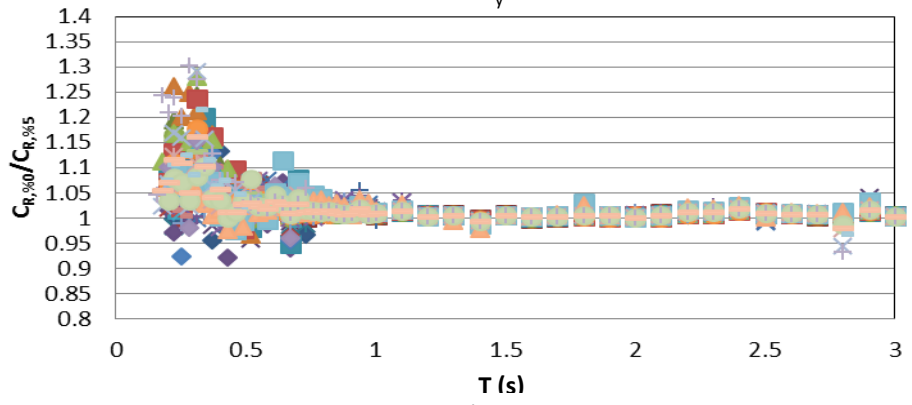


f) $R_y = 6$

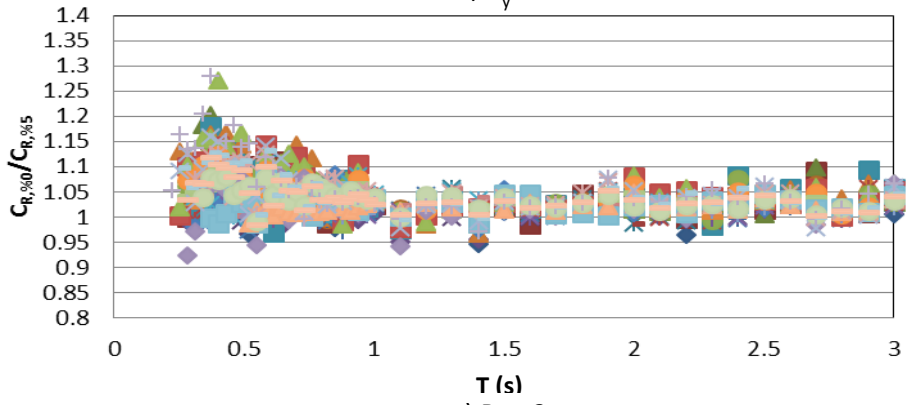
Şekil 5.11 Azalmalı Pike-Yönelik modelde $\alpha_s = \%0$ ve $\alpha_s = \%3$ C_R oranları (devam...)



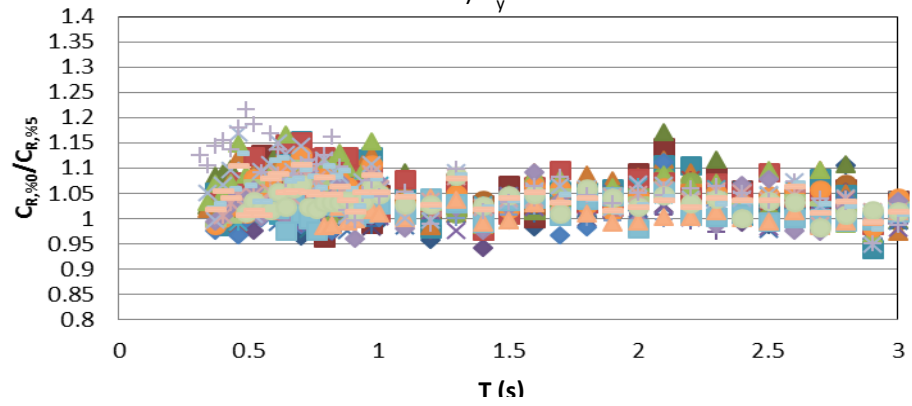
a) $R_y = 1.5$



b) $R_y = 2$

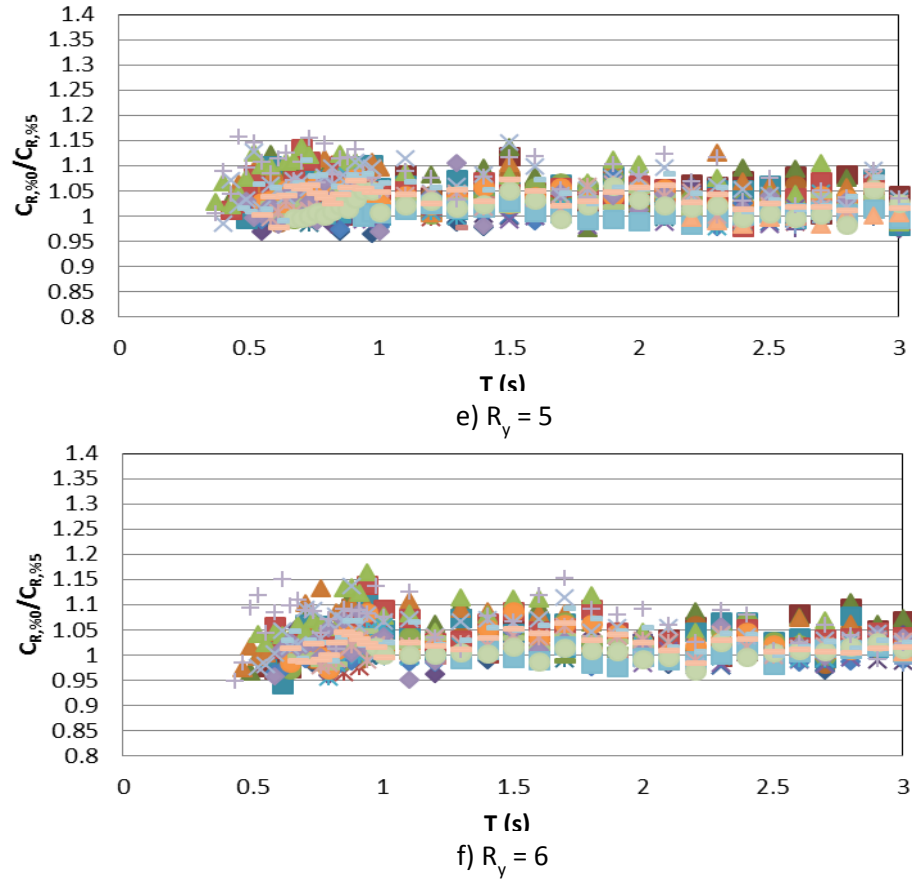


c) $R_y = 3$



d) $R_y = 4$

Şekil 5.12 Azalmalı Pike-Yönelik modelde $\alpha_s = \%0$ ve $\alpha_s = \%5$ C_R oranları

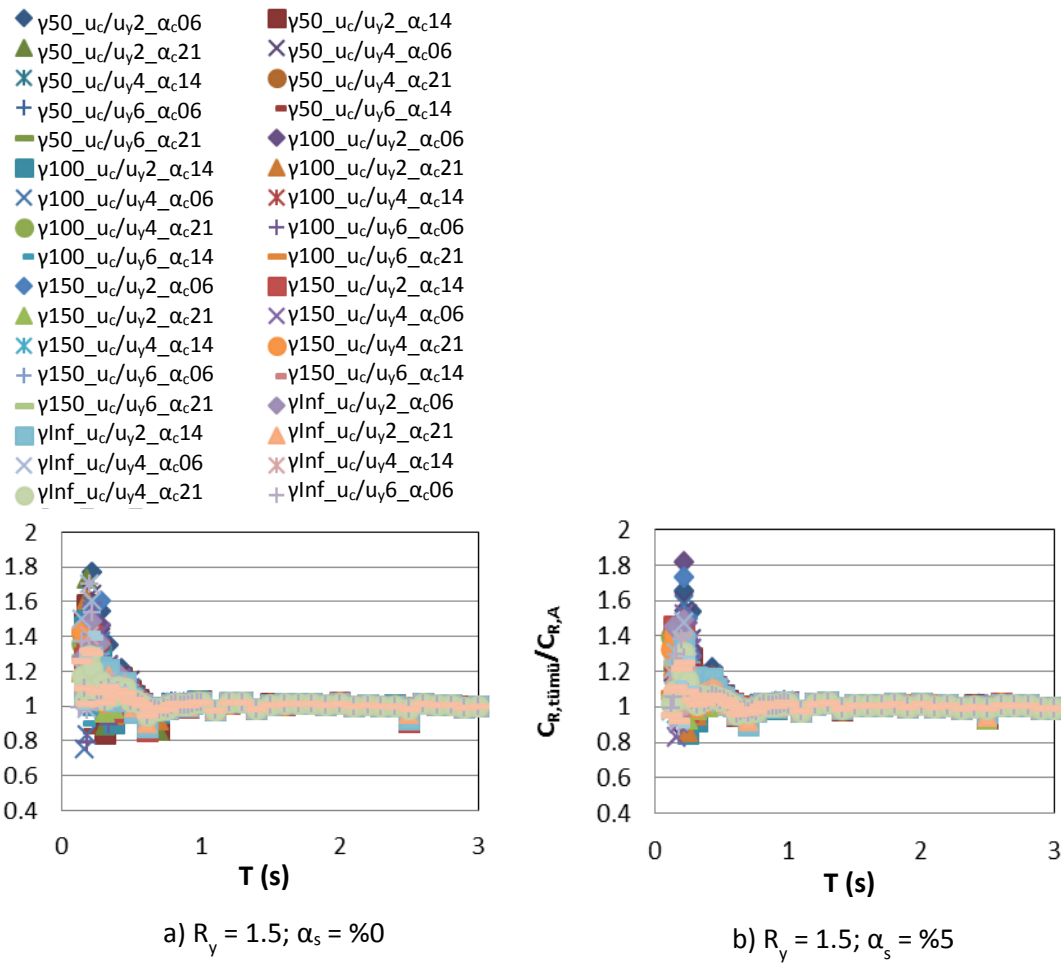


Şekil 5.12 Azalmalı Pike-Yönelik modelde $\alpha_s = \%0$ ve $\alpha_s = \%5$ C_R oranları (devam...)

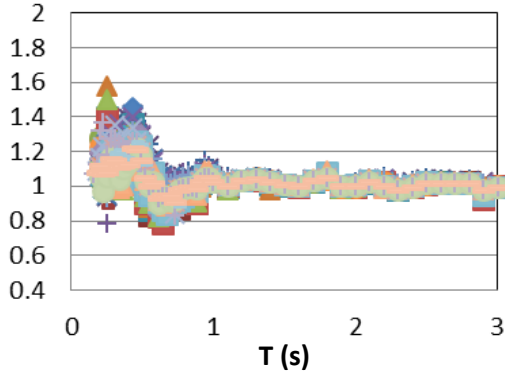
5.2.2.2 Zemin sınıfının C_R üzerine etkisi

Deprem yönetmeliklerinin çoğu [1], [2], [3] elastik tasarım spektrumlarını farklı zemin sınıflarına göre tanımlar. Elastik yerdeğiştirme istemi ise bu spektrumlar kullanılarak elde edilecektir. Bu yüzden, yerel zemin koşullarının elastik yerdeğiştirme isteminden hareketle elastik ötesi yerdeğiştirme istemini elde etmekte kullanılacak C_R sabitine etkilerini de incelemek gerekir. Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da sırasıyla tüm kayıtların ortalaması C_R 'nin A zemin sınıfı ortalaması C_R , B zemin sınıfı ortalaması C_R , C zemin sınıfı ortalaması C_R ve D zemin sınıfı ortalaması C_R 'ye oranları verilmiştir. Genel olarak tüm zemin sınıfları için elde edilen C_R sabitleri, A, B ve C zemin sınıfları için bulunan C_R sabitlerinden daha büyüktür. Özellikle küçük R_y 'lerde ve kısa periyot bölgesinde bu fark artmaktadır. D zemin sınıfı için ise tam tersi durum söz konusudur. Tüm zemin sınıfları için elde edilen C_R sabitleri, D zemin sınıfı için bulunan C_R sabitlerinden daha küçüktür.

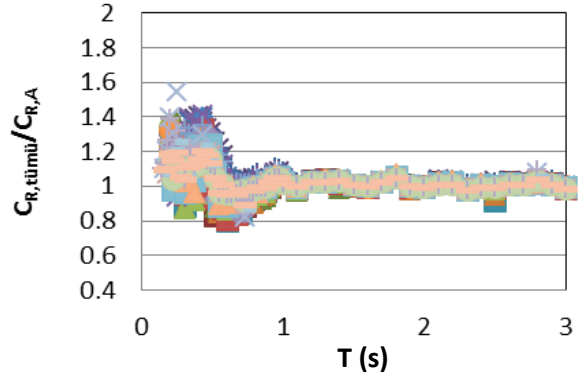
Şekil 5.13 – 5.16’den görüleceği üzere azalmalı peak-oriented model dikkate alındığında zemin sınıfının gözlenebilir bir etkisi var ve genel olarak bu etkinin eğilimi hakkında fikir sahibi olunabilir. Fakat şekillerden de görüldüğü gibi azalma kombinasyonlarına göre zemin sınıfları için elde edilen C_R sabitleri, tüm zemin sınıfları için elde edilenlerden güvenli veya güvensiz tarafta kalmaktadır. Azalma durumlarına göre kesin bir davranış söylemek zor ve mümkün değildir. Sonuç olarak C_R elde edilirken zemin sınıflarını dikkate almak gerekmektedir. Fakat mümkün olmadığı durumlarda, tüm zemin sınıfları için elde edilen C_R sabitleri güvenli tarafta olacaktır veya güvensiz tarafta olsa dahi bu fark çok fazla olmayacaktır.



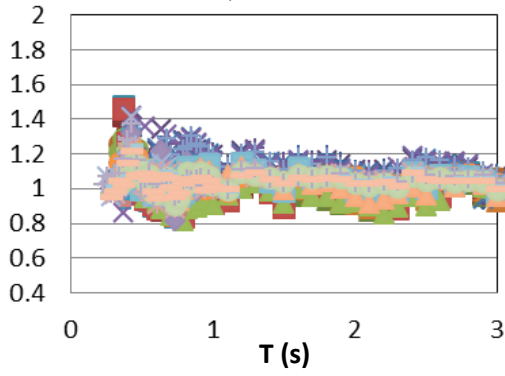
Şekil 5.13 Azalmalı modelde tüm kayıtların C_R sabitlerinin A zemin sınıfı C_R sabitlerine oranı



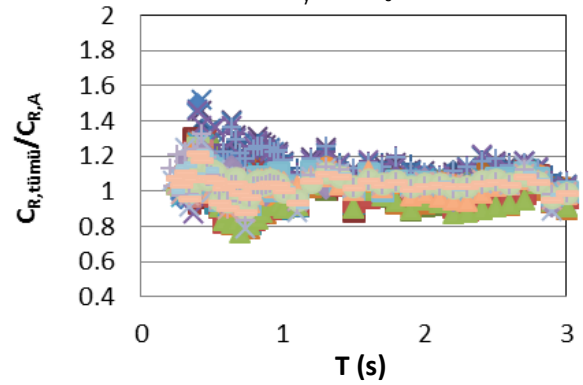
c) $R_y = 2; \alpha_s = \%0$



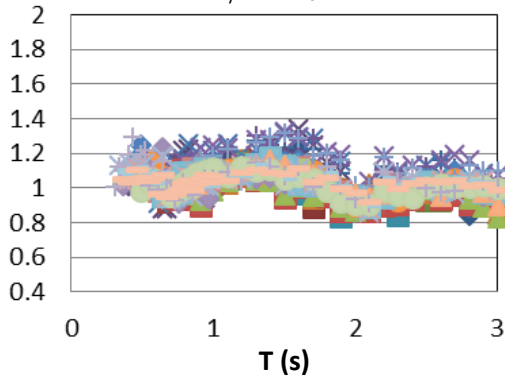
d) $R_y = 2; \alpha_s = \%5$



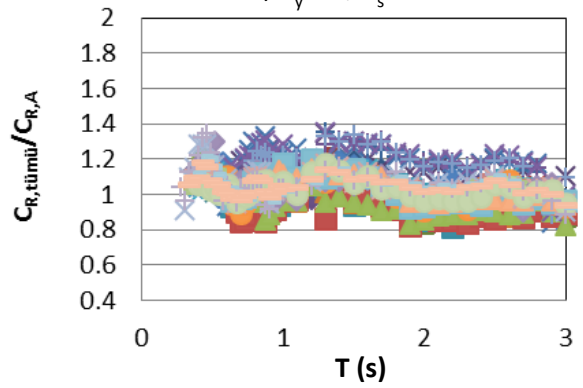
e) $R_y = 3; \alpha_s = \%0$



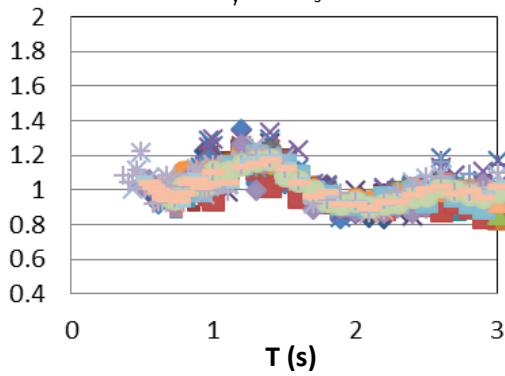
f) $R_y = 3; \alpha_s = \%5$



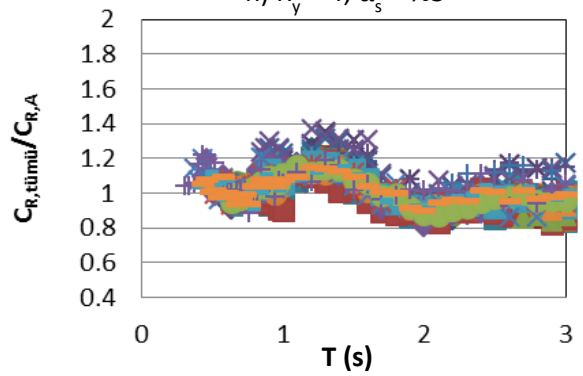
g) $R_y = 4; \alpha_s = \%0$



h) $R_y = 4; \alpha_s = \%5$

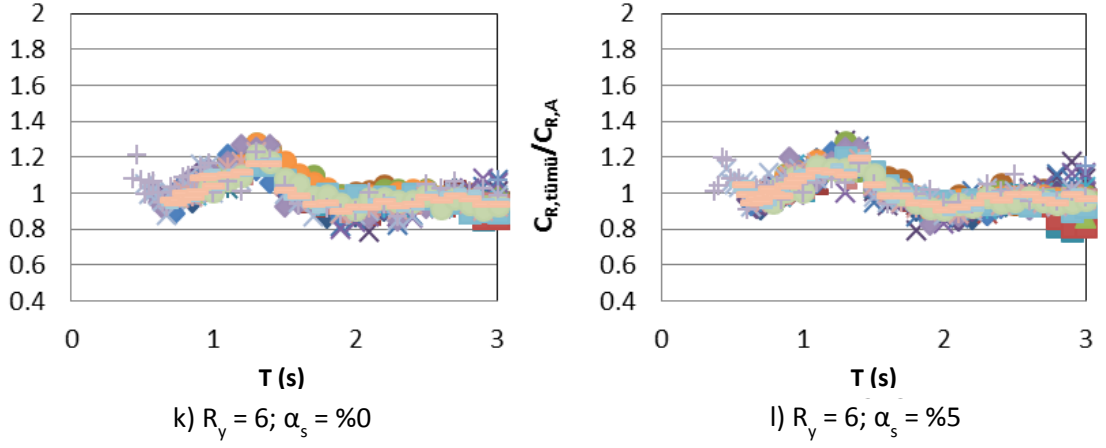


i) $R_y = 5; \alpha_s = \%0$

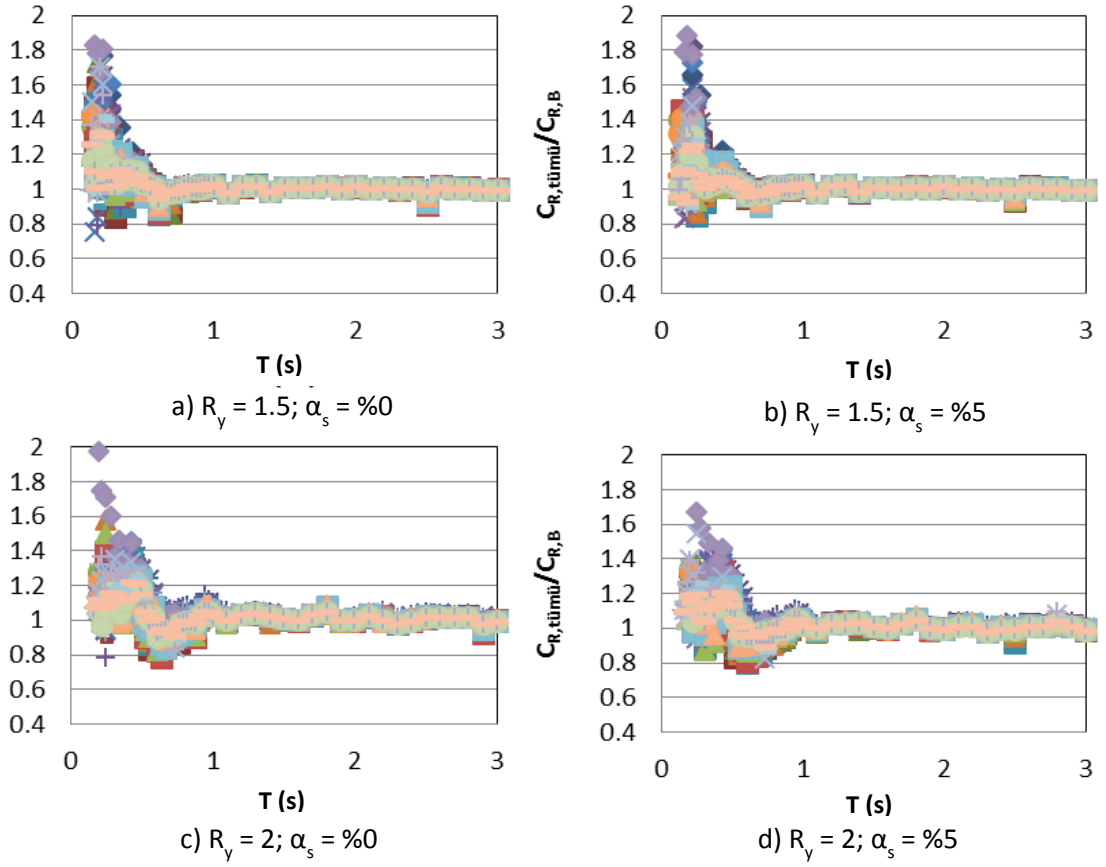


j) $R_y = 5; \alpha_s = \%5$

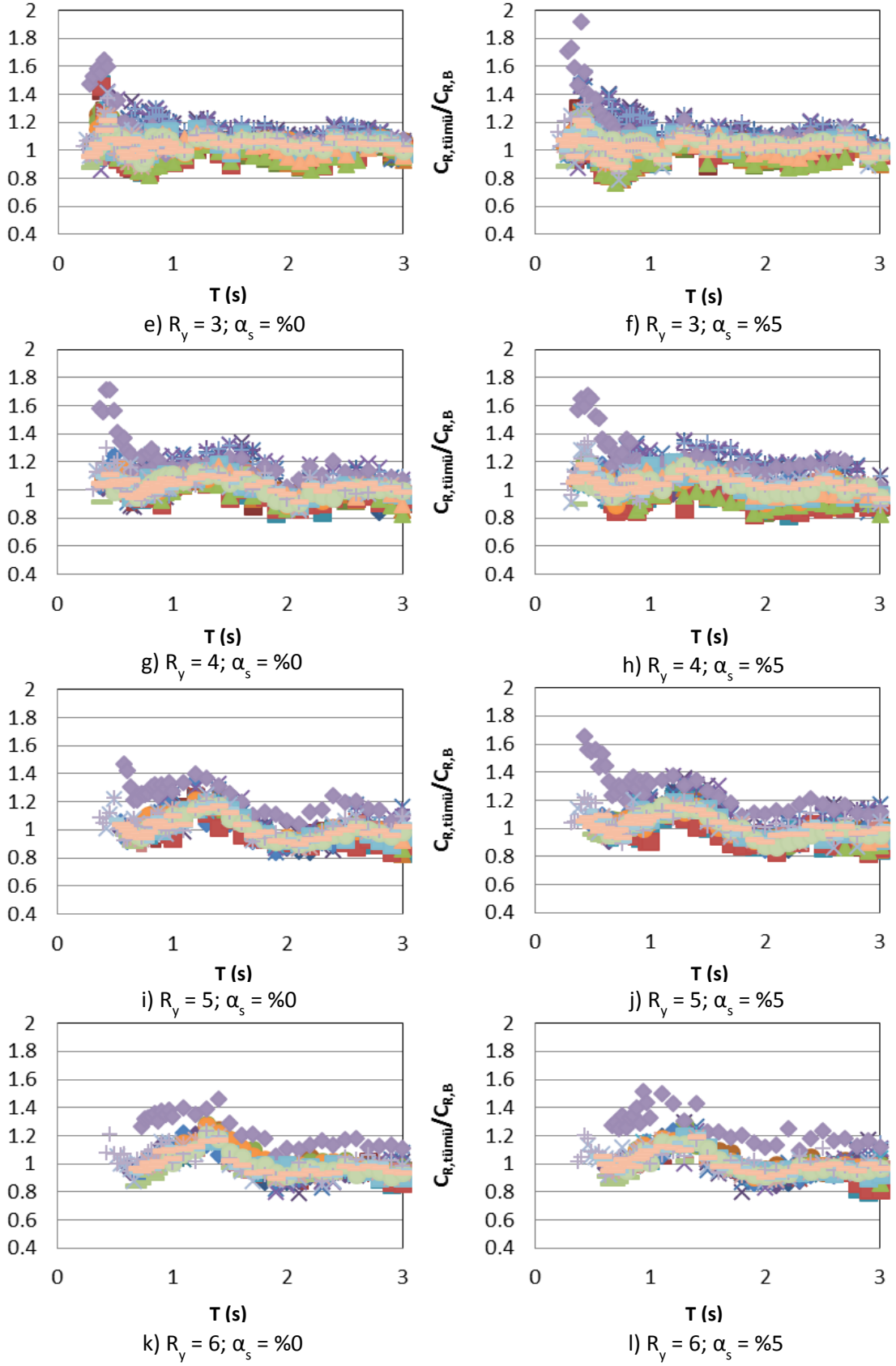
Şekil 5.13 Azalmalı modelde tüm kayıtların C_R sabitlerinin A zemin sınıfı C_R sabitlerine oranı (devam...)



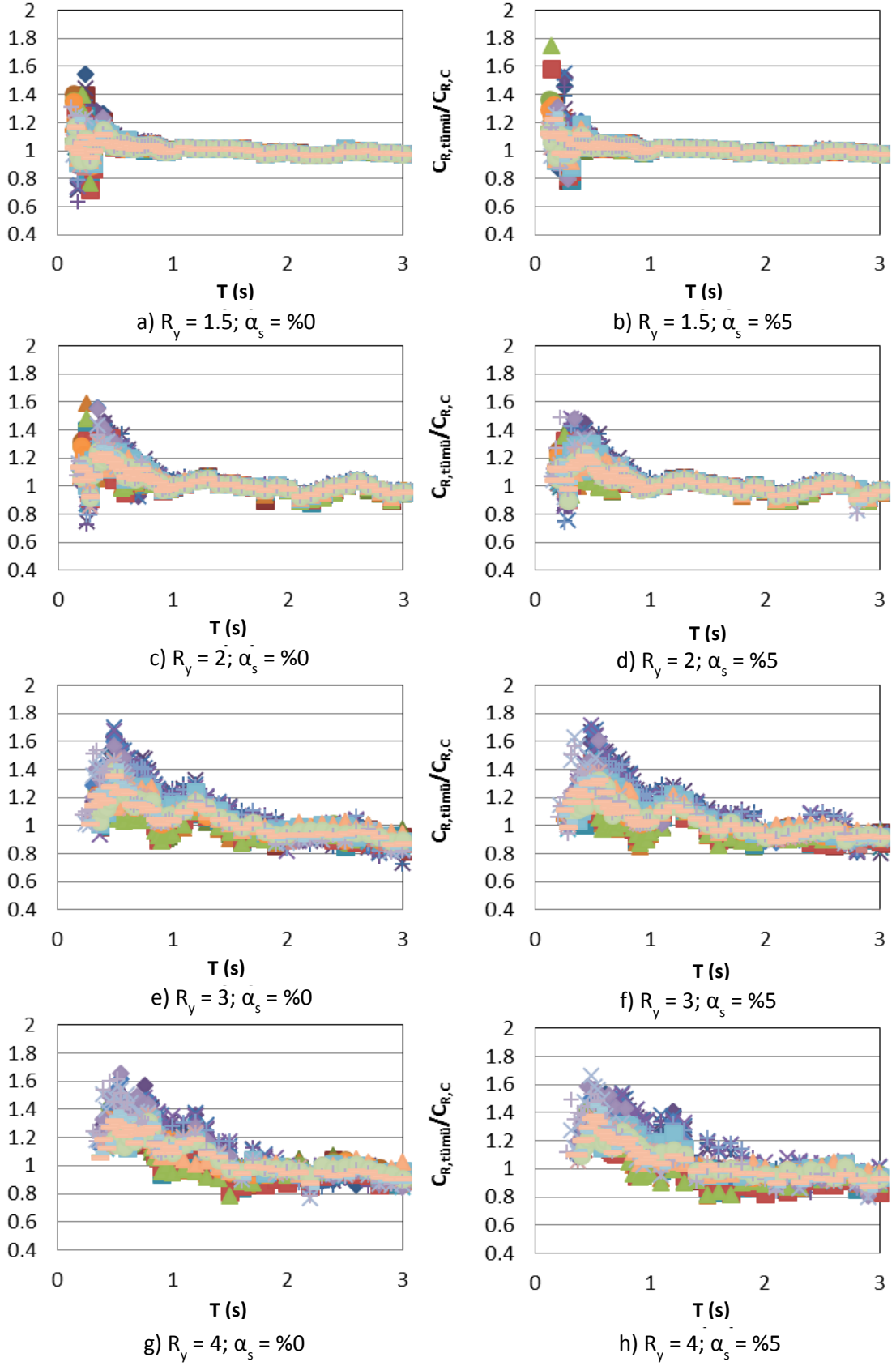
Şekil 5.13 Azalmalı modelde tüm kayıtların C_R sabitlerinin A zemin sınıfı C_R sabitlerine oranı (devam...)



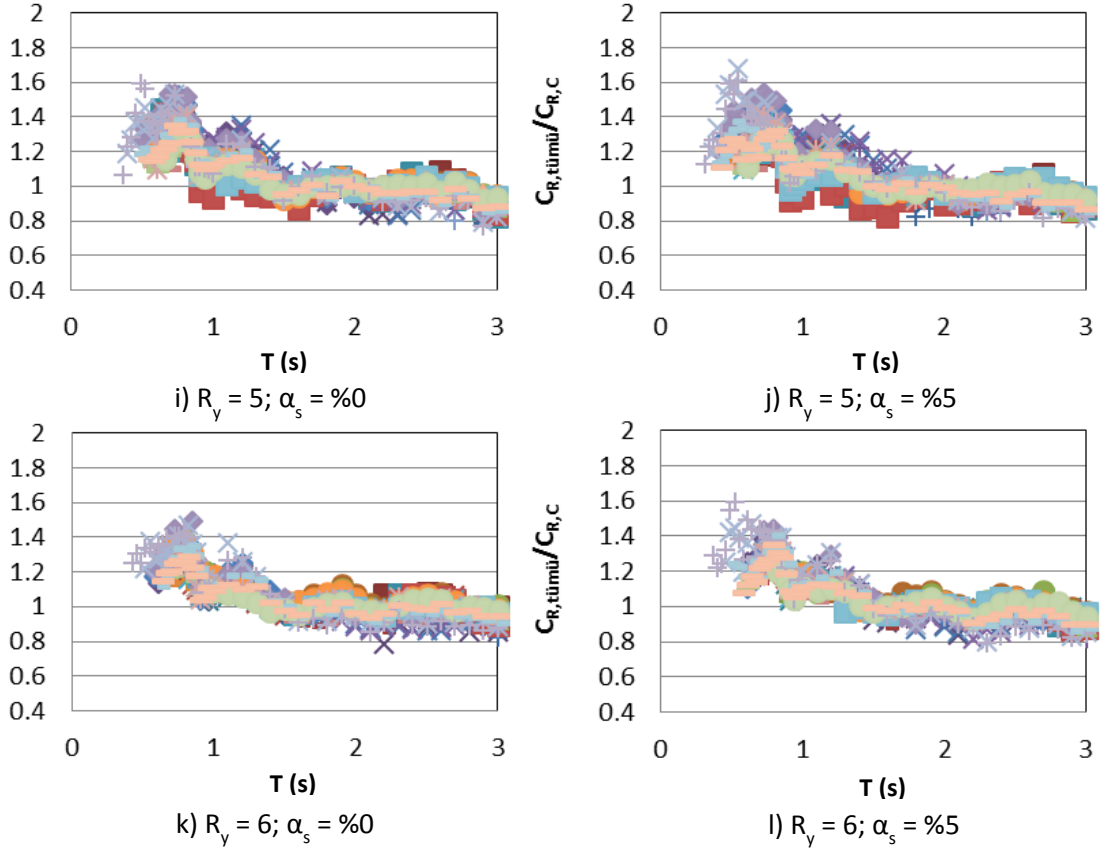
Şekil 5.14 Azalmalı modelde tüm kayıtların C_R sabitlerinin B zemin sınıfı C_R sabitlerine oranı



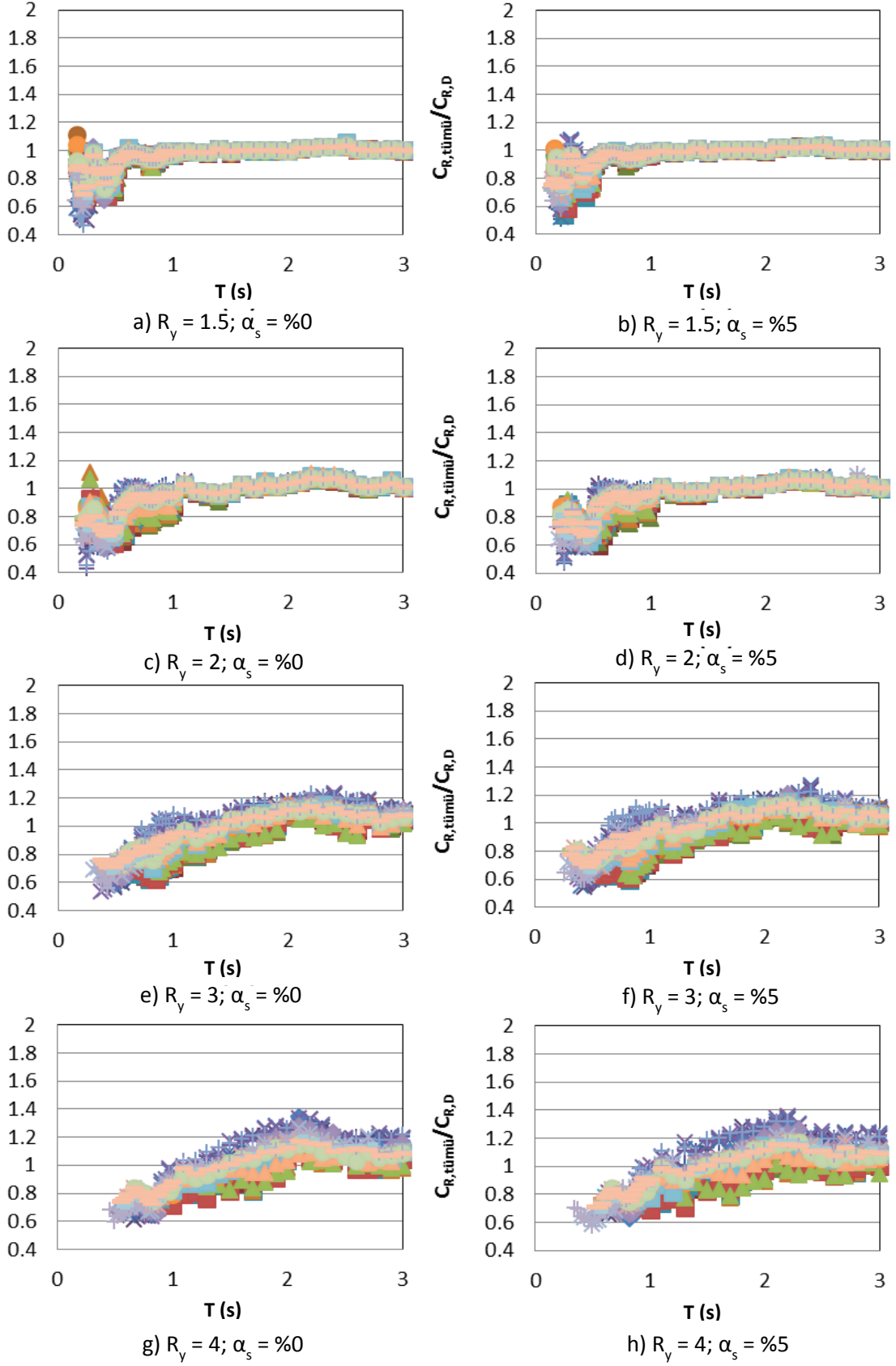
Şekil 5.14 Azalmalı modelde tüm kayıtların C_R sabitlerinin B zemin sınıfı C_R sabitlerine oranı (devam...)



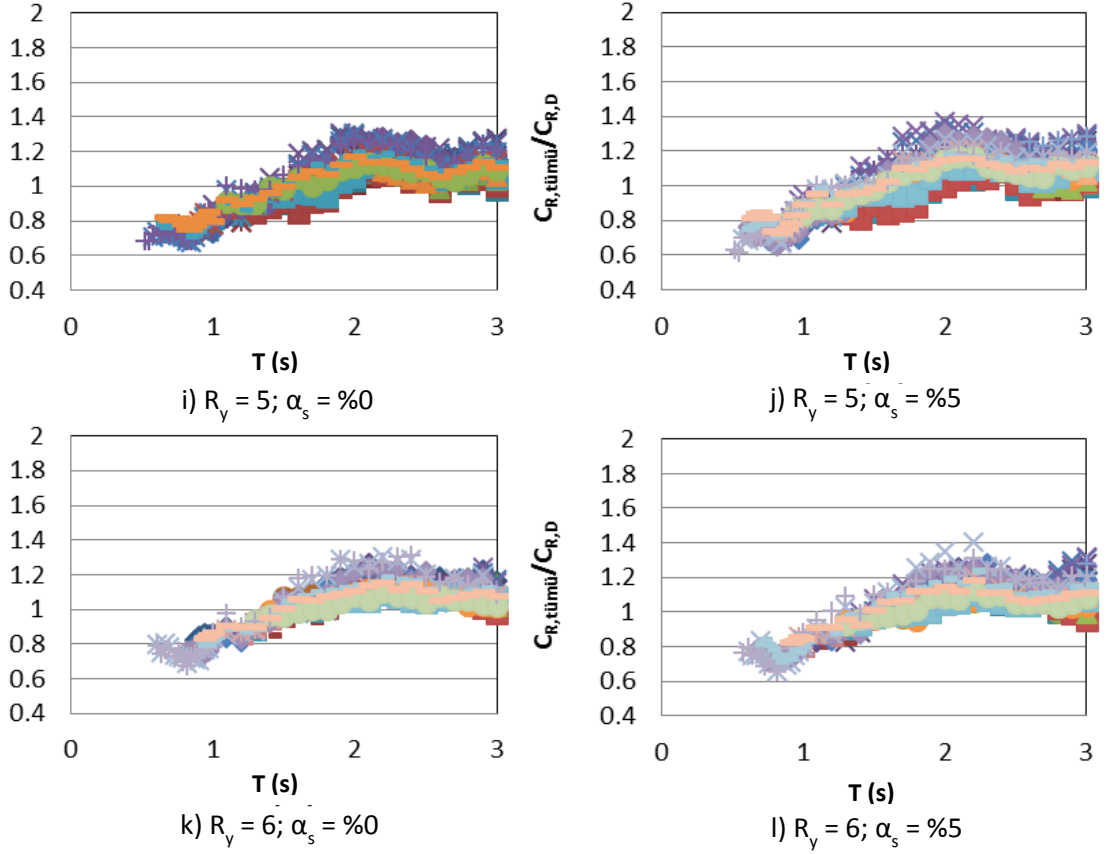
Şekil 5.15 Azalmalı modelde tüm kayıtların C_R sabitlerinin C zemin sınıfı C_R sabitlerine oranı



Şekil 5.15 Azalmalı modelde tüm kayıtların C_R sabitlerinin C zemin sınıfı C_R sabitlerine oranı (devam...)



Şekil 5.16 Azalmalı modelde tüm kayıtların C_R sabitlerinin D zemin sınıfı C_R sabitlerine oranı



Şekil 5.16 Azalmalı modelde tüm kayıtların C_R sabitlerinin D zemin sınıfı C_R sabitlerine oranı (devam...)

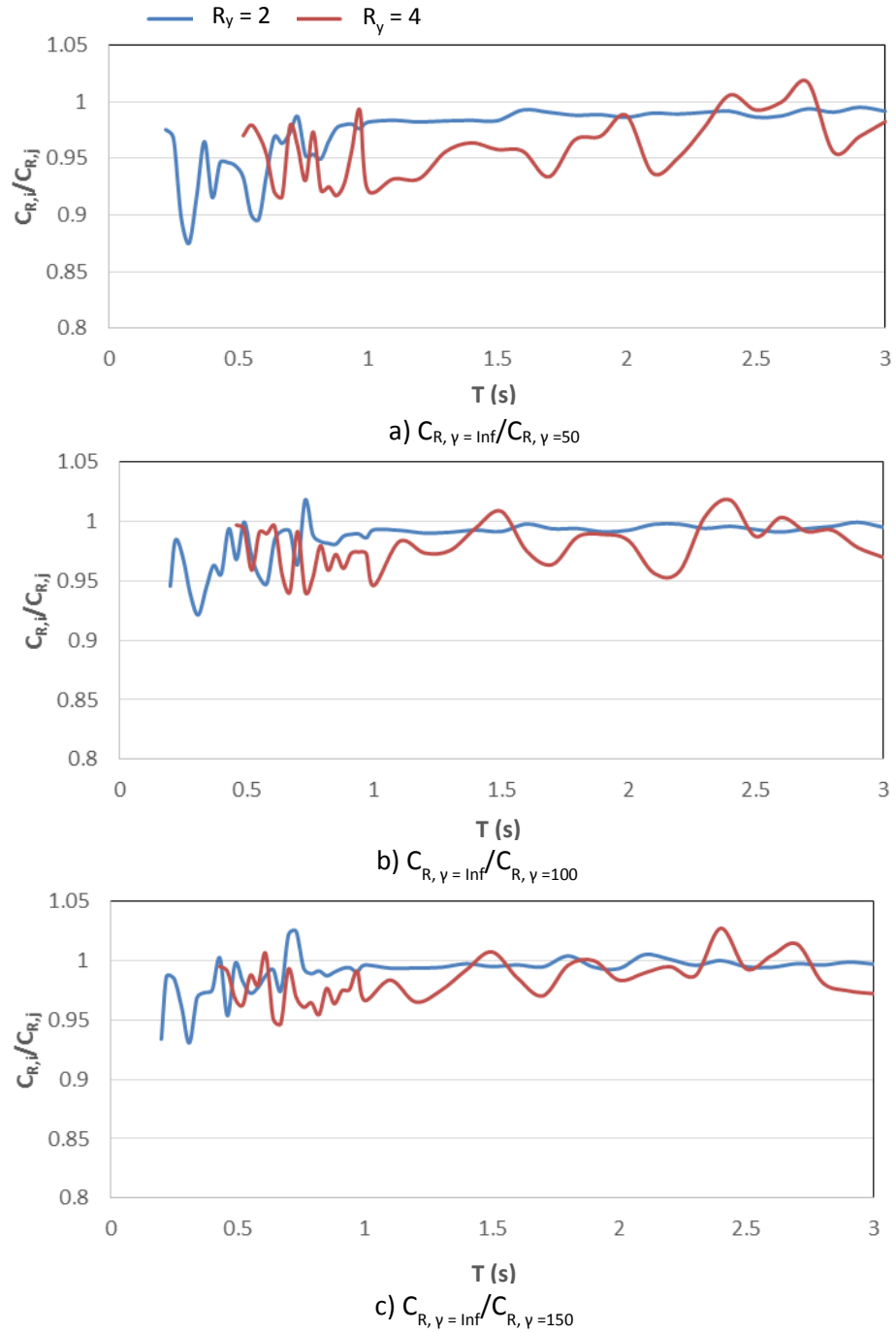
5.2.2.3 Azalma Parametrelerinin C_R Üzerine Etkisi

γ azalma hızı, u_c/u_y süneklik ve α_c tepe-sonrası eğimi oranı azalma parametreleridir. Şekil 5.9'dan görüldüğü üzere farklı azalma durumları için C_R değerleri değişmektedir.

γ Azalma Hızının C_R Üzerine Etkisi

γ azalmanın hızını etkileyen bir parametredir. γ için önerilen değerler deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiştir ve bu çalışmada yavaş azalma için $\gamma = 50$, orta azalma hızı için $\gamma = 100$ ve hızlı azalma için ise $\gamma = 150$ değerleri kullanılmıştır [49]. Şekil 5.17'de $R_y = 2$ ve $R_y = 4$ için $u_c/u_y = 4$ ve $\alpha_c = -0.14$ durumlarında $\gamma = \text{Inf}$ (sonsuz, yani dayanım azalması durum) ile $\gamma = 50, 100, 150$ oranları verilmiştir ve γ 'nın C_R üzerine etkisi incelenmiştir. Örneğin Şekil 5.17a $R_y = 2$ ve 4 için $\gamma = \text{Inf}$, $u_c/u_y = 4$ ve $\alpha_c = -0.14$ için elde edilen C_R sabitlerinin $\gamma = 50$, $u_c/u_y = 4$ ve $\alpha_c = -0.14$ için elde edilen C_R sabitlerine oranı görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi γ sabitinin C_R üzerinde fazla önemsenecek bir

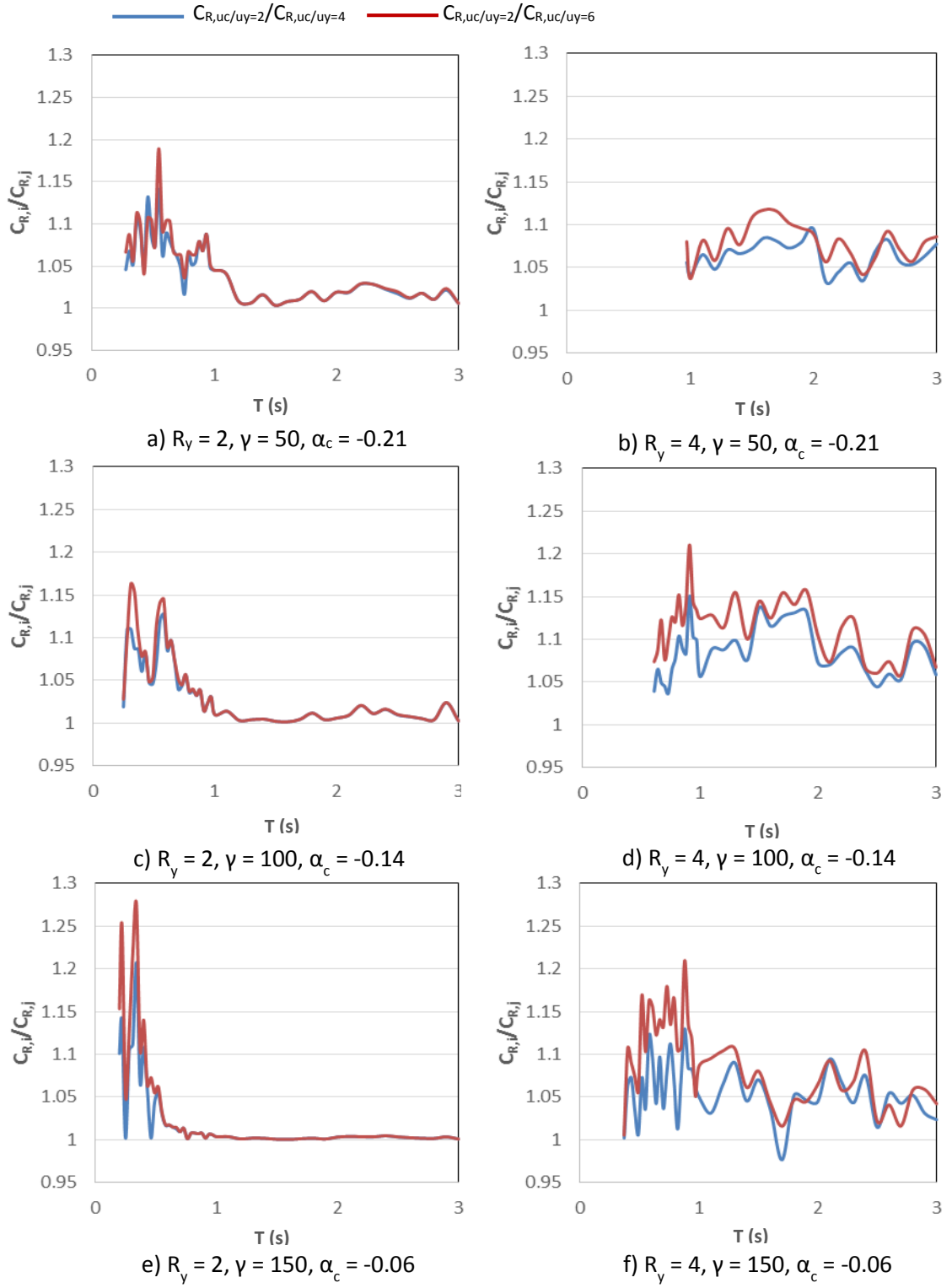
etkisi yotkur. Tüm u_c/u_y ve α_c kombinasyonları için $\gamma = \text{Inf} / \gamma = 50$, $\gamma = \text{Inf} / \gamma = 100$ ve $\gamma = \text{Inf} / \gamma = 150$ durumları incelendiğinde γ küçüldükçe C_R artmakta ve bu artış en fazla %15 civarlarında olmaktadır. Fakat verilen şekilde görüldüğü gibi azalma dikkate alındığında daha büyük C_R bulunmaktadır. Ek-D’de tüm azalma kombinasyonları ve R_y ’ler için C_R sabitlerinin oranları verilmiştir.



Şekil 5.17 $u_c/u_y = 4$ ve $\alpha_c = -0.14$ için dayanım azalmasız ($\gamma = \text{sonsuz}$) sistemler ve farklı azalma hızları için elde edilen C_R sabitlerinin oranı

u_c/u_y Süneklik Kapasitesinin C_R Üzrine Etkisi

u_c/u_y oranının C_R üzerine etkisi Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18 u_c/u_y oranının C_R sabiti üzerine etkisi

u_c/u_y negatif rijitliğin başlayacağı en büyük dayanım yerdeğiştirmesi ile akma yerdeğiştirmesi arasındaki orandır ve süneklik kapasitesi olarak tanımlanmıştır. $u_c/u_y=2$ düşük süneklikli sistemleri, $u_c/u_y=4$ sünek sistemleri, $u_c/u_y=6$ ise yüksek süneklikli sistemleri göstermektedir.

Şekil 5.18’de mavi çizgi $u_c/u_y = 2$ ve $u_c/u_y = 4$ için elde edilmiş C_R sabitleri oranını, kırmızı çizgi ise $u_c/u_y = 2$ ve $u_c/u_y = 6$ için elde edilmiş C_R sabitleri oranını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi u_c/u_y küçüldükçe C_R artmaktadır, yani elastik ötesi yerdeğiştirme istemi artmaktadır. Şekil 5.18’de $\gamma = 50$ ve $\alpha_c = -0.21$; $\gamma = 100$ ve $\alpha_c = -0.14$; $\gamma = 150$ ve $\alpha_c = -0.06$ durumları için C_R sabitlerinin oranı verilmiştir.

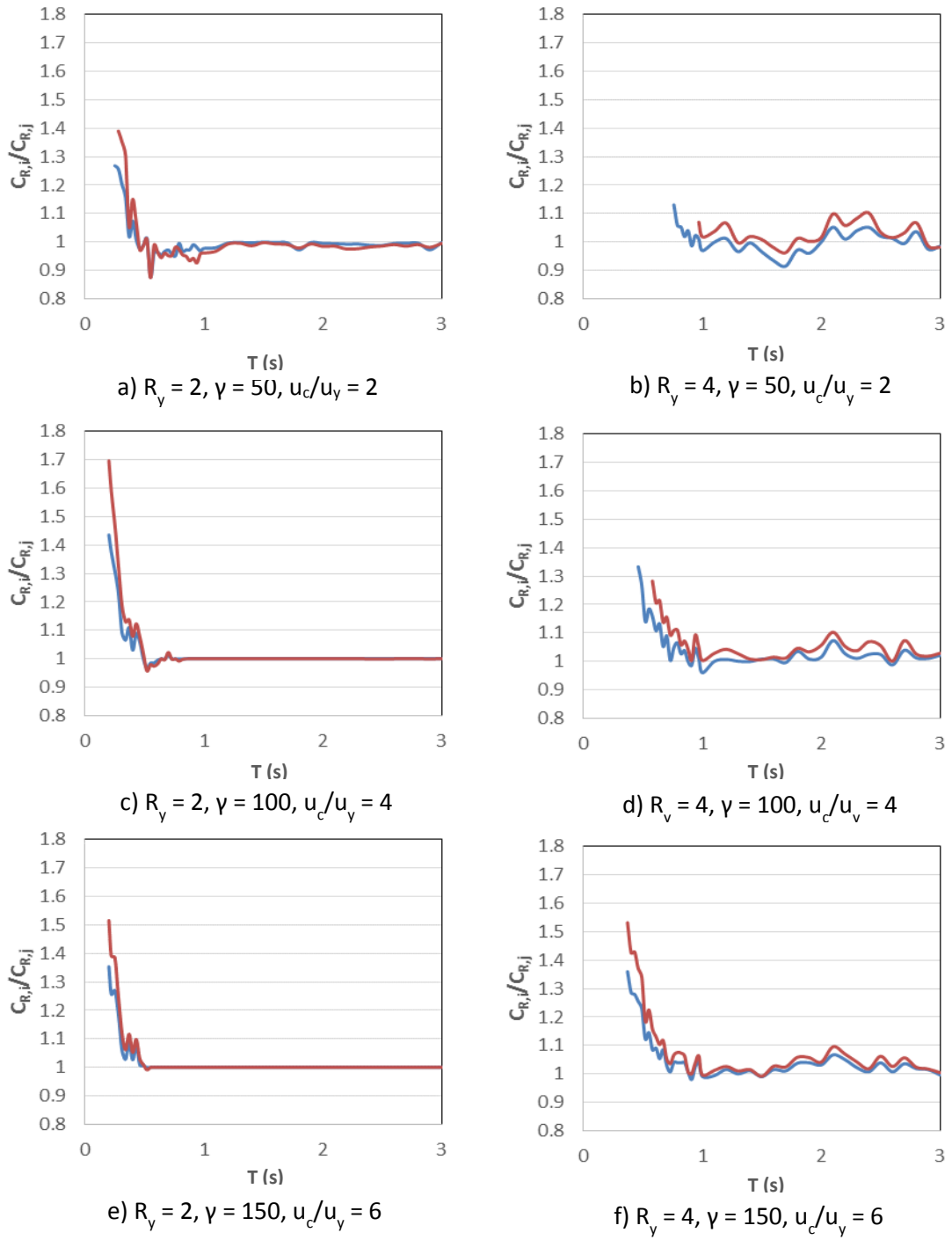
α_c Tepe-Sonrası Eğimi Oranının C_R Üzerine Etkisi

α_c tepe-sonrası eğimi oranıdır ve negatif eğimlidir. $\alpha_c = -0.06$ küçük tepe-sonrası eğimini, $\alpha_c = -0.14$ orta büyüklükte tepe-sonrası eğimini ve $\alpha_c = -0.21$ ise büyük tepe-sonrası eğimini göstermektedir. α_c oranının C_R sabitleri üzerine etkisi Şekil 5.19’da verilmiştir. Şekilde mavi çizgi $\alpha_c = -0.06$ ve $\alpha_c = -0.14$ için elde edilen C_R sabitlerinin oranını, kırmızı çizgi ise $\alpha_c = -0.06$ ve $\alpha_c = -0.21$ için elde edilen C_R sabitlerinin oranını göstermektedir. Şekil 5.19’dan görüldüğü gibi α_c değeri arttıkça veya tepe-sonrası eğimi dikleştikçe C_R sabiti azalmaktadır yani elastik ötesi yerdeğiştirme istemi azalmaktadır. Şekilde C_R sabitlerinin oranlarına bakıldığında α_c ’nin diğer azalma parametrelerine (γ ve u_c/u_y) göre C_R üzerinde en fazla etkiye sahip olduğı görülmektedir.

Azalma Kombinasyonlarının C_R Üzerine Etkisi

Azalma parametrelerinin C_R üzerine etkisi incelenirken en fazla etkili parametrenin α_c olduğı anlatılmıştı. u_c/u_y oranının da önemsenebilecek bir etkiye sahip olduğı söylenebilirken, γ ’nın etkisinin daha küçük olduğı görülmektedir. Fakat azalma bu üç parametrenin bir fonksiyonudur ve teker teker etkileri incelense bile üç parametrenin kombinasyonunun C_R üzerine etkileri daha gerçekçidir. Şekil 5.9’da tüm azalma kombinasyonları için C_R grafikleri verilmiştir ve şekilden de görüldüğü gibi azalma durumları için C_R değişmektedir. Her kombinasyon durumu için ayrı ayrı incelemek pratik olmayacaksa da C_R elde edilirken azalma etkisinin gözönüne alınması gerektiğı anlaşılmaktadır. Belirtmek gerekir ki, azalma durumları kısa periyot bölgelerinde C_R

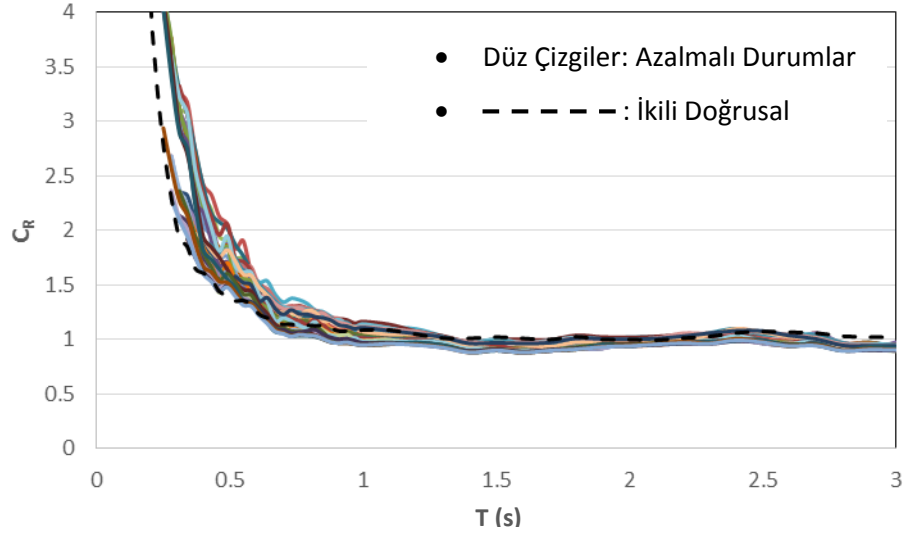
üzerinde etkili olacaktır, eşit yerdeğiştirme kuralı gereği uzun periyotlarda bir etki söz konusu olmayacaktır.



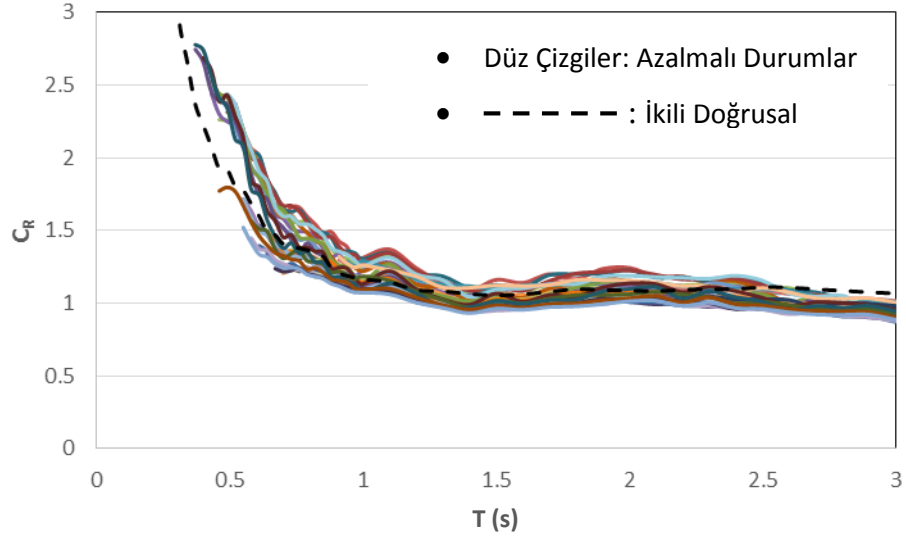
Şekil 5.19 α_c oranının C_R sabiti üzerine etkisi

5.2.2.4 Azalmalı Peak-Oriented ve İkili Doğrusal Modellerin C_R Sabitlerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de azalmalı peak-oriented model dikkate alınmasının ikili doğrusal modelden farkı gösterilmiştir. Şekil 5.17’de tüm azalma kombinasyonları için ve ikili doğrusal model için C_R sabitleri verilmiştir. Verilen C_R sabitleri $\alpha_s = \%0$ ve tüm deprem kayıtları için elde edilmiştir. Düz çizgiler azalma kombinasyonlarını, kesikli çizgi ise ikili doğrusal modeli göstermektedir. Şekil 5.20’de azalma kombinasyonlarının isimleri verilmemiştir çünkü genel olarak azalmalı model kullanmanın ikili doğrusal modelden farkı araştırılmıştır. Bunun yanında 27 farklı azalma kombinasyonu için tek tek karşılaştırma yapmak pratik olmayacaktır. Şekil 5.21’de elastoplastik sistemlerde ve $\gamma=50$, $u_c/u_y = 2$, $\alpha_c = -0.14$ ve $\gamma=150$, $u_c/u_y = 6$, $\alpha_c = -0.06$ azalma durumlarında $R_y = 2$ ve 4 için C_R grafikleri verilmiştir. Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’den görüldüğü gibi eşit yerdeğiştirme kuralı gereği uzun periyotlarda herhangi bir fark oluşmamaktadır. Kısa periyotlarda ise azalmalı peak-oriented model ve ikili doğrusal model ile elde edilen C_R sabitleri arasında fark vardır. Şekillerden açıkça görülmektedir ki azalmalı peak-oriented model çoğu zaman büyük değerler vermektedir. Dolayısıyla, süneklik ve azalma düzeyleri farklı sistemler için elastoplastik varsayımıyla aynı C_R elde etmek doğru ve güvenli bir yaklaşım olmayacaktır. Sonuç olarak, azalmalı peak-oriented model kullanarak C_R elde edilmesi gerçeğe daha yakın ve güvenli tarafta sonuçlar verecektir.

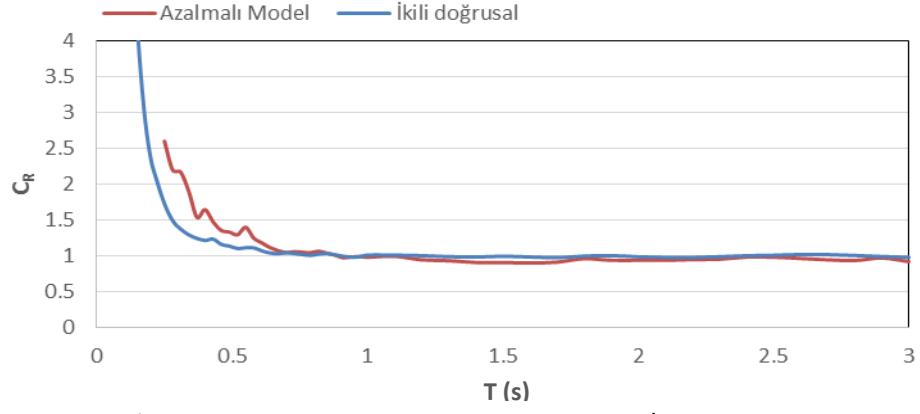


a) $R_y = 3; \alpha_s = \%0$

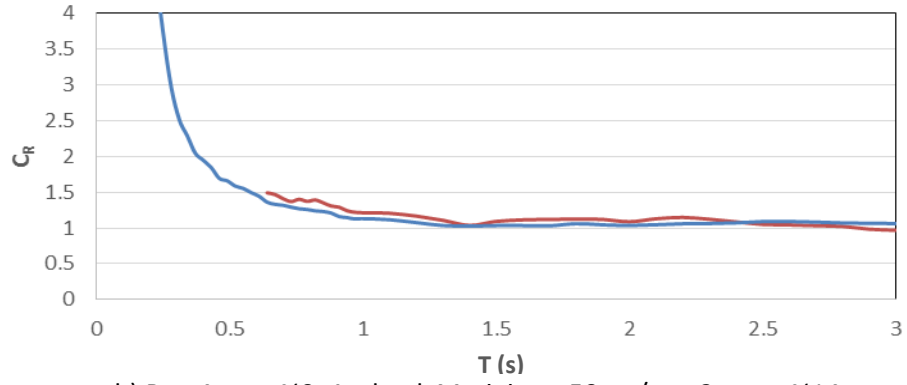


b) $R_y = 5; \alpha_s = \%0$

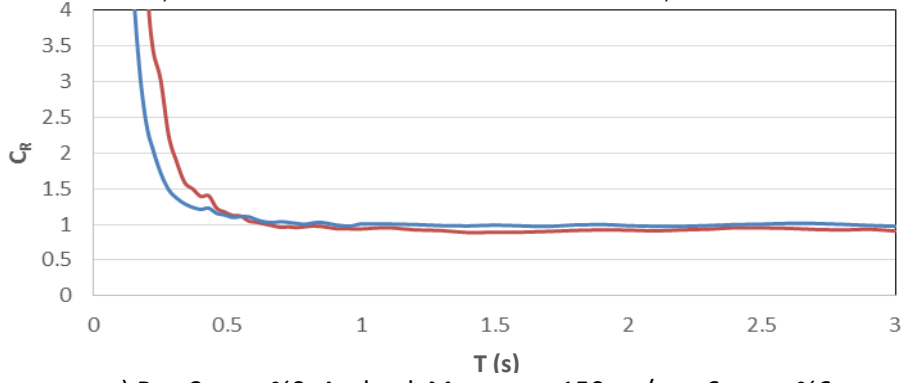
Şekil 5.20 Bütün azalma durumları ve ikili doğrusal modelde tüm kayıtlar için C_R ortalamaları



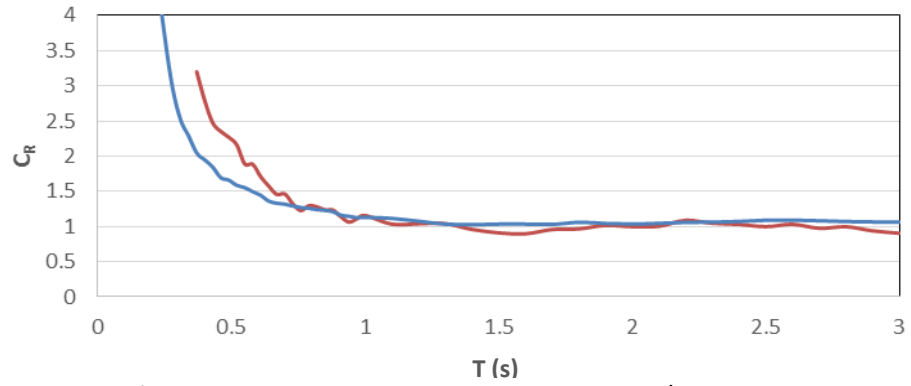
a) $R_y = 2$; $\alpha_s = \%0$; Azalmalı Model: $\gamma = 50$, $u_c/u_y = 2$; $\alpha_c = -\%14$



b) $R_y = 4$; $\alpha_s = \%0$; Azalmalı Model: $\gamma = 50$, $u_c/u_y = 2$; $\alpha_c = -\%14$



c) $R_y = 2$; $\alpha_s = \%0$; Azalmalı Model: $\gamma = 150$, $u_c/u_y = 6$; $\alpha_c = -\%6$



d) $R_y = 4$; $\alpha_s = \%0$; Azalmalı Model: $\gamma = 150$, $u_c/u_y = 6$; $\alpha_c = -\%6$

Şekil 5.21 Azalmalı Pike-Yönelik ve ikili doğrusal modelde tüm kayıtlar için C_R ortalamaları

5.2.2.5 Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi

Doğrusal olmayan regresyon analizi ile azalmalı Peak-Oriented TSD sistemler için R_y , T , γ , u_c/u_y ve α_c 'nin bir fonksiyonu olan elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti (C_R) denklemi elde edilmiştir. STATISTICA [121] programında bulunan regresyon modülündeki Levenberg-Marquard yöntemi ve en küçük kareler yöntemi kullanılarak doğrusal olmayan regresyon analizi ile bir bağıntı önerilmiştir. Elde edilen bağıntının katsayıları, her bir zemin sınıfı ve tüm zemin sınıflarının ortalaması için ayrı ayrı elde edilmiştir. Önceki bölümlerde ifade edildiği gibi, güvenli tarafta kalmak adına C_R bağıntısı akma sonrası eğimi $\alpha_s = \%0$ için elde edilmiştir. Yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmış yapı elemanları yüksek süneklik kapasitesi göstereceklerdir ve tepe dayanımı ve kalıcı dayanım şekil değiştirmeleri büyük olacaktır, bu yüzden bu tip sistemlerde tepe-sonrası eğimi küçük olacaktır [92]. Ayrıca bu tip sistemlerde deprem yükleri dolayısıyla oluşacak azalma yavaş olacaktır. Bu yüzden daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için bazı azalma kombinasyonları regresyon çözümlerinde dikkate alınmamıştır. Regresyon analizinde dikkate alınan azalma kombinasyonları Çizelge 4.1'de verilmişti. Sabit yatay dayanımlı ve azalmalı TSD sistemlerde elastik ötesi yerdeğiştirme sabitini elde edebilmek için bu çalışmada (5.16) bağıntısı önerilmiştir ve bu bağıntıdaki katsayıların değerleri ise Çizelge 5.1'de verilmiştir.

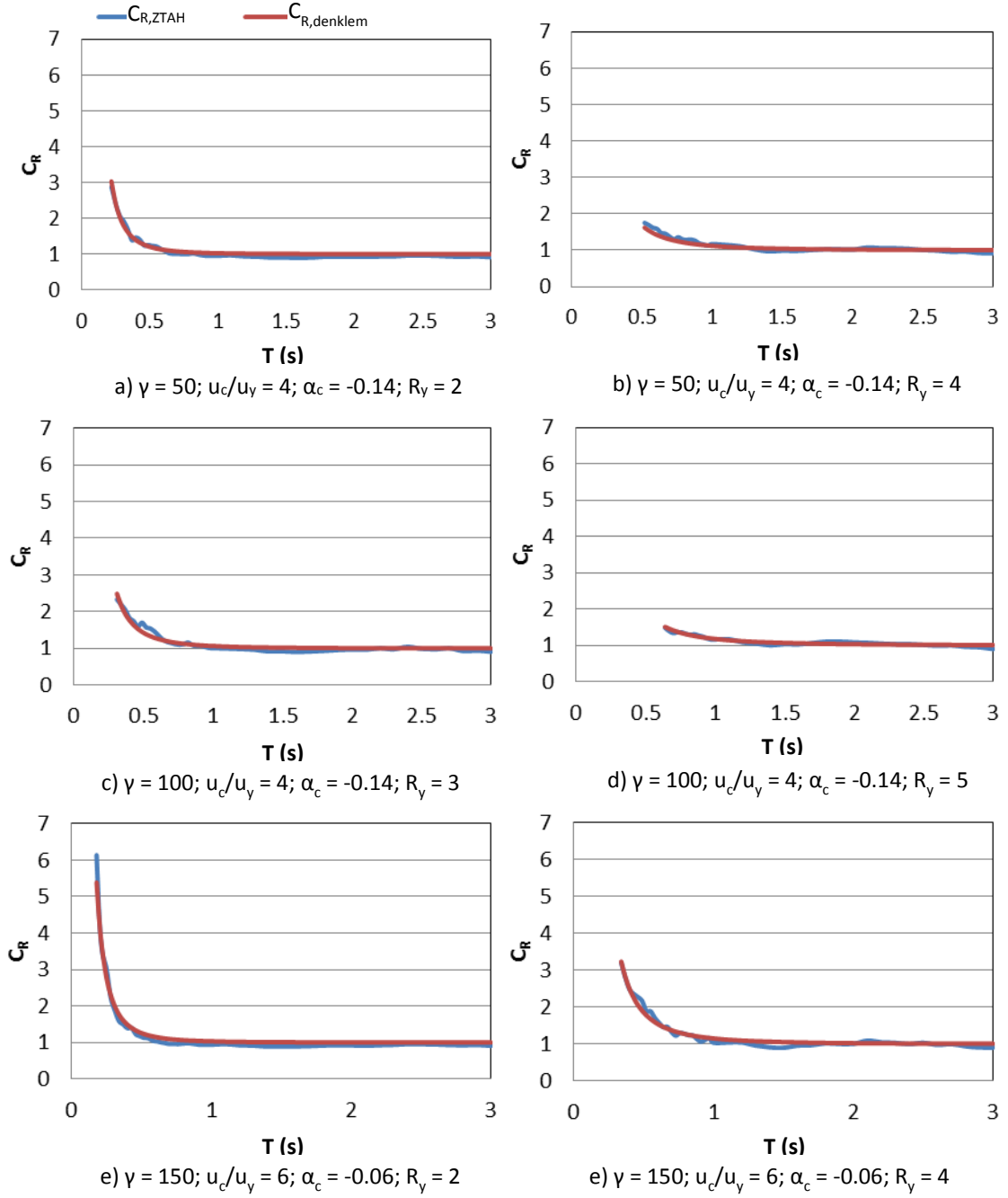
$$C_R = 1 + a \frac{(R_y - 1)^b}{T^c} \left(\frac{\left(\frac{u_c}{u_y}\right)^d}{(\alpha_c)^e} + \left(\frac{1}{\gamma f}\right) \right) \quad (5.16)$$

Çizelge 5.1 Bu çalışmada C_R için önerilen (5.16) bağıntısının katsayıları

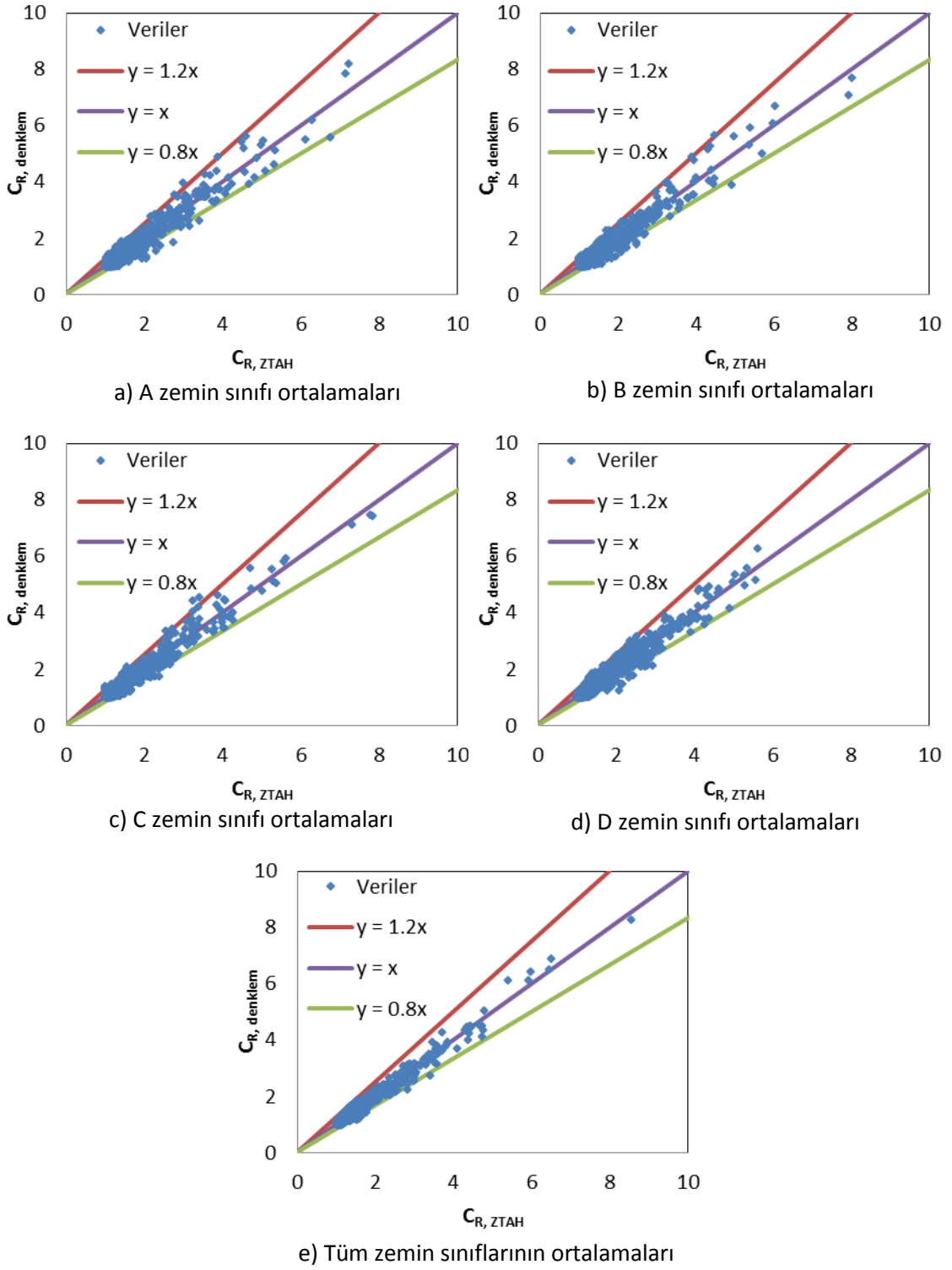
Zemin Sınıfı	a	b	c	d	e	f	Korelasyon Katsayısı
A	0.007755	$0.982428T+0.844474$	$0.401297T+3.062537$	-0.321444	0.436640	0.332443	0.94
B	0.006367	$1.289168T+0.542789$	$0.713437T+2.992757$	-0.369130	0.530505	0.250807	0.94
C	0.000255	$1.074927T+0.553242$	$7.924900T+3.538080$	-0.189699	0.475191	0.320008	0.95
D	0.030183	$0.537191T+0.724393$	$1.599899T+2.187227$	-0.170578	0.445403	0.278448	0.95
Tümü	0.011494	$0.735398T+0.721925$	$0.574906T+2.794391$	-0.276480	0.487073	0.273197	0.97

Şekil 5.22'de, bazı azalma kombinasyonları için, önerilen (5.16) bağıntısı ile elde edilen C_R sabitinin gerçek C_R sabiti ile karşılaştırması verilmiştir. Aynı zamanda Şekil 5.23'te de C_R için önerilen bağıntının saçılma grafikleri verilmiştir. Şekil 5.23'te yatay eksen zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap ile elde edilmiş C_R sabitlerini, dikey eksen ise önerilen denklem ile elde edilen C_R sabitlerini göstermektedir. Şekil 5.22 ve 5.23'ten görülmektedir ki, C_R için önerilen denklem, kabul edilebilir yaklaşıklıkta sonuçlar vermektedir.

Önerilen bağıntının, göçme periyodundan uzun periyotlu ($T > T_{col}$) sistemler için geçerli olduğu unutulmamalıdır. Göçme periyodundan kısa periyotlu sistemlerde ise bu denklem geçerli değildir. Çünkü göçme periyodundan kısa periyotlu sistemler dinamik instabilite dolayısıyla göçtüğünden, -en azından analitik olarak- bir yerdeğiştirme isteminden söz etmek mümkün değildir.



Şekil 5.22 Azalmalı modelde ZTAH ve önerilen bağıntı ile elde edilen C_R sabitleri (tüm kayıtların ortalaması için)



Şekil 5.23 C_R için önerilen bağıntının saçılma grafikleri

5.3 Önerilen Bağıntının Mevcut Yaklaşımlarla Karşılaştırılması

5.3.1 Literatürde Önerilen Bağıntılar

Veletsos ve Newmark'ın [96]'da yaptıkları çalışmayı temel alarak Newmark ve Hall'un [97]'de, Newmark - Hall olarak bilinen elastik tepki spektrumundan elastik ötesi tepki spektrumu elde edilen yöntemi geliştirmişlerdir. Newmark – Hall yöntemi ile elde edilen C_R grafiği Şekil 5.24'te verilmiştir.

$$C = \text{Tanımlanmamış}, \quad T < T_a = \frac{1}{33}sn \quad (5.17)$$

$$C = \frac{(1+R_y^{2/\beta})}{2R_y}, \quad T_a \leq T < T_b = 0.125sn \quad (5.18)$$

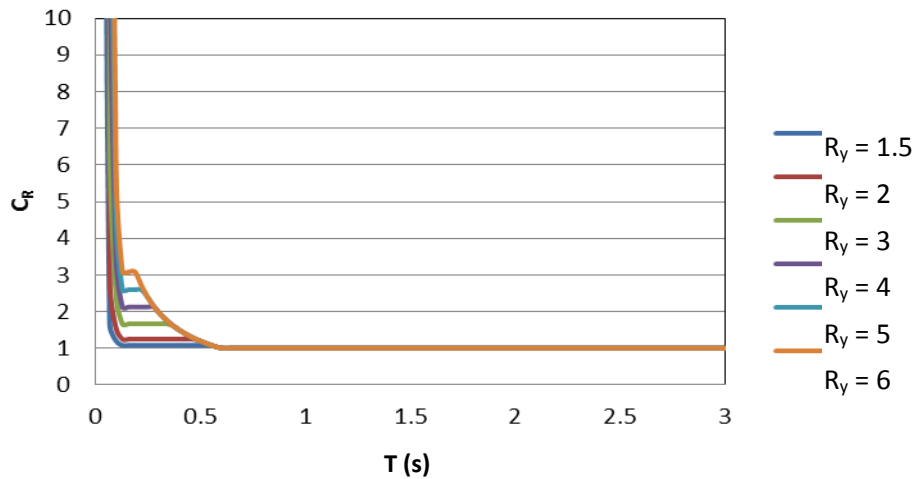
$$C = \frac{(1+R_y^2)}{2R_y}, \quad T_b \leq T < T_{c'} \quad (5.19)$$

$$C = \frac{T_c}{T}, \quad T_{c'} \leq T < T_c \quad (5.20)$$

$$C = 1, \quad T \geq T_c \quad (5.21)$$

$$\beta = \frac{\log(\frac{T}{T_a})}{2\log(\frac{T_b}{T_a})} \quad (5.22)$$

$$T_{c'} = T_c \left[\frac{2R_y}{(1+R_y^2)} \right] \quad (5.23)$$

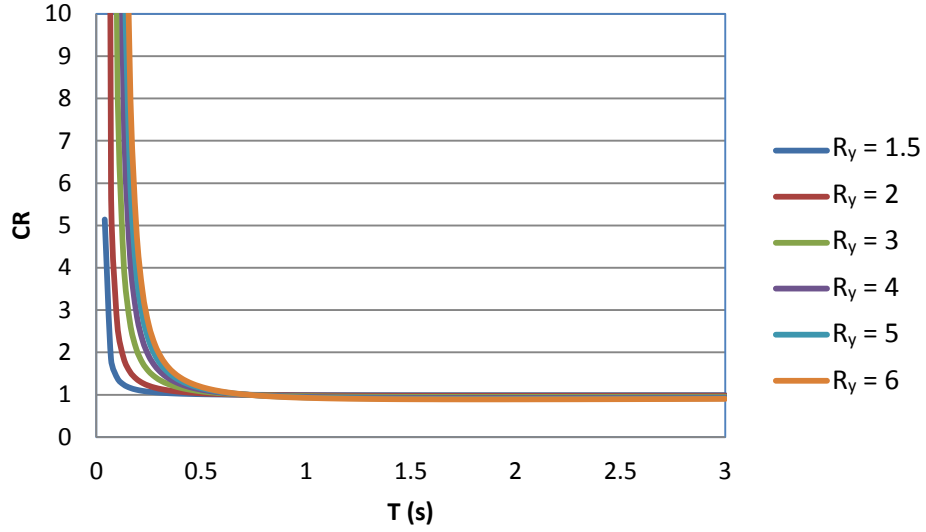


Şekil 5.24 Newmark – Hall yöntemiyle elde edilen C_R sabitleri

Nassar ve Krawinkler [108]'de C_R için (5.24) ve (5.25) bağıntılarını önermişlerdir. Bu bağıntılardaki a ve b sabitleri akma sonrası rijitliğine bağlı katsayılarıdır. Nassar ve Krawinkler'in [108]'de önerdiği bağıntı ile elde edilen C_R grafiği Şekil 5.25'te verilmiştir.

$$C_R = \frac{1}{R_y} \left[1 + \frac{R_y^c - 1}{c} \right] \quad (5.24)$$

$$c = \frac{T^a}{1+T^a} + \frac{b}{T} \quad (5.25)$$

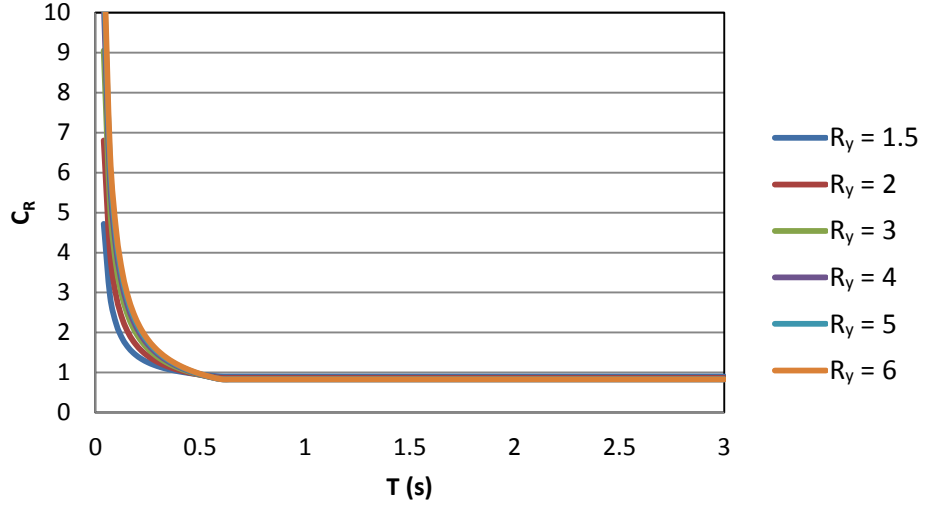


Şekil 5.25 Nassar ve Krawinkler'in [108]'de C_R sabitleri

Vidic vd. [110]'da C_R için (5.26) ve (5.27) bağıntısını önermişlerdir. Bağıntılardaki T_0 , hedef süneklığe ve sabit ivme bölgesinden sabit hız bölgesine geçiş periyoduna bağlı olan karakteristik periyottur ve $T_0 = 0.60$ sn alınmıştır [113]. Vidic vd. tarafından [110]'da önerilen bağıntının grafikleri Şekil 5.26'da verilmiştir.

$$C_R = \left\{ 1 + \left[0.74(R_y - 1) \frac{T_0}{T} \right]^{1.053} \right\} / R_y ; \quad (T < T_0) \quad (5.26)$$

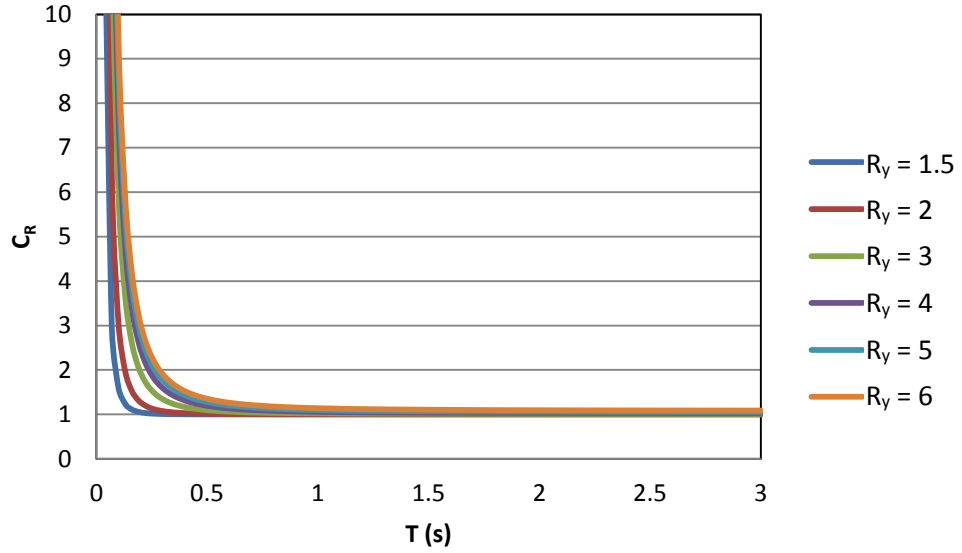
$$C_R = \{ 1 + [0.74(R - 1)]^{1.053} \} / R ; \quad (T > T_0) \quad (5.27)$$



Şekil 5.26 Vidic vd. tarafından [110]'da önerilen bağıntı ile C_R sabitleri

Aydinoğlu ve Kaçmaz [113]'te 146 yer hareketi kullanarak TSD sistemler için azalmasız elastoplastik çevrim kabulü ile C_R bağıntısı önermişlerdir. Önerilen bağıntı (5.28)'de ve bu bağıntı ile elde edilen C_R grafikleri de Şekil 5.27'de verilmiştir.

$$C_R = 1 + \frac{(R_y - 1)^{0.5}}{300} + \frac{1}{10T^2} \left(-20 \frac{T^{0.5}}{R_y^2} \right) \quad (5.28)$$



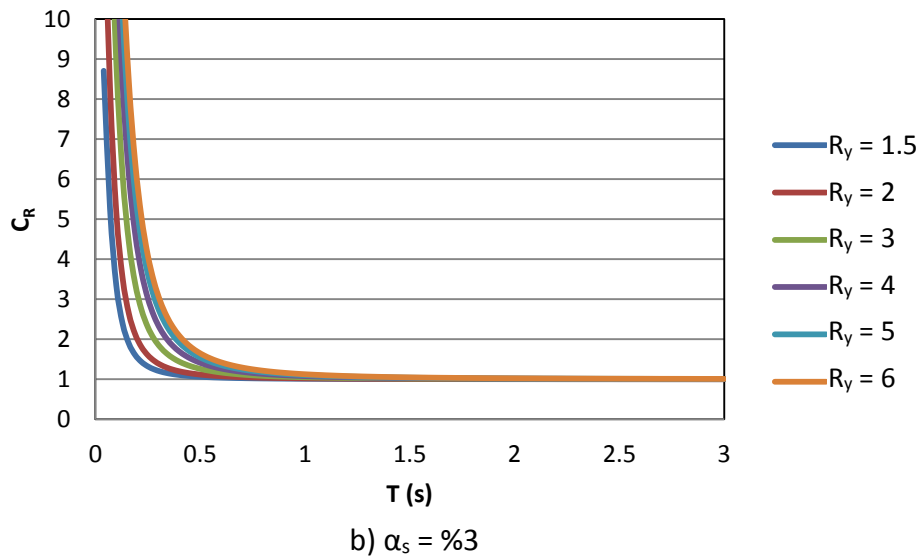
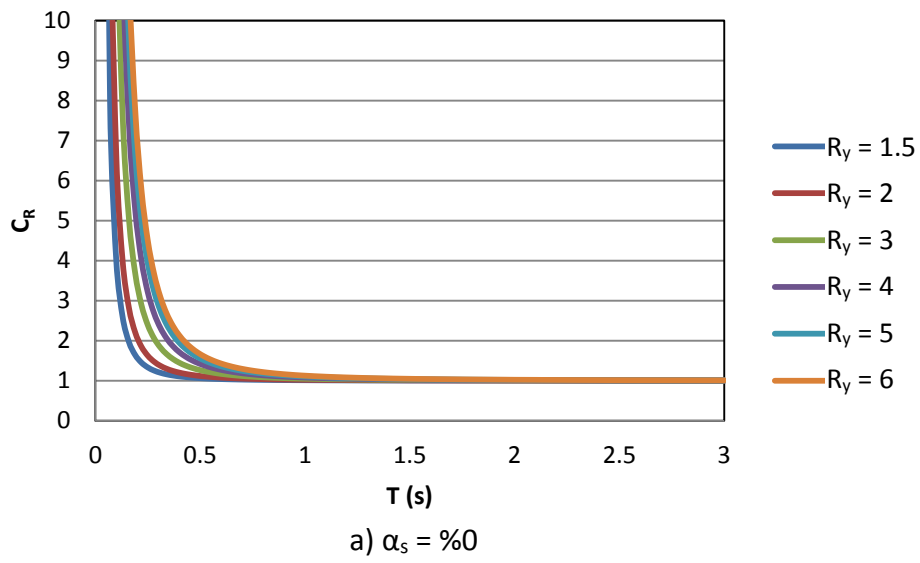
Şekil 5.27 Aydınoğlu ve Kaçmaz tarafından [113]'te önerilen bağıntı ile C_R sabitleri

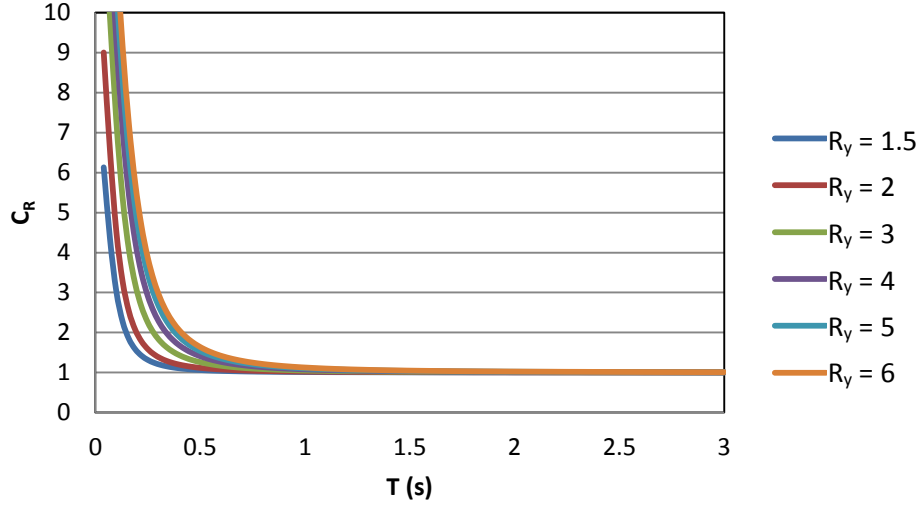
Chopra ve Chintanapakdee'nin [114]'te 140 yer hareketi kullanarak, ikili doğrusal çevrim modeli ile (5.29)'da verilen C_R bağıntısını önermişlerdir. Önerilen bağıntının grafik olarak çizimi Şekil 5.28'de verilmiştir.

$$C_R = 1 + \left[(L_R - 1)^{-1} + \left(\frac{a}{R_y^b} + c \right) \left(\frac{T_n}{T_c} \right)^d \right]^{-1} \quad (5.29)$$

$$L_R = \frac{1}{R_y} \left(1 + \frac{R_y^{-1}}{\alpha} \right) \quad (5.30)$$

(5.29) bağıntısında T_n sistemin periyodudur, T_c elastik tepki spektrumunda sabit ivme bölgesinden sabit hız bölgesine geçiş periyodudur ve Aydınöğlu ve Kaçmaz tarafından [113]'te $T_c = 0.60$ sn olarak önerilmiştir. a , b , c ve d sabitleri yer hareketi kayıtları gruplarına göre belirlenmiştir. Bu gruplandırmalar deprem büyüklüğü ve odak uzaklıklarına göre yapılmıştır.





c) $\alpha_s = \%5$

Şekil 5.28 Chopra ve Chintanapakdee tarafından [114]'te önerilen bağıntı ile C_R sabitleri FEMA 356'da ise C_R için (5.31) ve (5.32) bağıntıları önerilmiştir ve önerilen bağıntıların grafik olarak çizimi Şekil 5.29'da verilmiştir.

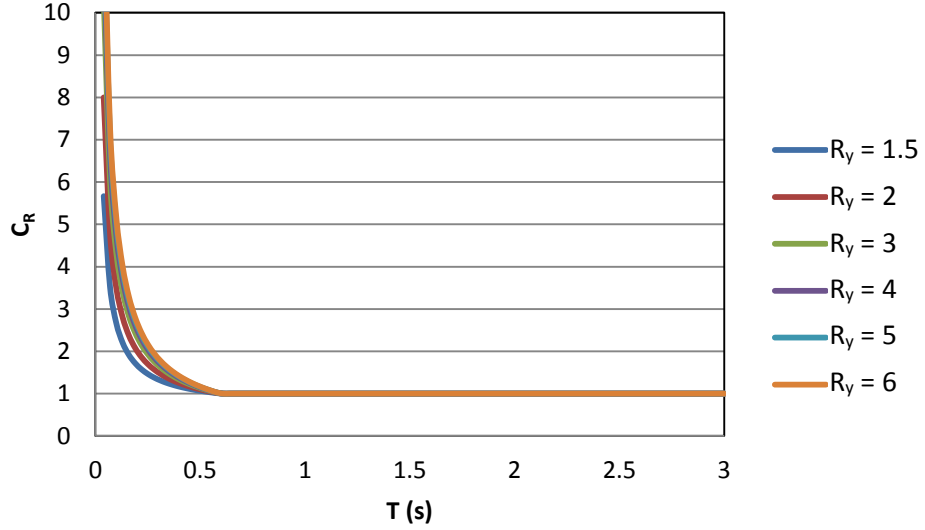
$$C_R = 1 \quad T_e > T_s \quad (5.31)$$

$$C_R = \left[1 + (R_y - 1) \frac{T_s}{T_e} \right] / R_y \quad T_e < T_s \quad (5.32)$$

T_s tasarım spektrumunda sabit ivme bölgesinden sabit hız bölgesine geçiş periyodu olan karakteristik periyottur ve Aydınoglu ve Kaçmaz tarafından [113]'te $T_s = 0.60$ sn olarak önerilmiştir.

5.3.2 Önerilen Bağıntının Mevcut Bağıntılar İle Karşılaştırılması

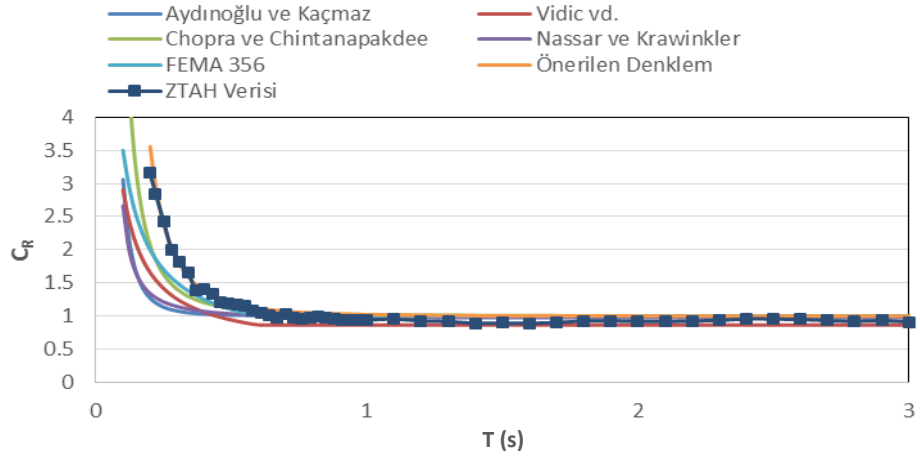
Deprem yükleri altında –özellikle betonarme yapılarda- yapılarda dayanım ve rijitlik azalması oluşacağı açıktır. Bu çalışmada kullanılan histeretik çevrim modeli ile deprem yükleri altında oluşacak bu dayanım ve rijitlik azalması gerçeğe yakın bir şekilde dikkate alınabilmektedir. Azalmalı peak-oriented histeretik model ile elde edilen C_R sabitleri ile bir denklem önerilmiştir. Bölüm 5.2.2.5'te verilen bağıntının, literatürde mevcut önerilen bağıntılarla karşılaştırılması Şekil 5.30'da verilmiştir. 37 adet azalma kombinasyonu ve 6 adet R_y için karşılaştırmaların hepsinin verilmesi pratik olmayacağından şekilde 3 adet azalma kombinasyonu ve $R_y = 2$ ve 4 için karşılaştırmalar verilmiştir.



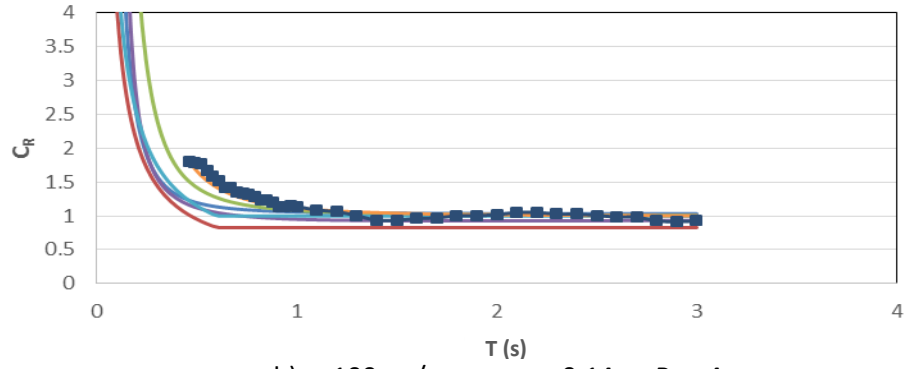
Şekil 5.29 FEMA 356’da önerilen C_R bağıntısının grafikleri

Şekil 5.30’dan görüldüğü üzere önerilen denklem ZTADOH ile elde edilen gerçek sonuçlara en yakın sonuçları vermektedir. Aynı zamanda literatürde önerilen denklemler ZTADOH ile elde edilen C_R sabitlerinden küçük değerler vermekte ve güvensiz tarafta kalmaktadır. Bununla beraber diğer çalışmalarda farklı veritabanlarının kullanılmış olduğu, bunun da sonuçları etkileyeceği unutulmamalıdır. Öte yandan literatürde bulunan bağıntılara göre, bu çalışmada elde edilen C_R sabitlerinin büyük olması, azalmanın C_R üzerindeki etkisini göstermesi bakımından anlamlıdır.

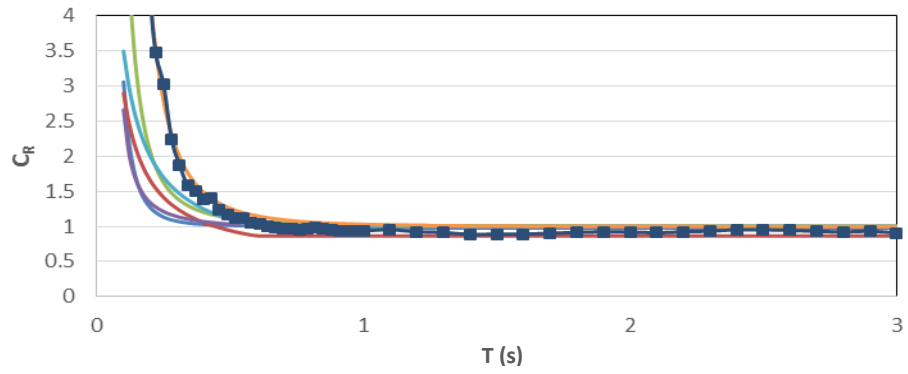
Literatürde önerilen bağıntılar azalmasız ikili doğrusal çevrim modelini dikkate almaktadır. Bölüm 5.2.2.4’te anlatıldığı gibi C_R elde edilmesinde azalmasız ikili doğrusal çevrim modeli, azalmalı peak-oriented modele göre özellikle küçük R_y ’ler için güvensiz tarafta sonuçlar vermektedir. Ayrıca Şekil 5.30’dan da görüldüğü gibi ikili doğrusal model dikkate alınarak önerilen mevcut bağıntılar da azalmalı peak-oriented model ile elde edilen C_R sabitlerinden küçük değerler vermekte ve güvensiz tarafta kalmaktadır.



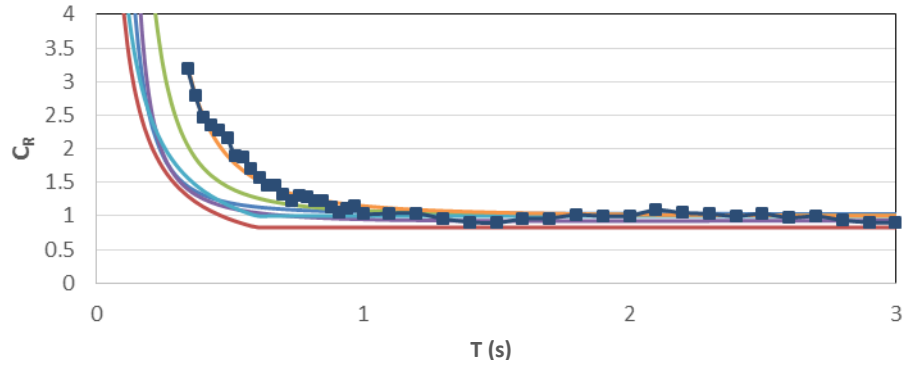
a) $\gamma=100$; $u_c/u_y=4$; $\alpha_c = -0.14$ ve $R_y = 2$



b) $\gamma=100$; $u_c/u_y=4$; $\alpha_c = -0.14$ ve $R_y = 4$



c) $\gamma=150$; $u_c/u_y=6$; $\alpha_c = -0.06$ ve $R_y = 2$



d) $\gamma=150$; $u_c/u_y=6$; $\alpha_c = -0.06$ ve $R_y = 4$

Şekil 5.30 Önerilen bağıntının, literatürde mevcut C_R bağıntılarıyla karşılaştırılması

ÖNERİLEN BAĞINTININ UYGULAMASI

Mevcut veya tasarımı yapılacak yeni bir binanın performans değerlendirilmesinin yapılabilmesi için tasarım depreminden kaynaklanan yerdeğiştirme isteminin elde edilmesi ve bu isteme bağlı olarak hasar tahmin ve değerlendirmesinde kullanılacak parametrelerin değerlerinin sözü edilen parametrelerin sınır değerleri ile karşılaştırılması gerekmektedir. Yönetmeliklerce, hasar parametresi olarak genellikle malzeme birim şekil değiştirmesi, kesitte plastik dönme miktarı ve görelî kat ötelemesi miktarı kullanılır. Her yönetmelik farklı hasar parametreleri tariflemiştir. Örneğin DBYBHY 2007 malzeme birim şekildeğiştirmelerini, FEMA 356 ise kesit plastik dönmesini hasar parametresi olarak tariflemiş ve bu parametrelere her performans düzeyi için sınırlar belirlemiştir. Hedef depremin yerdeğiştirme istemine karşılık gelen hasar parametresinin hasar sınır değerleri ile karşılaştırılması sonucu hasar tahmini yapılmakta, buna bağlı olarak bina performans düzeyleri belirlenmektedir.

Sonuç olarak performansa dayalı hesapta en önemli nokta elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin elde edilmesidir. Elastik ötesi yerdeğiştirme sabitinin elde edilmesinde literatürde birçok yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada, elastik yerdeğiştirme isteminin bir katsayı (elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti) ile çarpılarak elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin elde edilmesine dayanan “Katsayılar Yöntemi” dikkate alınmış ve elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti irdelenmiştir.

Farklı araştırmacılar tarafından birçok elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti (C_R) bağıntısı önerilmiştir fakat betonarme bir yapının çevrimsel davranışını yeterince iyi temsil edecek histeretik modeller dikkate alınmamıştır.

Bu çalışmada betonarme bir yapının çevrimsel yükler altında histeretik davranışını temsil ettiği düşünülen ve göçmeyi dikkate alan enerji esaslı dayanım – rijitlik azalmalı bir model kullanılarak C_R bağıntısı önerilmiştir. Bu çalışmada önerilen bağıntı ve literatürde önerilmiş diğer bağıntılar kullanılarak DBYBHY 2007’de önerilen tasarım depremi için gerçek bir binanın elastik ötesi yerdeğiştirme istemi elde edilecektir.

6.1 3 Katlı Süneklik Düzeyi Düşük Bir Betonarme Yapının Elastik Ötesi Yerdeğiştirme İstemi

6.1.1 Bina ve Özellikleri

Planı Şekil 6.1’de verilen betonarme çerçevelerden oluşan 3 katlı bina, her iki doğrultuda simetrik olup X-X doğrultusunda 4 açıklıklı ve Y-Y doğrultusunda ise 5 açıklıklıdır.

Aşağıda malzeme özellikleri ve donatı detayları verilen binanın sargılamasının zayıf, beton dayanımının düşük ve özellikle kolon donatılarının minimum değerde veya daha düşük olması sebebiyle, bina süneklik düzeyi düşük olarak kabul edilmiştir. Çizelge 6.1’de kolon boyutları verilmiştir. SAP2000’de analitik olarak modellenen binanın 3 boyutlu görünüşü Şekil 6.2’de verilmiştir.

Malzeme:

C12/S220

Yük:

Hareketli Yük (Q): 2 kN/m²

Deprem Karakteristikleri:

Dayanım Azaltma Katsayısı (R_y): 3

Deprem Bölgesi: 1. Derece

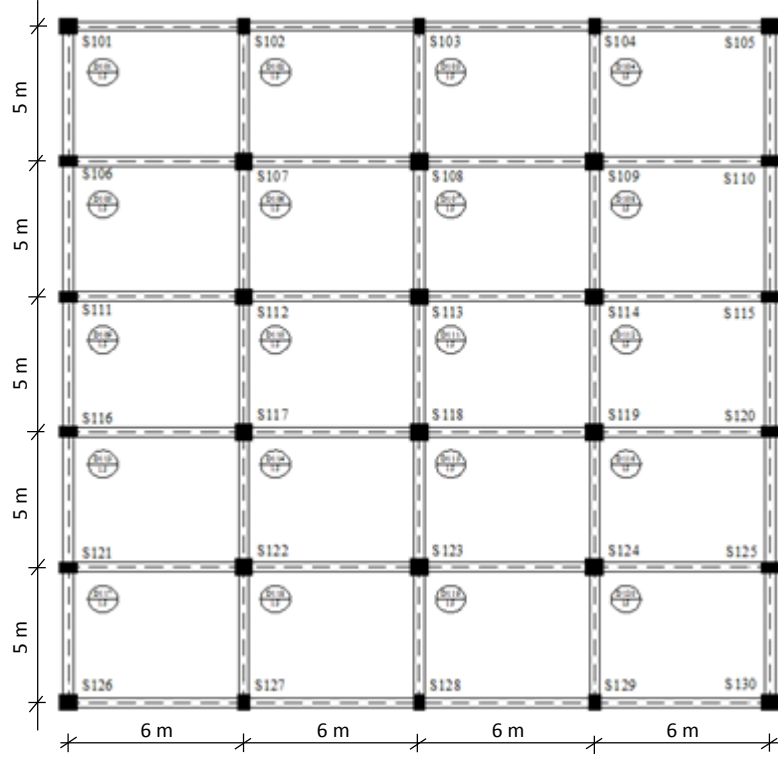
Yerel Zemin Sınıfı: Z2

Zemin Grubu: B

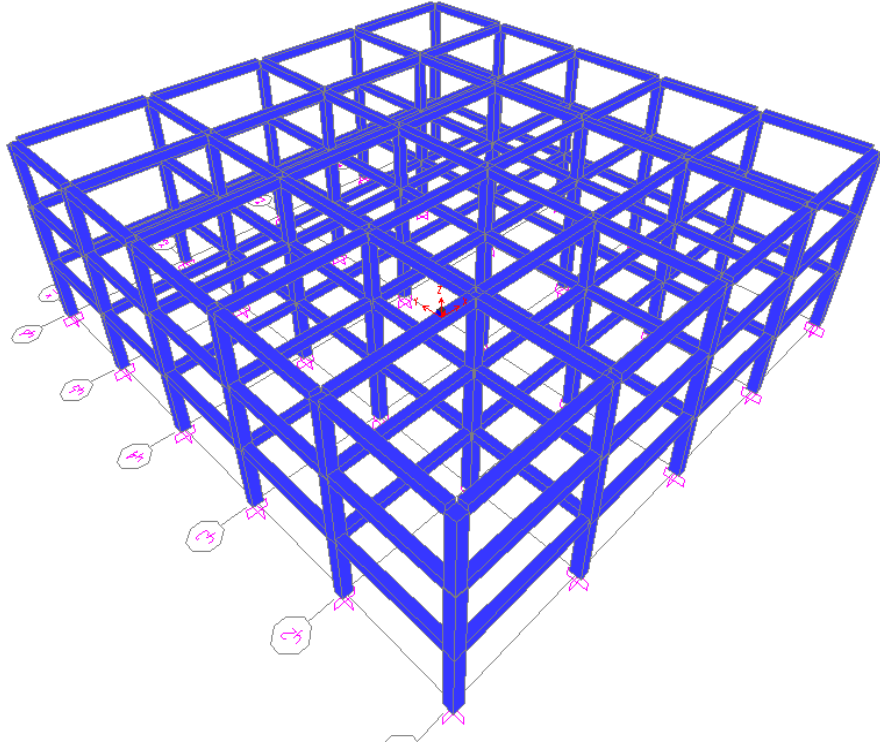
Bina Önem Katsayısı (I): 1

Etkin Yer İvmesi Katsayısı: (A_0): 0.40

Spektrum Karakteristik Periyotları (Z2 için): $T_A = 0.15$ s; $T_B = 0.40$ s



Şekil 6.1 Üç katlı betonarme binanın kat planı



Şekil 6.2 Binanın 3 boyutlu SAP2000 görüntüsü

Çizelge 6.1 Üç katlı binanın kolon boyutları

Kolonlar	KAT 1 (cmxcm)	KAT 2 (cmxcm)	KAT 3 (cmxcm)
S101	40x40	40x40	35x35
S102	35x40	35x40	35x35
S103	35x40	35x40	35x35
S106	40x35	40x35	35x35
S107	40x40	40x40	35x35
S108	40x40	40x40	35x35
S111	40x35	40x35	35x35
S112	40x40	40x40	35x35
S113	40x40	40x40	35x35

Bina planda her iki doğrultuda simetriktir. Kiriş boyutları 25x50 (cmxcm) olarak kabul edilmiştir. Döşeme kalınlığı 13 cm'dir. Kolonlarda boyuna donatılar minimum donatıdan

az yerleştirilmiştir. Mevcut yapı stoğunu temsil etmesi adına hem kirişler için hem de kolonlar için etriye $\Phi 8/30$ kabul edilmiştir ki, bu da sargılamanın neredeyse olmadığı anlamına gelmektedir.

6.1.2 Elastik ötesi yerdeğiştirme istemi

Birçok yönetmelik ve teorik çalışma, 1. modu hâkim (modal kütle katılımı yeterince yüksek) olan binaların eşdeğer TSD sistem olarak modellenebileceğini önermiştir. Örneğin DBYBHY 2007’de Artımsal İtme Analizi ile performans değerlendirmesinde binanın eşdeğer TSD sistem olarak kabul edilebilmesi için aşağıdaki koşulları vermektedir:

- Bodrum hariç binanın kat sayısı en fazla 8 olmalı,
- Herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlamalı,
- Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütesine oranı en az 0.70 olmalı.

Performansı araştırılan bina 3 katlı ve simetrik olduğundan yukarıda belirtilen 3 koşulu da sağlamakta ve eşdeğer TSD sistem olarak modellenabilmektedir. Böylece elastik ötesi yerdeğiştirme istemi elde edilmesinde C_R sabiti kullanılabilir.

SAP2000 analizi sonucu:

Birinci titreşim moduna ait etkin kütlenin bina toplam kütesine oranı: 0.87

Birinci mod titreşim periyodu (T_1): 0.57 s

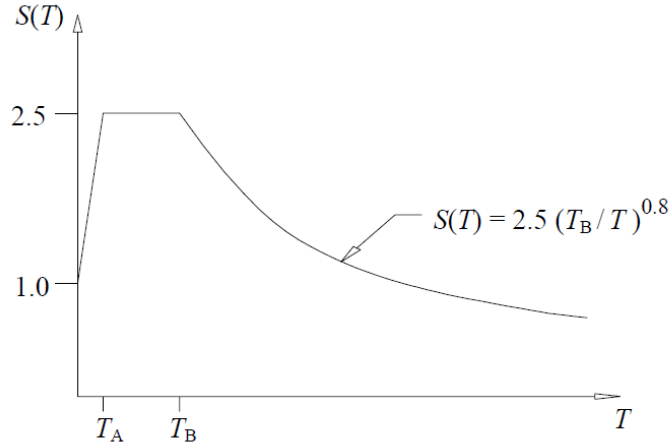
Bina tepesinde birinci moda ait mod şekli genliği (Φ_1): 0.032

Birinci mod katılım çarpanı (Γ_1): 39.37

Elastik ötesi yerdeğiştirme istemi denklem (6.1)’de verildiği şekilde elde edilmektedir.

$$S_{di} = C_R S_{de} \quad (6.1)$$

(6.1) bağıntısında S_{de} elastik spektral yerdeğiştirmeyi, S_{di} ise elastik ötesi yerdeğiştirmeyi göstermektedir. Yerdeğiştirme istemi DBYBHY 2007’de verilen tasarım ivme spektrumu kullanılarak elde edilecektir. Tasarım ivme spektrumu Şekil 6.3’te verilmiştir.



Şekil 6.3 Tasarım ivme spektrumu (DBYBHY 2007)

Elastik Spektral Yerdeğiştirmenin Elde Edilmesi:

$$T_1 = 0.57 \text{ s için } S(T) = 2.5 \left(\frac{0.40}{0.57} \right)^{0.8} = 1.88$$

$$S_{ae} = A_0 I S(T) g = 0.40 \cdot 1 \cdot 1.88 \cdot 9.81 = 7.38 \text{ m/s}^2$$

$$S_{de} = S_{ae} / \omega^2$$

$$\omega = 2\pi / T = 2\pi / 0.57 = 11.02 \text{ rad (açısal frekans)}$$

$$S_{de} = 7.38 / 11.02^2 = 0.06 \text{ m}$$

Yapıdaki yerdeğiştirme istemini elde etmek için spektral yerdeğiştirmenin gerçek yerdeğiştirmeye dönüştürülmesi gerekmektedir.

$$u_e = \Phi_1 \Gamma_1 S_{de} \quad (u_e: \text{elastik yerdeğiştirme})$$

$$u_e = 0.032 \cdot 39.37 \cdot 6 = 7.56 \text{ cm}$$

$$\text{Elastik ötesi yerdeğiştirme istemi: } u_i = C_R u_e$$

- **Önerilen Bağıntı ile Elastik Ötesi Yerdeğiştirme**

Bu çalışmada elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti olarak aşağıdaki bağıntı önerilmiştir:

$$C_R = 1 + a \frac{(R_y - 1)^b}{T^c} \left(\frac{\left(\frac{u_c}{u_y}\right)^d}{(\alpha_c)^e} + \left(\frac{1}{\gamma^f}\right) \right) \quad (T_1 > T_{col} \text{ sağlandığında})$$

Denklemden verilen a, b, c, d, e, f sabitleri zemin sınıfına bağlı olarak Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Yapılan çalışmada dinamik instabilite dolayısı göçme de dikkate alındığından sistemde dinamik instabilite durumu araştırılmalıdır. Bunun için Bölüm 4’te önerilen sınır göçme periyodu (T_{col}) bağıntısı kullanılacaktır

$$T_{col} = 0.1 + x_1 R_y^{x_2} \left(\left(\frac{u_c}{u_y}\right)^{x_3} + \alpha_c^{x_4} \right)$$

T_{col} bağıntısında verilen katsayılar azalma hızına (γ) ve zemin sınıfına bağlı olarak Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Ele alınan binanın azalma parametreleri:

Yapı süneklik düzeyi ve malzeme kalitesi düşük bir sistem varsayıldığından;

$\gamma = 50$ (Azalma hızı yüksek olacaktır)

$u_c/u_y = 2$ (Sünekliği düşük olacaktır).

$\alpha_c = -0.14$ (Kesitlerin çok küçük olmaması nedeniyle tepe sonrası eğimi ortalama alınmıştır)

Göçme Periyodu:

Zemin Sınıfı: B ve Azalma Hızı (γ): 50 olduğundan Çizelge 4.2’den T_{col} denklem parametreleri:

$$x_1 = 0.1080$$

$$x_2 = 2.5910$$

$$x_3 = -3.3713$$

$$x_4 = 1.4010$$

T_{col} bağıntısında değerler yerlerine koyulduğunda:

$T_{col} = 0.40$ s (Göçme Periyodu)

$T_1 = 0.57$ s $>$ $T_{col} = 0.40$ s olduğundan çalışmada önerilen C_R bağıntısı kullanılabilir.

C_R Sabiti:

B zemin sınıfı için Çizelge 5.1'den C_R bağıntısının katsayıları:

$$a = 0.006367$$

$$b = 1.289168 * T + 0.542789$$

$$c = 0.713437 * T + 2.992757$$

$$d = -0.369130$$

$$e = 0.530505$$

$$f = 0.250807$$

$T = 0.57$ s, $R_y = 4$, $\gamma = 100$, $u_c/u_y = 4$ ve $\alpha_c = 0.14$ değerleri C_R bağıntısında yerine koyulduğunda:

$$C_R = 1.27$$

$$u_i = C_R u_e = 1.27 * 7.56 = \underline{9.60 \text{ cm}}$$
 olarak elde edilir.

• **FEMA 356'da önerilen C_R bağıntısı:**

$$C_R = 1 \quad T_e > T_s \quad (5.31)$$

$$C_R = \left[1 + (R_y - 1) \frac{T_s}{T_e} \right] / R_y \quad T_e < T_s \quad (5.32)$$

T_s karakteristik periyodu Z2 yerel zemin sınıfı için 0.40 sn alınmıştır. ($T_s = T_B = 0.40$ s)

$$T_1 = 0.57 \text{ s} > T_s = 0.40 \text{ s} \text{ olduğundan } C_R = 1$$

$$u_i = C_R u_e = 1 * 7.56 = \underline{7.56 \text{ cm}}$$
 olarak elde edilir.

• **Newmark – Hall'un önerdiği C_R bağıntısı:**

$$C = \text{Tanımlanmamış, } T < T_a = \frac{1}{33} \text{ sn}$$

$$C = \frac{(1+R_y^{2/\beta})}{2R_y}, \quad T_a \leq T < T_b = 0.125s$$

$$C = \frac{(1+R_y^2)}{2R_y}, \quad T_b \leq T < T_{c'}$$

$$C = \frac{T_c}{T}, \quad T_{c'} \leq T < T_c$$

$$C = 1, \quad T \geq T_c$$

$$\beta = \frac{\log(\frac{T}{T_a})}{2\log(\frac{T_b}{T_a})}$$

$$T_{c'} = T_c \left[\frac{2R_y}{(1+R_y^2)} \right]$$

Z2 yerel zemin sınıfı için $T_c = T_B = 0.40$ s alınmıştır.

$T_1 = 0.57$ s $>$ $T_c = 0.40$ s olduğundan **$C_R = 1$**

$u_i = C_R u_e = 1 * 7.56 = 7.56$ cm olarak hesaplanır.

- **Nassar ve Krawinkler'in önerdiği C_R bağıntısı:**

$$C_R = \frac{1}{R_y} \left[1 + \frac{R_y^c - 1}{c} \right]$$

$$c = \frac{T^a}{1+T^a} + \frac{b}{T}$$

Akma sonrası eğimi $\alpha_s = \%0$ için denkelem katsayıları:

$a = 1$ ve $b = 0.42$

$C_R = 1.04$

$u_i = C_R u_e = 1.04 * 7.56 = 7.86$ cm olarak elde edilir.

- **Vidic vd. önerdiği C_R bağıntısı:**

$$C_R = \left\{ 1 + \left[0.74(R_y - 1) \frac{T_0}{T} \right]^{1.053} \right\} / R_y ; \quad (T < T_0)$$

$$C_R = \{ 1 + [0.74(R - 1)]^{1.053} \} / R ; \quad (T > T_0)$$

Karakteristik periyot $T_0 = T_B = 0.40$ s.

$T_1 = 0.57$ s > $T_0 = 0.40$ s

$C_R = 0.86$

$u_i = C_R u_e = 0.86 * 7.56 = \underline{6.50 \text{ cm}}$ elde edilmiştir.

- **Aydinoğlu ve Kaçmaz'ın önerdiği C_R bağıntısı:**

$$C_R = 1 + \frac{(R_y - 1)^{0.5}}{300} + \frac{1}{10T^2} \left(-20 \frac{T^{0.5}}{R_y^2} \right)$$

$C_R = 1.07$

$u_i = C_R u_e = 1.07 * 7.56 = \underline{8.09 \text{ cm}}$ olarak elde edilir.

- **Chopra ve Chintanapakdee'nin önerdiği C_R bağıntısı:**

$$C_R = 1 + \left[(L_R - 1)^{-1} + \left(\frac{a}{R_y^b} + c \right) \left(\frac{T_n}{T_c} \right)^d \right]^{-1}$$

$$L_R = \frac{1}{R_y} \left(1 + \frac{R_y - 1}{\alpha} \right)$$

L_R bağıntısında $\alpha = \alpha_s = \%0$ olduğundan $L_R = \infty$ olmaktadır.

$T_c = T_B = 0.40$ s alınmıştır.

C_R bağıntısındaki katsayılar aşağıdaki gibi alınmıştır:

$a = 61$; $b = 20.4$; $c = 1.5$; $d = 2.4$

$C_R = 1.07$

$u_i = C_R u_e = 1.07 * 7.56 = \underline{8.09 \text{ cm}}$ olarak elde edilir.

Yapılan çözümler sonucu elde edilen C_R sabitleri özetlenirse:

- **Bu çalışmada önerilen bağıntı ile: $C_R = 1.27$**
- FEMA 356'da önerilen bağıntı ile: **$C_R = 1$**
- Newmark – Hall'un önerdiği bağıntı ile: **$C_R = 1$**

- Nassar ve Krawinkler'in önerdiği bağıntı ile: $C_R = 1.04$
- Vidic vd. önerdiği bağıntı ile: $C_R = 0.86$
- Aydınoğlu ve Kaçmaz'ın önerdiği bağıntı ile: $C_R = 1.07$
- Chopra ve Chintanapakdee'nin önerdiği bağıntı ile: $C_R = 1.07$

6.2 3 Katlı Süneklik Düzeyi Normal Bir Betonarme Yapının Elastik Ötesi

Yerdeğiştirme İstemi

Bu bölümde Bölüm 6.1'de verilen bina ile aynı plana, kat adedine, açıklıklara, kat yüksekliğine ve kolon boyutuna sahip bir bina dikkate alınmıştır. Dikkate alınan bu binanın Bölüm 6.1'de verilen binadan farkı malzeme dayanımları, kolon ve kirişlerde boyuna donatılar ile sargılama miktarıdır. Böylelikle ele alınan binanın azalma parametreleri farklılık gösterecektir ve C_R elde edilirken farklı dayanım ve sünekliğe sahip binalarda elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin değiştiği gösterilecektir.

Malzeme:

C20/S420

Yük:

Hareketli Yük (Q): 2 kN/m²

Deprem Karakteristikleri:

Dayanım Azaltma Katsayısı (R_y): 5

Deprem Bölgesi: 1. Derece

Yerel Zemin Sınıfı: Z2

Zemin Grubu: B

Bina Önem Katsayısı (I): 1

Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0): 0.40

Spektrum Karakteristik Periyotları (Z2 için): $T_A = 0.15$ s; $T_B = 0.40$ s

Taşıyıcı Sistem Boyutları ve Donatı Düzeni:

Bu bölümde dikkate alınan binanın kiriş ve kolon boyutları, Bölüm 6.1’de verilen binanın kiriş ve kolon boyutları ile aynıdır.

- Kolon ve kirişlerde tasarım yüklerini karşılayabilecek düzeyde boyuna donatı olduğu kabul edilmiştir.
- Kolon ve kirişlerde sıklaştırma bölgesinde $\Phi 8/15$ etriye olduğu ve sargılamanın normal düzeyde olduğu kabul edilmiştir.

Modal Parametreler:

Birinci modda kütle katılım oranı: 0.87

Birinci mod titreşim periyodu (T_1): 0.53 s

Bina tepesinde birinci moda ait mod şekli genliği (Φ_1): 0.032

Birinci mod katılım çarpanı (Γ_1): 39.35

Elastik Spektral Yerdeğiştirme:

$$T_1 = 0.53 \text{ sn için } S(T) = 2.5 \left(\frac{0.40}{0.53} \right)^{0.8} = 2$$

$$S_{ae} = A_0 I S(T) g = 0.40 * 1 * 2 * 9.81 = 7.85 \text{ m/s}^2$$

$$S_{de} = S_{ae} / \omega^2$$

$$\omega = 2\pi / T = 2 \pi / 0.53 = 11.86 \text{ rad (açısal frekans)}$$

$$S_{de} = 7.30 / 10.83^2 = 0.056 \text{ m}$$

Yapıdaki yerdeğiştirme istemini elde etmek için spektral yerdeğiştirmenin gerçek yerdeğiştirmeye dönüştürülmesi gerekmektedir.

$$u_e = \Phi_1 \Gamma_1 S_{de} \text{ (} u_e \text{: elastik yerdeğiştirme)}$$

$$u_e = 0.032 * 39.35 * 5.6 = 7.05 \text{ cm}$$

$$\text{Elastik ötesi yerdeğiştirme istemi: } u_i = C_R u_e$$

- **Önerilen Bağlantı ile Elastik Ötesi Yerdeğiştirme**

Bu çalışmada elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti olarak aşağıdaki bağlantı önerilmiştir:

$$C_R = 1 + a \frac{(R_y - 1)^b}{T^c} \left(\frac{\left(\frac{u_c}{u_y} \right)^d}{(\alpha_c)^e} + \left(\frac{1}{\gamma^f} \right) \right) \quad (T_1 > T_{col} \text{ sağlandığında})$$

Denklemden verilen a, b, c, d, e, f sabitleri zemin sınıfına bağlı olarak Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Yapılan çalışmada dinamik instabilite dolaylı göçme de dikkate alındığından sistemde dinamik instabilite durumu araştırılmalıdır. Bunun için Bölüm 4’te önerilen sınır göçme periyodu (T_{col}) bağıntısı kullanılacaktır

$$T_{col} = 0.1 + x_1 R_y^{x_2} \left(\left(\frac{u_c}{u_y} \right)^{x_3} + \alpha_c^{x_4} \right)$$

T_{col} bağıntısında verilen katsayılar azalma hızına (γ) ve zemin sınıfına bağlı olarak Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Ele alınan binanın azalma parametreleri:

Yapı süneklik düzeyi ve malzeme kalitesi normal bir sistem olarak varsayıldığından;

$\gamma = 100$ (Azalma hızı orta olacaktır)

$u_c/u_y = 4$ (Sünekliği normal olacaktır).

$\alpha_c = -0.14$ (Kesitlerin çok küçük olmaması nedeniyle tepe sonrası eğimi ortalama alınmıştır)

Göçme Periyodu:

Zemin Sınıfı: B ve Azalma Hızı (γ): 100 olduğundan Çizelge 4.2’den T_{col} denklem parametreleri:

$$x_1 = 0.0736$$

$$x_2 = 2.0795$$

$$x_3 = -1.4281$$

$$x_4 = 1.2740$$

T_{col} bağıntısında değerler yerlerine koyulduğunda:

$$T_{col} = 0.38 \text{ s (Göçme Periyodu)}$$

$T_1 = 0.53 \text{ s} > T_{col} = 0.38 \text{ s}$ olduğundan çalışmada önerilen C_R bağıntısı kullanılabilir.

C_R Sabiti:

B zemin sınıfı için Çizelge 5.1'den C_R bağıntısının katsayıları:

$$a = 0.006367$$

$$b = 1.289168 * T + 0.542789$$

$$c = 0.713437 * T + 2.992757$$

$$d = -0.369130$$

$$e = 0.530505$$

$$f = 0.250807$$

$T = 0.53 \text{ s}$, $R_y = 4$, $\gamma = 100$, $u_c/u_y = 4$ ve $\alpha_c = 0.14$ değerleri C_R bağıntısında yerine koyulduğunda:

$$C_R = 1.43$$

$$u_i = C_R u_e = 1.43 * 7.05 = \underline{10.08 \text{ cm}}$$
 olarak elde edilir.

- **FEMA 356'da önerilen C_R bağıntısı:**

$$T_1 = 0.53 \text{ s} > T_s = 0.40 \text{ s} \text{ olduğundan } C_R = 1$$

$$u_i = C_R u_e = 1 * 7.05 = \underline{7.05 \text{ cm}}$$
 olarak elde edilir.

- **Newmark – Hall'un önerdiği C_R bağıntısı:**

$$T_1 = 0.53 \text{ s} > T_c = 0.40 \text{ s} \text{ olduğundan } C_R = 1$$

$$u_i = C_R u_e = 1 * 7.05 = \underline{7.05 \text{ cm}}$$
 olarak elde edilir.

- **Nassar ve Krawinkler'in önerdiği C_R bağıntısı:**

$$C_R = 1.10$$

$$u_i = C_R u_e = 1.1 * 7.05 = \underline{7.76 \text{ cm}}$$
 olarak elde edilir.

- **Vidic vd. önerdiği C_R bağıntısı:**

$$T_1 = 0.53 \text{ s} > T_0 = 0.40 \text{ s}$$

$$C_R = 0.91$$

$$u_i = C_R u_e = 0.91 * 7.05 = \underline{6.42 \text{ cm}}$$
 olarak elde edilir.

- **Aydinoğlu ve Kaçmaz'ın önerdiği C_R bağıntısı:**

$$C_R = 1.17$$

$$u_i = C_R u_e = 1.17 * 7.05 = \underline{8.25 \text{ cm}}$$
 olarak elde edilir.

- **Chopra ve Chintanapakdee'nin önerdiği C_R bağıntısı:**

$$C_R = 1.35$$

$$u_i = C_R u_e = 1.35 * 7.05 = \underline{9.51 \text{ cm}}$$
 olarak elde edilir.

Yapılan çözümler sonucu elde edilen C_R sabitleri özetlenirse:

- Bu çalışmada önerilen bağıntı ile: $C_R = 1.43$
- FEMA 356'da önerilen bağıntı ile: $C_R = 1$
- Newmark – Hall'un önerdiği bağıntı ile: $C_R = 1$
- Nassar ve Krawinkler'in önerdiği bağıntı ile: $C_R = 1.10$
- Vidic vd. önerdiği bağıntı ile: $C_R = 0.91$
- Aydınoğlu ve Kaçmaz'ın önerdiği bağıntı ile: $C_R = 1.17$
- Chopra ve Chintanapakdee'nin önerdiği bağıntı ile: $C_R = 1.35$

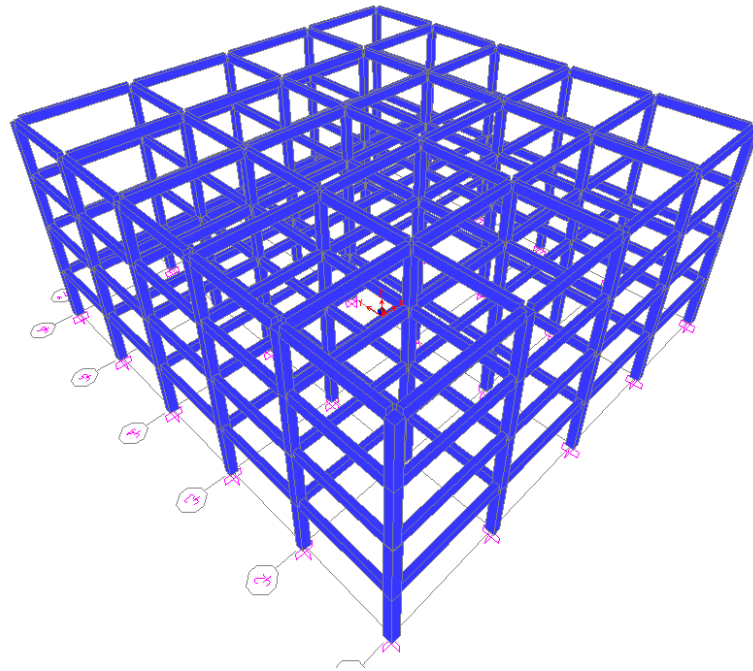
6.3 4 Katlı ve Süneklik Düzeyi Yüksek Bir Betonarme Yapının Elastik Ötesi

Yerdeğiştirme İstemi

Bölüm 6.1’de elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin katsayılar yöntemiyle elde edilmesinin kuralları anlatılmıştı. Bu bölümde, elastik ötesi yerdeğiştirme istemi doğrudan elde edilmiştir.

6.3.1 Bina ve Özellikleri

Elastik ötesi yerdeğiştirme istemi elde edilecek 4 katlı binanın planı Bölüm 6.1’de dikkate alınan binanın kalıp planı ile aynıdır ve Şekil 6.1’de verilmiştir. Şekil 6.4’te binanın 3 boyutlu görünüşü verilmiştir. 4 katlı bina her iki doğrultuda simetrik olup X-X doğrultusunda 4 açıklıklı ve Y-Y doğrultusunda ise 5 açıklıklıdır.



Şekil 6.4 Dört katlı betonarme binanın kat planı

Malzeme:

C30/S420

Yük:

Hareketli Yük (Q): 2 kN/m²

Taşıyıcı Sistem Boyutları ve Donatı Düzeni:

Kiriş boyutları 25/50 (cmxcm) ve döşeme kalınlığı 13 cm'dir.

Kolon boyutları Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Dört katlı binanın kolon boyutları

Kolonlar	KAT 1 (cmxcm)	KAT 2 (cmxcm)	KAT 3 (cmxcm)	KAT 4 (cmxcm)
S101	45x45	45x45	40x40	40x40
S102	40x45	40x45	40x40	40x40
S103	40x45	40x45	40x40	40x40
S106	45x40	45x40	40x40	40x40
S107	45x45	45x45	40x40	40x40
S108	45x45	45x45	40x40	40x40
S111	45x40	45x40	40x40	40x40
S112	45x45	45x45	40x40	40x40
S113	45x45	45x45	40x40	40x40

- 4 katlı binanın DBYBHY 2007 yönetmeliğine uygun şekilde tasarlandığı ve bu yüzden de yüksek dayanımlı ve sünekliği yüksek olarak kabul edilmiştir.
- Hem kolonlarda hem de kirişlerde sargılamının çok iyi olduğu kabul edilmiştir. Sıklaştırma bölgesinde $\Phi 8/9$ etriye olduğu kabul edilmiştir. Aynı zamanda kolonlarda çiroz donatısı da kullanılmıştır.

Modal Parametreler:

Birinci modda kütle katılım oranı: 0.83

Birinci mod titreşim periyodu (T_1): 0.58 s

Bina tepesinde birinci moda ait mod şekli genliği (Φ_1): 0.024

Birinci mod katılım çarpanı (Γ_1): 45

6.3.1.1 A Zemin Sınıfı İçin C_R

- **Deprem Karakteristikleri:**

Dayanım Azaltma Katsayısı (R_y): 6

Deprem Bölgesi: 1. Derece

Yerel Zemin Sınıfı: Z1

Zemin Grubu: A

Bina Önem Katsayısı (I): 1

Etkin Yer İvmesi (A_0): 0.40

Spektrum Karakteristik Periyotları (Z1 için): $T_A = 0.10$ s; $T_B = 0.30$ s

- **Elastik Spektral Yerdeğiştirme:**

$$T_1 = 0.58 \text{ s için } S(T) = 2.5 \left(\frac{0.30}{0.58} \right)^{0.8} = 1.48$$

$$S_{ae} = A_0 I S(T) g = 0.40 \cdot 1 \cdot 1.48 \cdot 9.81 = 5.81 \text{ m/s}^2$$

$$S_{de} = S_{ae} / \omega^2$$

$$\omega = 2\pi/T = 2\pi/0.58 = 10.83 \text{ rad (açısal frekans)}$$

$$S_{de} = 5.81/10.83^2 = 0.05 \text{ m}$$

Yapıdaki yerdeğiştirme istemini elde etmek için spektral yerdeğiştirmenin gerçek yerdeğiştirmeye dönüştürülmesi gerekmektedir.

$$u_e = \Phi_1 \Gamma_1 S_{de} \quad (u_e: \text{elastik yerdeğiştirme})$$

$$u_e = 0.024 \cdot 45 \cdot 5 = 5.4 \text{ cm}$$

Elastik ötesi yerdeğiştirme istemi: $u_i = C_R u_e$

- **Önerilen Bağıntı ile Elastik Ötesi Yerdeğiştirme**

Bu çalışmada elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti olarak aşağıdaki bağıntı önerilmiştir:

$$C_R = 1 + a \frac{(R_y - 1)^b}{T^c} \left(\frac{\left(\frac{u_c}{u_y} \right)^d}{(\alpha_c)^e} + \left(\frac{1}{\gamma f} \right) \right) \quad (T_1 > T_{col} \text{ sağlandığında})$$

Yapılan çalışmada dinamik instabiliten dolayı göçme de dikkate alındığından sistemde dinamik instabilite durumu araştırılmalıdır. Bunun için Bölüm 4'te önerilen sınır göçme periyodu (T_{col}) bağıntısı kullanılacaktır

$$T_{col} = 0.1 + x_1 R_y^{x_2} \left(\left(\frac{u_c}{u_y} \right)^{x_3} + \alpha_c^{x_4} \right)$$

T_{col} bağıntısında verilen katsayılar azalma hızına (γ) ve zemin sınıfına bağlı olarak Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Ele alınan binanın azalma parametreleri:

Yapı süneklik düzeyi ve malzeme kalitesi yüksek bir sistem olarak varsayıldığından;

$\gamma = 150$ (Azalma hızı düşük olacaktır)

$u_c/u_y = 6$ (Sünekliği yüksek olacaktır).

$\alpha_c = -0.06$

Göçme Periyodu:

Zemin Sınıfı: A ve Azalma Hızı (γ): 150 olduğundan Çizelge 4.2'den T_{col} denklem parametreleri:

$x_1 = 0.0685$

$x_2 = 1.9516$

$x_3 = -1.5128$

$x_4 = 0.8597$

T_{col} bağıntısında değerler yerlerine koyulduğunda:

$T_{col} = 0.45$ s (Göçme Periyodu)

$T_1 = 0.58$ s > $T_{col} = 0.45$ s olduğundan çalışmada önerilen C_R bağıntısı kullanılabilir.

C_R Sabiti:

A zemin sınıfı için Çizelge 5.1'den C_R bağıntısının katsayıları:

$a = 0.007755$

$b = 0.982428 \cdot T + 0.844474$

$$c = 0.401297 \cdot T + 3.062537$$

$$d = -0.321444$$

$$e = 0.436640$$

$$f = 0.332443$$

$T = 0.58$ s, $R_y = 6$, $\gamma = 150$, $u_c/u_y = 6$ ve $\alpha_c = 0.06$ değerleri C_R bağıntısında yerine koyulduğunda:

$$C_R = 1.96$$

$$u_i = C_R u_e = 1.96 \cdot 5.4 = \underline{10.58 \text{ cm}}$$
 olarak elde edilir.

6.3.1.2 C Zemin Sınıfı İçin C_R

Yapının tüm özellikler aynı kabul edilerek sadece C zemin sınıfında inşaa edildiği düşünülmüştür ve buna göre C_R elde edilmiştir. Zemin sınıfının farklı olması tasarım spektrumunu değiştirecek ve dolayısıyla da elastik spektral yerdeğiştirme istemi ile T_A ve T_B köşe periyotlarını değiştirecektir.

Deprem Karakteristikleri:

Dayanım Azaltma Katsayısı (R_y): 6

Deprem Bölgesi: 1. Derece

Yerel Zemin Sınıfı: Z3

Zemin Grubu: C

Bina Önem Katsayısı (I): 1

Etkin Yer İvmesi (A_0): 0.40

Spektrum Karakteristik Periyotları ($Z1$ için): $T_A = 0.15$ s; $T_B = 0.60$ s

Elastik Spektral Yerdeğiştirme:

$$T_1 = 0.58 \text{ s} \text{ için } T_1 < T_B = 0.60 \text{ s olduğundan } S(T) = 2.5$$

$$S_{ae} = A_0 I S(T) g = 0.40 \cdot 1 \cdot 2.5 \cdot 9.81 = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$S_{de} = S_{ae} / \omega^2$$

$$\omega = 2\pi/T = 2\pi/0.58 = 10.83 \text{ rad (açısal frekans)}$$

$$S_{de} = 9.81/10.83^2 = 0.084 \text{ m}$$

Yapıdaki yerdeğiştirme istemini elde etmek için spektral yerdeğiştirmenin gerçek yerdeğiştirmeye dönüştürülmesi gerekmektedir.

$$u_e = \Phi_1 \Gamma_1 S_{de} \quad (u_e: \text{elastik yerdeğiştirme})$$

$$u_e = 0.024 \cdot 45 \cdot 8.4 = 9.07 \text{ cm}$$

Elastik ötesi yerdeğiştirme istemi: $u_i = C_R u_e$

- **Önerilen Bağıntı ile Elastik Ötesi Yerdeğiştirme**

Bu çalışmada elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti olarak aşağıdaki bağıntı önerilmiştir:

$$C_R = 1 + a \frac{(R_y - 1)^b}{T^c} \left(\frac{\left(\frac{u_c}{u_y}\right)^d}{(\alpha_c)^e} + \left(\frac{1}{\gamma f}\right) \right) \quad (T_1 > T_{col} \text{ sağlandığında})$$

Yapılan çalışmada dinamik instabiliten dolayı göçme de dikkate alındığından sistemde dinamik instabilite durumu araştırılmalıdır. Bunun için Bölüm 4'te önerilen sınır göçme periyodu (T_{col}) bağıntısı kullanılacaktır

$$T_{col} = 0.1 + x_1 R_y^{x_2} \left(\left(\frac{u_c}{u_y}\right)^{x_3} + \alpha_c^{x_4} \right)$$

T_{col} bağıntısında verilen katsayılar azalma hızına (γ) ve zemin sınıfına bağlı olarak Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Ele alınan binanın azalma parametreleri:

Yapı süneklik düzeyi ve malzeme kalitesi yüksek bir sistem olarak varsayıldığından;

$$\gamma = 150 \text{ (Azalma hızı düşük olacaktır)}$$

$$u_c/u_y = 6 \text{ (Sünekliği yüksek olacaktır).}$$

$$\alpha_c = -0.06$$

Göçme Periyodu:

Zemin Sınıfı: C ve Azalma Hızı (γ): 150 olduğundan Çizelge 4.2'den T_{col} denklem parametreleri:

$$x_1 = 0.0791$$

$$x_2 = 1.5530$$

$$x_3 = -1.1348$$

$$x_4 = 0.8600$$

T_{col} bağıntısında değerler yerlerine koyulduğunda:

$$T_{col} = 0.38 \text{ s (Göçme Periyodu)}$$

$T_1 = 0.58 \text{ s} > T_{col} = 0.38 \text{ s}$ olduğundan çalışmada önerilen C_R bağıntısı kullanılabilir.

C_R Sabiti:

C zemin sınıfı için Çizelge 5.1'den C_R bağıntısının katsayıları:

$$a = 0.000255$$

$$b = 1.074927 \cdot T + 0.553242$$

$$c = 7.924900 \cdot T + 3.538080$$

$$d = -0.189699$$

$$e = 0.475191$$

$$f = 0.320008$$

$T = 0.58 \text{ s}$, $R_y = 6$, $\gamma = 150$, $u_c/u_y = 6$ ve $\alpha_c = 0.06$ değerleri C_R bağıntısında yerine koyulduğunda:

$$C_R = 1.42$$

$$u_i = C_R u_e = 1.42 \cdot 9.07 = \underline{12.88 \text{ cm}}$$
 olarak elde edilir.

Yapılan çözümler sonucu elde edilen C_R sabitleri özetlenirse:

- Bu çalışmada önerilen bağıntı ile **(A Zemin Sınıfı için): $C_R = 1.96$**
- Bu çalışmada önerilen bağıntı ile **(C Zemin Sınıfı için): $C_R = 1.42$**
- FEMA 356'da önerilen bağıntı ile: **$C_R = 1.03$**
- Newmark – Hall'un önerdiği bağıntı ile: **$C_R = 1.03$**
- Nassar ve Krawinkler'in önerdiği bağıntı ile: **$C_R = 1.09$**

- Vidic vd. önerdiği bağıntı ile: $C_R = 0.85$
- Aydınoğlu ve Kaçmaz'ın önerdiği bağıntı ile: $C_R = 1.28$
- Chopra ve Chintanapakdee'nin önerdiği bağıntı ile: $C_R = 1.47$

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, çevrimsel yükler altında tüm malzemelerde dayanım ve rijitlik azalması meydana gelmektedir. Çevrimsel yükler altındaki histeretik davranış modellenirken dayanım ve rijitlik azalması dikkate alınmalıdır. Hem ülkemizde hem de dünyada betonarme yapılar yaygın olarak kullanılmaktadır ve yapılan deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda betonarme yapıların çevrimsel yükler altında histeretik davranışının Pike-Yönelik (Peak-Oriented) modele uyduğu ve dayanım ve rijitlik azalması ile birlikte negatif eğime sebep olan çevrimiçi dayanım azalmasında da olduğu görülmüştür. Betonarme yapıların histeretik davranışının modellenmesinde dayanım ve rijitlik azalması Pike-Yönelik çevrim tipinin dikkate alınması gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

Yapı stoğunun büyük bir kısmını oluşturan az ve orta katlı betonarme yapıların deprem güvenilirliğinin belirlenmesinde kullanılan performans yaklaşımında, elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin doğru tahmin edilmesi gerekmektedir. Elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin tahminine yönelik hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın temelde histeretik çevrim tipi bir şekilde dikkate alınmakta ve sonuçlar üzerinde etkili olmaktadır. Elastik ötesi yerdeğiştirme istemi yanında, çevrimsel yüklerden kaynaklanan negatif eğim dolayısıyla oluşacak dinamik instabilite ve bunun sonucu göçme potansiyelinin de tahmin edilmesi önemli bir husustur. Bu nedenle, bu çalışmada enerji esaslı dayanım-rijitlik azalmasını ve göçme potansiyelini dikkate alan Pike-Yönelik histeretik çevrim modeli kullanarak TSD sistemler için hem dinamik instabilite dolayısıyla göçme hem de elastik ötesi yerdeğiştirme istemleri elde edilmiştir. Ayrıca, dayanımı ve periyodu belirli

bir TSD sistemin göçme potansiyelinin ve elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin tahminine yönelik bağıntılar önerilmiştir. Özet olarak bu çalışmada TSD sistemlerin göçme potansiyelinin elde edilmesini sağılayan göçme periyodu T_{col} için bir bağıntı ve TSD sistemlerin elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin elde edilmesi için bir bağıntı olmak üzere iki ana parametre araştırılmıştır.

7.1 T_{col} İçin Elde Edilen Sonuçlar

Dayanım azaltma katsayısı $R_y = 1.5, 2, 3, 4, 5, 6$, akma-sonrası eğimi oranı %0, %3 ve %5 olmak üzere 0.1 ve 3 s arasında ($T = 0.1:0.02:0.2, 0.22:0.03:1, 1.1:0.1:3$) 53 adet doğıal titreşim periyodu, 160 adet yer hareketi kaydı ve 27 adet farklı azalma kombinasyonu için TSD sistemlerde 4121280 adet ZTADOH yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile dinamik instabilite dolayısıyla göçme araştırılmıştır ve göçme potansiyelini veren sınır bir periyot değeri elde edilmiştir. Bu sınır değeri T_{col} ile gösterilen *göçme periyodu* olarak isimlendirilmiştir. Bu çalışmada, farklı azalma hızı seviyeleri (γ) için R_y ve azalma parametreleri u_c/u_y ve α_c 'nin fonksiyonu olan T_{col} bağıntısı önerilmiştir. (4.1) bağıntısı ve analizler sonucu elde edilen değerler karşılaştırıldığında, bağıntının güvenilir değerler verdiğı görölmektedir. Belirli bir TSD sistemin periyodu, göçme periyodundan kısa ise o sistemde dinamik instabilite dolayısıyla göçme meydana gelecektir.

Göçme potansiyeli ve göçme periyodu için elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Daha önce yapılan çalışmalar ve bu çalışma göstermiştir ki küçük dayanım azaltma katsayılarında ($R_y = 1.5$ ve 2) yerel zemin sınıfının, azalma parametrelerinin ve akma-sonrası rijitliğinin göçme potansiyeli ve dolayısıyla T_{col} üzerinde önemli bir etkisi yoktur.
- Dayanım azaltma katsayısının yüksek değerleri için ($R_y = 3, 4, 5, 6$) T_{col} elde edilirken tüm azalma parametrelerinin ($\gamma, u_c/u_y, \alpha_c$) ve zemin sınıfının dikkate alınması gerekmektedir.
- $\alpha_s = \%0$ (elastoplastik) olan sistemler çoğıu zaman α_s 'nin büyük değerlerine göre daha büyük T_{col} elde etmemizi sağılamaktadır fakat bu fark ihmal edilebilir düzeydedir. Bu yüzden T_{col} elde edilirken yalnızca $\alpha_s = \%0$ değerini kullanmak yeterlidir.

- Dayanım azaltma katsayısı R_y arttıkça T_{col} artmaktadır.
- Tepe-sonrası rijitliği oranı α_c arttıkça T_{col} artmaktadır.
- Süneklik kapasitesi u_c/u_y arttıkça T_{col} azalmaktadır.
- γ arttıkça T_{col} azalmaktadır, fakat γ 'nın T_{col} üzerindeki etkisi α_c ve u_c/u_y kadar belirgin değildir. Tek başına γ parametresi fazla etkili olmasa bile unutulmamalıdır ki, azalma γ , α_c ve u_c/u_y 'nin kombinasyonudur ve birlikte etkisi değişmektedir. Bu nedenle T_{col} bağıntısı önerilirken denklem katsayıları γ 'nın her değeri için ayrı ayrı verilmiştir.
- Azalma kombinasyonlarının çoğunda, A, B ve C yerel zemin sınıfları için elde edilen T_{col} , tüm zemin sınıflarının ortalaması için elde edilen T_{col} 'den daha küçük olmaktadır. Öte yandan tüm azalma kombinasyonlarında, D zemin sınıfı için elde edilen T_{col} , tüm zemin sınıflarının ortalaması için elde edilen T_{col} 'den büyük olmaktadır.
- Sünek olmayan ($u_c/u_y = 2$) ve büyük tepe-sonrası eğimli ($\alpha_c = -0.21$) sistemlerde büyük dayanım azaltma katsayıları ($R_y = 5, 6$) için tüm periyot değerlerinde göçme gerçekleşmektedir.

7.2 C_R İçin Elde Edilen Sonuçlar

Dayanım azaltma katsayısı $R_y = 1.5, 2, 3, 4, 5, 6$, akma-sonrası eğimi oranı %0, %3 ve %5 olmak üzere 0.1 ve 3 s arasında ($T = 0.1:0.02:0.2, 0.22:0.03:1, 1.1:0.1:3$) 53 adet doğal titreşim periyodu, 160 adet yer hareketi kaydı için TSD sistemlerde ZTADOH yapılarak elastik ötesi yerdeğiştirme istemleri ve bu sayede elastik ötesi yerdeğiştirme sabiti C_R elde edilmiştir. ZTADOH için çevrimsel davranışta azalmasız ikili-doğrusal histeretik çevrim modeli ve enerji esaslı dayanım ve rijitlik azalmalı Pike-Yönelik histeretik çevrim modeli dikkate alınmıştır. Pike-Yönelik modelde dayanım ve rijitlik azalması 36 farklı azalma kombinasyonu ile hesaba katılmıştır. Tüm bu parametrelerin kombinasyonu ile 5647680 adet ZTADOH hesap yapılmıştır. Literatürde sıkça kullanılan ikili-doğrusal model için de C_R 'ler elde edilmiş ve azalmalı model için elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Azalmalı Pike-Yönelik model için elde edilen sonuçlar kullanılarak T , R_y , γ , α_c ve u_c/u_y 'nin fonksiyonu olan bir bağıntı önerilmiştir. (5.16) bağıntısı ve hesap ile elde edilen C_R 'ler

için saçılma grafikleri incelendiğinde bağıntının kabul edilebilir sınırlarda değerler verdiği görülmüştür.

Elastik ötesi yerdeğiştirme istemi ve C_R için elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

7.2.1 İkili-Doğrusal Çevrim Modeli İçin Sonuçlar

İkili-doğrusal çevrim modeli ile elde edilen C_R için aşağıdaki sonuçlar verilebilir:

- Eşit yerdeğiştirmenin geçerli olduğu periyot sınırı R_y ile değişmektedir. R_y arttıkça bu sınır periyot uzamaktadır. Aynı zamanda α_s de eşit yerdeğiştirmenin başladığı periyot değerini az da olsa etkilemektedir. α_s arttıkça eşit yerdeğiştirmenin başladığı sınır periyot kısalmaktadır.
- İkili-doğrusal çevrim modeli kullanılarak C_R elde edilirken zemin sınıfları dikkate alınmalıdır.
- Kısa periyot bölgelerinde zemin sınıfının C_R üzerinde dikkate değer bir etkisi vardır. Bilindiği gibi eşit yerdeğiştirme bölgesinde (uzun periyotlar) zemin sınıfının C_R üzerinde etkisi yoktur. A ve B zemin sınıfları için elde edilen C_R 'ler tüm zemin sınıflarının ortalaması için elde edilen C_R 'lerden küçüktür. C ve D zemin sınıfları için ise tüm zemin sınıfları için elde edilen C_R 'lerden daha büyük C_R 'ler elde edilmektedir.
- Tüm zemin sınıflarının ortalaması ile elde edilen C_R 'ler ile A ve B zemin sınıfları için elde edilen C_R 'ler arasındaki fark, C ve D zemin sınıfı için elde edilen C_R 'ler arasındaki farktan daha fazladır.
- Akma-sonrası eğimi arttıkça özellikle A ve B olmak üzere zemin sınıflarının C_R üzerindeki etkisi artmaktadır.
- Kısa periyot bölgesinde, elastoplastik sistemler ($\alpha_s = \%0$) R_y 'nin 3 ve üzeri değerleri için genel olarak daha küçük C_R değerleri vermektedir. Bununla beraber, $R_y = 1.5$ ve 2 değerleri için kısa periyot bölgesinde elastoplastik sistem daha büyük C_R değerleri vermektedir.
- Kısa periyot bölgesinde akma sonrası eğiminin dikkate alınması güvenli tarafta sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

7.2.2 Azalmalı Pike-Yönelik Model İçin Sonuçlar

- Akma sonrası eğiminin C_R üzerine etkisi incelendiğinde $\alpha_s = \%0$, yani elastoplastik davranışı dikkate almak yeterli yaklaşıklıkta sonuçlar verecektir. Genel eğilime bakıldığında $\alpha_s = \%0$ için elde edilen C_R 'ler, $\alpha_s = \%3$ ve $\%5$ için elde edilen C_R 'lerden daha büyük olmaktadır. Bu fark R_y 'nin küçük değerleri için daha fazla olmaktadır.
- Genel olarak A, B ve C zemin sınıfları için bulunan C_R sabitleri, tüm zemin sınıflarının ortalaması ile bulunan C_R sabitlerinden küçüktür. Kısa periyotlarda ve R_y 'nin küçük değerleri için bu fark daha fazla olmaktadır. Fakat sözü edilen küçüklük genel olarak söylenebilecek bir kavramdır zira farklı azalma kombinasyonlarında tam tersi eğilim de söz konusu olabilmektedir.
- D zemin sınıfı için elde edilen C_R sabitleri, tüm zemin sınıflarının ortalaması ile elde edilen C_R sabitlerinden büyüktür.
- Azalmalı Pike-Yönelik çevrim kabulü ile elde edilen C_R sabitleri ikili-doğrusal model ile elde edilenlere göre çoğu zaman büyüktür. Azalmalı Pike –Yönelik çevrimsel davranışın betonarme bir yapının çevrimsel yükler altındaki histeretik davranışına daha yakın olduğu gözönüne alındığında, C_R elde edilirken azalmalı Pike-Yönelik model yerine ikili-doğrusal model kullanmak güvensiz tarafta sonuçlar elde edilmesine neden olabilecektir.
- Bu çalışmada, azalmalı Pike-Yönelik histeretik model dikkate alınarak C_R için bir bağıntı önerilmiştir ve yapılan karşılaştırmalar göstermiştir ki, önerilen bağıntı pratik mühendislik amaçları için yeterli yaklaşıklıkta sonuçlar vermektedir.
- C_R için bu çalışmada önerilen bağıntı, göçme periyodundan uzun periyotlu ($T > T_{col}$) sistemler için geçerlidir. $T < T_{col}$ olduğunda dinamik instabilite dolayısıyla göçme gerçekleşeceğinden, herhangi bir yerdeğiştirme isteminden söz etmek mümkün değildir.
- Tepe-sonrası rijitliği oranı α_c arttıkça C_R azalmaktadır.
- Süneklik kapasitesi u_c/u_y arttıkça C_R azalmaktadır.

- γ arttıkça C_R azalmaktadır, fakat γ 'nın C_R üzerindeki etkisi α_c ve u_c/u_y kadar belirgin değildir.
- Tek başına γ parametresi fazla etkili olmasa bile unutulmamalıdır ki, azalma γ , α_c ve u_c/u_y 'nin kombinasyonudur ve birlikte etkisi değişmektedir. Bu nedenle C_R bağıntısı önerilirken 3 azalma parametresi de dikkate alınmıştır.
- Azalmalı Pike-Yönelik histeretik model dikkate alınarak ZTADOH ile elde edilen C_R sabitleri ve literatürde önerilen bağıntılar karşılaştırıldığında, literatürde önerilen bağıntılar ile elde edilen C_R sabitleri özellikle R_y 'nin küçük değerleri için güvensiz tarafta sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada önerilen bağıntı, ZTADOH ile elde edilen C_R sabitleri ile yakın sonuçlar verdiği için, önerilen bağıntıyı kullanmak gerçek davranışa yakın sonuçlar elde etmek açısından daha kullanışlı olacaktır. Bununla beraber diğer çalışmalarla bu çalışmada kullanılan bağıntının farklı yer hareketleri kullanılarak elde edildiği ve bunun da sonuçlarda bu çalışmanın lehine etkili olduğu unutulmamalıdır.

7.3 Öneriler

Bu çalışma betonarme TSD sistemler dikkate alınarak yapılmıştır ve bulunan sonuçlar TSD sistemler için geçerlidir. Enerji esaslı dayanım ve rijitlik azalması ile göçme potansiyelini içeren pike-yönelik çevrim davranışı referans kabul edilerek, bu çalışmada araştırılan parametreler ÇSD sistemler için de araştırılarak, önerilen bağıntılar geliştirilebilir.

Ayrıca, özellikle periyot uzadıkça etkili olan $P-\Delta$ etkisi de yine dikkate alınan modele eklenerek, göçme potansiyeli ve elastik ötesi yerdeğiştirme isteminin araştırılması da önerilen yöntem ve bağıntıların geliştirilmesinde faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] ATC 40, (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC, California.
- [2] FEMA 356, (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA, Washington DC.
- [3] DBYBHY 2007, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [4] Negro, P. (1997). "Experimental Assessment of the Global Cyclic Damage of Framed R/C Structures", Journal of Earthquake Engineering, 1(3): 543–562.
- [5] Ibarra, L.F., Medina, R.A. ve Krawinkler, H., "Hysteretic models that incorporate strength and stiffness deterioration", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 34(12):1489–1511.
- [6] Lignos, D., (2008). Sidesway Collapse of Deteriorating Structural Systems Under Seismic Excitations, Doktora Tezi, Stanford University, Department of Civil and Environmental Engineering, .
- [7] Braz-Cesar, M.T., Oliveira, D., ve Barros, R.C., (2008). "Comparison of Cyclic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames With Experimental Results", The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 12-17 October 2008, Beijing.
- [8] Bernal, D., (1992). "Instability of buildings subjected to earthquakes", Journal of Structural Engineering, 118(8):2239–2260.
- [9] Bernal, D., (1998). "Instability of buildings during seismic response", Engineering Structures, 20:496–502.
- [10] Vamvatsikos, D. ve Cornell, C.A., (2002). "Incremental dynamic analysis", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31(3):491–514.
- [11] Miranda, E. ve Akkar, S.D., (2003). "Dynamic Instability of Simple Structural Systems", Journal of Structural Engineering, 129(12):1722–1726.
- [12] Chopra, A.K., (2001). Dynamics of Structures, Prentice-Hall, New Jersey

- [13] Katsanos, E.I., Sextos, A.G., ve Manolis, G.D., (2010). "Selection of earthquake ground motion records: A state-of-the-art review from a structural engineering perspective", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(4):157–169.
- [14] Bommer, J.J. ve Acevedo, A.B., (2004). "The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis", *Journal of Earthquake Engineering*, 8(SI1):43-91.
- [15] Stewart, J.P., Chiou, S.J., Bray, J.D., Graves, R.W., Somerville, P.G. ve Abrahamson, N.A., (2001). "Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design", Report No: PEER 2001/9, Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- [16] PEER, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, <http://peer.berkeley.edu/>, 05 Mayıs 2010
- [17] USGS, U.S. Geological Survey, <http://www.usgs.gov/> 04 Mayıs 2010
- [18] Kalyoncuoğlu, Ü.Y., Özer, M.F., Arı, B. ve Altuncu, S., (2005). "Yeraltı yapısı etkisi ve depreme dayanıklı yapılaşma", *Deprem Sempozyumu*, 23-25 Mart 2005, Kocaeli.
- [19] Ambraseys, N.N., ve Douglas, J., (2000). "Reappraisal of the effect of vertical ground motions on response", Report No: ESEE 00-4, Engineering Seismology and Earthquake Engineering.
- [20] Erberik, M.A., (2011). "Importance of Degrading Behavior for Seismic Performance Evaluation of Simple Structural Systems", *Journal of Earthquake Engineering*, 15(1):32–49.
- [21] FEMA 440, (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*, FEMA, Washington DC.
- [22] Otani, S., (1981). "Hysteresis Models of Reinforced Concrete for Earthquake Response Analysis", *Journal of Faculty of Engineering University of Tokyo*, 36(2):407-441.
- [23] Clough, R.W. ve Johnston, S., (1966). "Effect of Stiffness Degradation on Earthquake Ductility Requirements", *Proceedings of the 2nd Japan National Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo.
- [24] Hisada, T., Nakagawa, K., ve Izumi M., (1962). "Earthquake Response of Structures Having Various Restoring Force", *Proceedings of Japan National Symposium on Earthquake Engineering*, November, 1962, Tokyo.
- [25] Mahin, S.A. ve Bertero, V.V., (1975). "An evaluation of some methods for predicting seismic behavior of reinforced concrete buildings", Report No: EERC 75/05, Earthquake Engineering Research Center, University of California.
- [26] H. Sucuoglu, H., ve Erberik, A., (2004). "Energy-based hysteresis and damage models for deteriorating systems", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 33(1):69-88.
- [27] Takeda, T., Sozen, M.A. ve Nielsen, N.N., (1970). "Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes", *Journal of Structural Division*, 96(ST12):2557-2573.

- [28] Carr, A.J., (2003). A Program for Inelastic Dynamic Analysis, Ruaumoko Program Manuel.
- [29] Kukreti, A.R. ve Abolmaali, A.S., (1999). "Moment-Rotation Hysteresis Behavior of Top and Seat Angle Steel Frame Connections", Journal of Structural Engineering, 125(8):810-820.
- [30] Kunnath, S.K., Reinhorn, A.M. ve Park, Y.J., (1990). "Analytical Modeling of Inelastic Seismic Response of R/C Structures", Journal of Structural Engineering, 116(4):996-1017.
- [31] Takizawa, H. ve Jennings, P., (1980). "Collapse of a Model for Ductile Reinforced Concrete Frames under Extreme Earthquake Motions", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 8:117-144.
- [32] IDARC 2D, A Program for Seismic Inelastic Structural Analysis.
- [33] Bouc, R., (1967). "Forced vibration of mechanical systems with hysteresis", Proceedings of the 4th Conference on Nonlinear Oscillation, Prague.
- [34] Wen, Y.K., (1980). "Equivalent linearization for hysteretic systems under random excitation", Journal of Applied Mechanics, 47:150-154.
- [35] Baber, T. and Noori, M.N., (1985). "Random vibration of degrading, pinching systems", Journal of Engineering Mechanics, 111(8):1010-1026.
- [36] Casciati, F., (1989). "Stochastic dynamics of hysteretic media", Structural Safety, 6:259-269.
- [37] Reinhorn, A.M., Madan, A., Valles, R.E., Reichmann, Y. ve Mander, J.B., (1995). "Modeling of masonry infill panels for structural analysis", Report No: NCEER-95-0018, State University of NewYork at Buffalo.
- [38] Sivaselvan, M. ve Reinhorn, A.M., (2000). "Hysteretic models for deteriorating inelastic structures", Journal of Engineering Mechanics, 126(6):633-640.
- [39] Gioncu, V. ve Petcu, D., (1997). "Available rotation capacity of wide-flange beams and beam-columns: part 1. Theoretical approaches", Journal of Constructional Steel Research, 43(1-3):161-217.
- [40] Anastasiadis, A., Gioncu, V. ve Mazzolanni, F.M., (2000). "New trends in the evaluation of available ductility of steel members", Journal of Constructional Steel Research, 55(1-3):211-227.
- [41] Möller, M., Johansson, B. ve Collin, P. (1997), "A new analytical model of inelastic local flange buckling", Journal of Constructional Steel Research, 23(1-3):43-63.
- [42] Lee, K. ve Stojadinovic, B., (2004). "Low-cycle fatigue limit on seismic rotation capacity for US Steel moment connections", Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering, 1-6 August 2004, Vancouver.
- [43] Pincheira, J. A., Dotiwala, F.S. ve D'Souza, J.T., (1999). "Seismic analysis of older reinforced concrete columns", Earthquake Spectra, 15(2):245-272.
- [44] Baber, T. ve Wen, Y.-K., (1981). "Random vibration of hysteretic degrading systems", Journal of Engineering Mechanics, 107(EM6):1069-1089.

- [45] Baber, T. and Noori, M.N., (1986). "Modeling general hysteresis behavior and random vibration application", *Journal of Vibration, Acoustics, Stress and Reliability in Design*, 108:411–420.
- [46] Foliente, G. (1995) "Hysteresis modeling of wood joints and structural systems", *Journal of Structural Engineering*, 121(6):1013–1022.
- [47] Rahn timer, M., (1993). "Effect of Soft Soil and Hysteresis Model on Seismic Demands", *Doktora Tezi*, Stanford University, Stanford.
- [48] Chenouda, M., (2008). "Performance Based Design of Degrading Structures", *Doktora Tezi*, University of South Florida, Florida.
- [49] Chenouda, M. ve Ayoub, A., (2008). "Inelastic Displacement Ratios of Degrading Systems", *Journal of Structural Engineering*, 134(6):1030–1045.
- [50] Ibarra, L.F. ve Krawinkler, H., (2005). "Global Collapse of Frame Structures Under Seismic Excitations", *Report No: 125*, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford.
- [51] Ibarra, L.F., (2002). *SNAP Program User Guide*.
- [52] Krawinkler H., (2000). "Development of a Testing Protocol for Wood Frame Structures", *Stanford University*, Stanford.
- [53] Haselton, C.B. ve Deierlein, G.G., (2007). "Assessing seismic collapse safety of modern reinforced concrete moment frame buildings", *Report No: TR 156*, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford.
- [54] Ibarra, L.F. ve Krawinkler, H., (2005). "Effects of Uncertainty in System Deterioration Parameters on the Variance of Collapse Capacity", *9th International Conference on Structural Safety and Reliability*, 19-23 June 2005, Rome.
- [55] Liu, Y., Xu, L. ve Grierson, D.E., (2003). "Performance of buildings under abnormal loading", *Proceedings of the Response of Structures to Extreme Loading Conference*, 3-6 August 2003, Toronto.
- [56] Kaewkulchai, G. ve Williamson, E.B., (2003) "Progressive collapse behavior of planar frame structures", *Proceedings of the Response of Structures to Extreme Loading Conference*, 3-6 August 2003, Toronto.
- [57] Vian, D. ve Bruneau, M., (2001). "Experimental investigation of P-Delta effects to collapse during earthquakes", *Report No: MCEER-01-0001*, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, University at Buffalo.
- [58] Kanvinde, A.M., (2003). "Methods to evaluate the dynamic stability of structures-shake table tests and nonlinear dynamic analyses", *Proceedings of EERI Meeting*, Portland.
- [59] OpenSees, *The Open System for Earthquake Engineering Simulation*, Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- [60] Elwood, K.J., (2002). "Shake table tests and analytical studies on the gravity load collapse of reinforced concrete frames", *Doktora Tezi*, University of California, Department of Civil and Environmental Engineering, Berkeley.

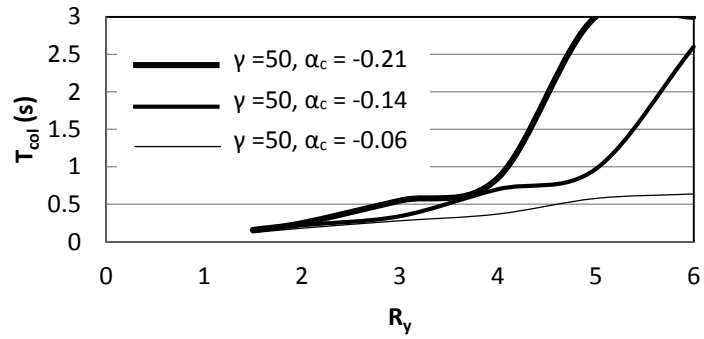
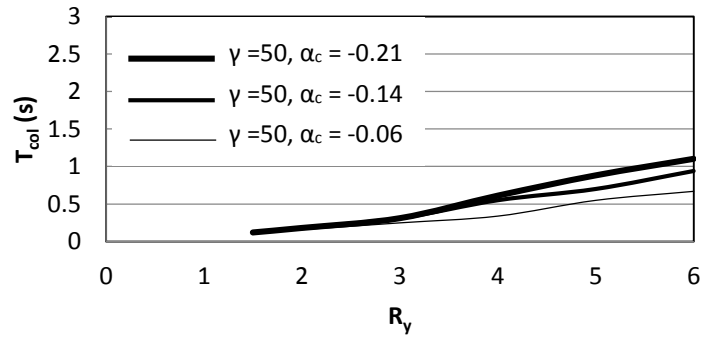
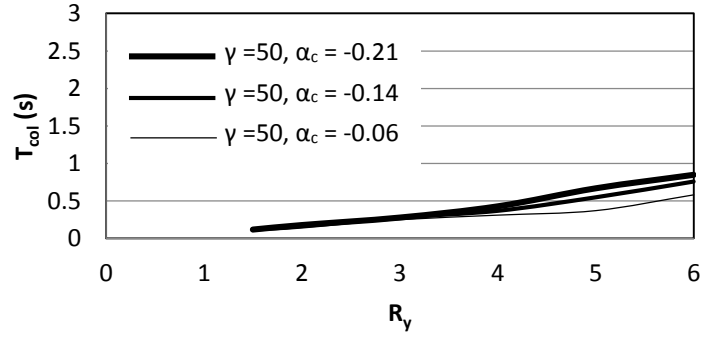
- [61] Rodgers, J.E. ve Mahin, S.A., (2006). "Effects of Connection Fractures on Global Behavior of Steel Moment Frames Subjected to Earthquakes", *Journal of Structural Engineering*, 132(1):78-88.
- [62] Jennings, P. ve Husid, R., (1968). "Collapse of yielding structures during earthquakes", *Journal of Engineering Mechanics Division*, 94(EM5):1045-1065.
- [63] Sun, C.K., Berg, G.V. ve Hanson, R.D., (1973). "Gravity effect on single-degree inelastic system", *Journal of Engineering Mechanics Division*, 99(1):183-200.
- [64] Bernal, D., (1987). "Amplification factors for inelastic dynamic P-Delta effects in earthquake analysis", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 15(5):635-651.
- [65] MacRae, G.A., (1994). "P- δ effects on single-degree-of-freedom structures in earthquakes", *Earthquake Spectra*, 10(3):539-568.
- [66] Araki, Y. ve Hjelmstad, K.D., (2000). "Criteria for assessing dynamic collapse of elastoplastic structural systems", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29(8):1177-1198.
- [67] Medina, R.A., (2002). "Seismic demands for nondeteriorating frame structures and their dependence on ground motions", Doktora Tezi, Stanford University, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford.
- [68] FEMA 350, (2000). Recommended Seismic Design Criteris for New Steel Moment-Frame Buildings, FEMA, Whashington DC.
- [69] Villaverde, R., (2007). "Methods to Assess the Seismic Collapse Capacity of Building Structures: State of the Art", *Journal of Structural Engineering*, 133(1):57-66.
- [70] Lee, K., ve Foutch, D.A., (2000). "Performance prediction and evaluation of steel special moment frames for seismic loads", SAC Background Document SAC/BD-00/25, SAC, Joint Venture, Richmond, California.
- [71] Adam, C., Ibarra, L. F. ve Krawinkler, H., (2004), "Evaluation of P-delta effects in nondeteriorating MDOF structures from equivalent SDOF systems", *Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering*, August 2004, Vancouver.
- [72] Wei, B., Xu, Y. ve Li, J., (2012). "P- Δ Effects in Displacement-Based Seismic Design for SDOF Systems", *Journal of Bridge Engineering*, 17(3):509-518.
- [73] Takizawa, H., ve Jennings, P., (1980). "Collapse of a model for ductile reinforced concrete frames under extreme earthquake motions", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 8:117-144.
- [74] Bernal, D., Nasser, A., ve Bulut, Y., (2006). "Instability inducing potential of near fault ground motions", *SMIP 06 Seminar Proceedings*.
- [75] M. Aschheim, M. ve E. Black, E., (1999). "Effects of Prior Earthquake Damage on Response of Simple Stiffness-Degrading Structures", *Earthquake Spectra*, 15(1):1-24.

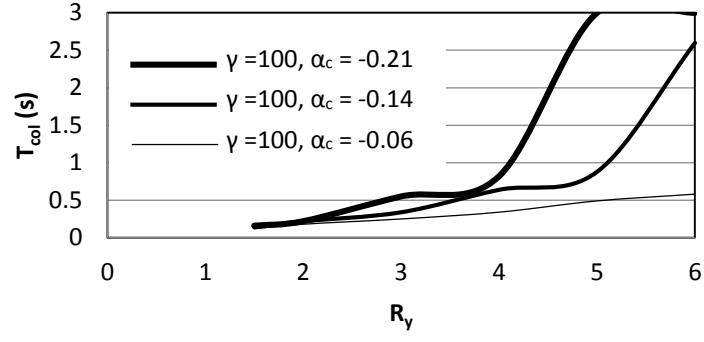
- [76] Jalayer, F., (2003). "Direct probabilistic seismic analysis: Implementing non-linear dynamic assessments", Doktora Tezi, Stanford University, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford.
- [77] Williamson, E.B., (2003). "Evaluation of Damage and P-Delta Effects for Systems under earthquake excitation," Journal of Structural Engineering, 120(8):1036–1046.
- [78] Mehanny, S.S.F. ve Deierlein, G.G., (2000), "Modeling of assessment of seismic performance of composite frames with reinforced concrete columns and steel beams", Report No: 135, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford.
- [79] Mehanny, S.S.F. ve Deierlein, G.G., (2001), "Seismic damage and collapse assessment of composite moment frames", Journal of Structural Engineering, 127(9):1045–1053.
- [80] Zareian, F., (2006). "Simplified performance-based earthquake engineering", Doktora Tezi, Stanford University, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford.
- [81] Zareian, F. ve Krawinkler, H., (2007). "Assessment of probability of collapse and design for collapse safety", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 36(13):1901–1914.
- [82] Haselton, C.B. ve Deierlein, G.G., (2006). "Toward the Codification of Modeling Provisions for Simulating Structural Collapse", 8th National Conference on Earthquake Engineering (100th Anniversary Earthquake Conference), 18-22 April 2006, San Francisco, California.
- [83] Liel, A.B., Haselton, C.B., Deierlein, G.G. ve Baker, J.W., (2009). "Incorporating modeling uncertainties in the assessment of seismic collapse risk of buildings", Structural Safety, 31(2):197–211.
- [84] Riahi, H.T., Amouzegar, H. ve Falsafioun, M., (2014). "Seismic collapse assessment of reinforced concrete moment frames using endurance time analysis", Structural Design of Tall and Special Buildings, 24(4):300-315.
- [85] Haselton, C.B., Goulet, C.A., Mitrani-Reiser, J., Beck, J.L., Deierlein, G.G., Porter, K.A., Stewart, J.P. ve Taciroglu, E., (2007). "Assessment to Benchmark the Seismic Performance of a Code-Conforming Reinforced-Concrete Moment-Frame Building", Report No: PEER 2007-01, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley.
- [86] ASCE 7-05, (2005) Minimum Design Load for buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers.
- [87] Curt, B., Haselton, M., Abbie, B., Liel, M., Gregory, G., Deierlein, F., Dean, B.S. ve Chou, J.H., (2011). "Seismic Collapse Safety of Reinforced Concrete Buildings. I: Assessment of Ductile Moment Frames", Journal of Structural Engineering, 137(4):481–491.
- [88] ACI 318, (2008). Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI, Michigan.

- [89] Villaverde, R., (2007). "Methods to Assess the Seismic Collapse Capacity of Building Structures: State of the Art", *Journal of Structural Engineering*, 133(1):57–66.
- [90] Griffith M.C., Kawano, A. ve Warner, R.F., (2002). "Towards a direct collapse-load method of design for concrete frames subjected to severe ground motions", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31(10):1879–1888.
- [91] Ayoub, A. ve Chenouda, M., (2009). "Response spectra of degrading structural systems", *Engineering Structures*, 31(7):1393–1402.
- [92] Adam, C. ve Jäger, C., (2012). "Simplified collapse capacity assessment of earthquake excited regular frame structures vulnerable to P-delta", *Engineering Structures*, 44:159–173.
- [93] Freeman, S.A., (1978). "Prediction of Response of Concrete Buildings to Severe Earthquake Motion", *ACI Publication SP-55*:589–605.
- [94] Seneviratna, G.D.P.K. ve Krawinkler, H., (1997). "Evaluation of Inelastic MDOF Effects for Seismic Design", Report No: 120, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford.
- [95] FEMA P440A, (2009). *Effects of Stiffness and Strength Degradation on Seismic Response*, FEMA, Washington DC.
- [96] Veletsos, A.S. ve Newmark, N.M., (1960). "Effect of inelastic behavior on the response of simple systems to earthquake motions", *Proceedings, 2nd World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo.
- [97] Newmark, N.M. ve Hall, W.J., (1982). *Earthquake spectra and design*, EERI, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [98] Shimazaki, K. ve Sozen, M.A., (1984), "Seismic drift of reinforced concrete structures", *Research Report*, Hazama-Gumi Ltd., Tokyo.
- [99] Qi, X. ve Moehle, J.P., (1991). "Displacement design approach for reinforced concrete structures subjected to earthquakes", Report No: UCD/EERC 91/02 EERC Berkeley.
- [100] Miranda, E., (1991). "Seismic evaluation and upgrading of existing structures", *Doktora Tezi*, University of California at Berkeley.
- [101] Miranda, E. (1993). "Evaluation of site-dependent inelastic seismic design spectra", *Journal of Structural Engineering*, 119(5):1319–1338.
- [102] Miranda, E. (2001). "Estimation of Inelastic Deformation Demands of SDOF Systems", *Journal of Structural Engineering*, 127(9):1005–1012.
- [103] Miranda, E. ve Ruiz-Garcia, J., (2002). "Evaluation of Approximate Methods to Estimate Maximum Inelastic Displacement Demands", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31(3):539–560.
- [104] Miranda, E. ve Ruiz-Garcia, J., (2002). "Influence of stiffness degradation on strength demands of structures built on soft soil sites", *Engineering Structures*, 24(10):1271–1281.

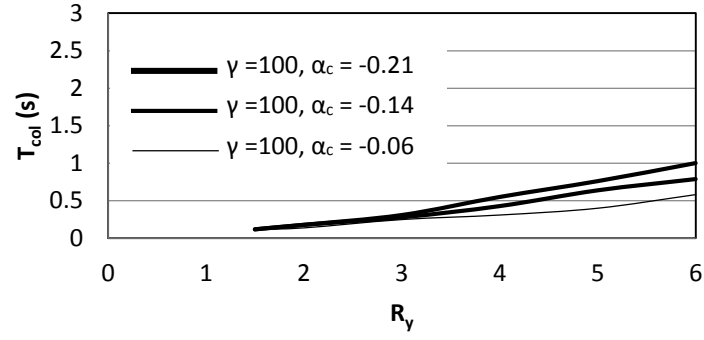
- [105] Ruiz-García, J. ve Miranda, E., (2004). "Inelastic Displacement Ratios for Design of Structures on Soft Soils Sites", *Journal of Structural Engineering*, 130(12):2051–2061.
- [106] Miranda, E., (1993). "Evaluation of seismic design criteria for highway bridges", *Earthquake Spectra*, 9(2):233–250.
- [107] Miranda, E., (2000). "Inelastic displacement ratios for structures on firm sites", *Journal of Structural Engineering*, 126(10):1150–1159.
- [108] Nassar, A.A. ve Krawinkler, H., (1991). "Seismic Demands for SDOF and MDOF Systems", Report No: 95, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford.
- [109] Rahnema, M. ve Krawinkler, H., (1993). "Effects of Soft Soil and Hysteresis Model on Seismic Demands," Report No: 108, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford.
- [110] Vidic, T., Fajfar, P. ve Fishinger, M., (1994). "Consistent inelastic design spectra: strength and displacement", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 23:507-528.
- [111] Gupta, B., ve Kunnath, S.K., (1998). "Effect of Hysteretic Model Parameters on Inelastic Seismic Demands", *Proceedings, 6th National Conference on Earthquake Engineering*, May 31- June 4 1998, Seattle.
- [112] Song, J.K. ve Pincheira, J.A., (2000). "Spectral displacement demands of stiffness- and strength-degrading systems", *Earthquake Spectra*, 16(4):817–851.
- [113] Aydinoglu, M.N. ve Kaçmaz, U., (2002). "Strength-Based Displacement Amplification Spectra For Inelastic Seismic Performance Evaluation", Report No: 2002/2, KOERI, Bogazici University, Istanbul.
- [114] A. K. Chopra, A.K. ve C. Chintanapakdee, C., (2004). "Inelastic Deformation Ratios for Design and Evaluation of Structures: Single-Degree-of-Freedom Bilinear Systems", *Journal of Structural Engineering*, 130(9):1309–1319.
- [115] Pekoz, H.A. ve Pincheira, J.A., (2004). "Seismic Response of Strength and Stiffness Degrading Single Degree of Freedom Systems", *Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering*, 1-6 August 2004, Vancouver.
- [116] Lumantarna, E., Lam, N., Wilson, J. ve Griffith, M., (2010). "Inelastic Displacement Demand of Strength-Degraded Structures", *Journal of Earthquake Engineering*, 14(4):487–511.
- [117] 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.
- [118] Aydemir, M.E., (2013). "Inelastic displacement ratios for evaluation of stiffness degrading structures with soil structure interaction built on soft soil sites", *Structural Engineering and Mechanics*, 45(6):741–758.
- [119] Chintanapakdee, C. ve Jaiyong, A., (2012). "Estimation of Peak Roof Displacement of Degrading Structures", *15th World Conference on Earthquake Engineering*, 24-28 September 2012, Lisboa.

- [120] MATLAB, (2010). The Language of Technical Computing, MathWorks,
www.mathworks.com
- [121] STATISTICA, (2001). Data Analysis Software System, StatSoft Inc.,
www.statsoft.com

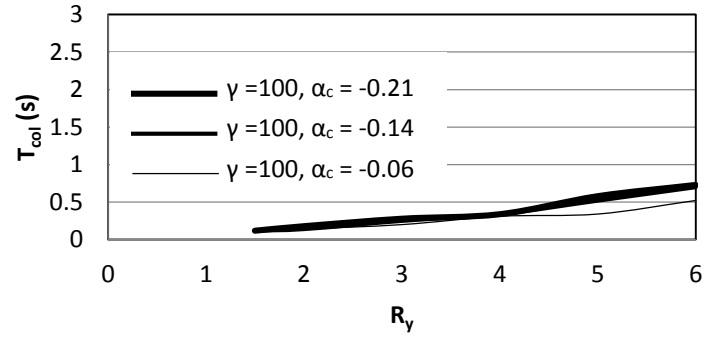
HER ZEMİN SINIFI İÇİN T_{col} GRAFİKLERİa) $\gamma = 50, u_c/u_y = 2$ b) $\gamma = 50, u_c/u_y = 4$ c) $\gamma = 50, u_c/u_y = 6$ Şekil A.1 A zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri



d) $\gamma = 100, u_c/u_y = 2$

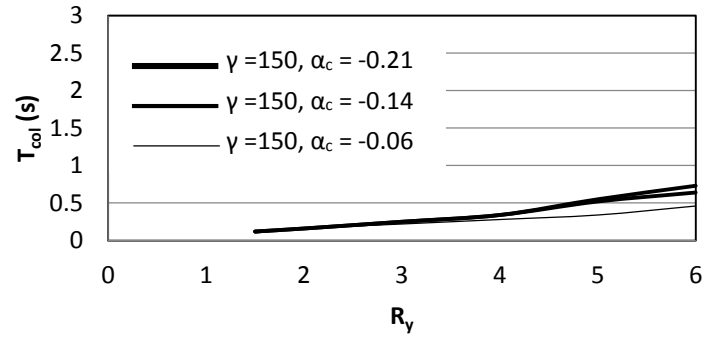
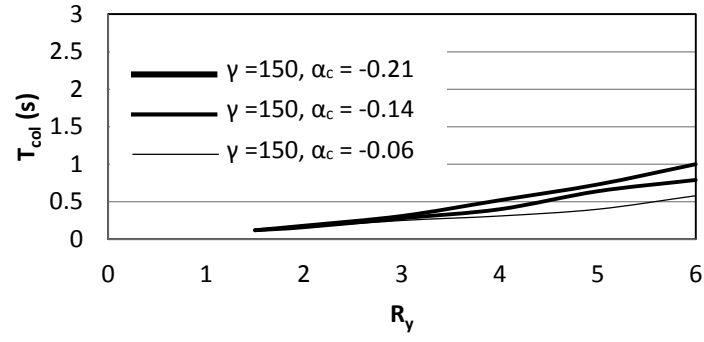
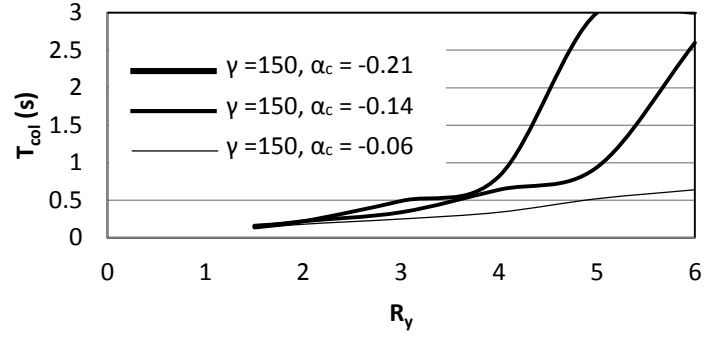


e) $\gamma = 100, u_c/u_y = 4$

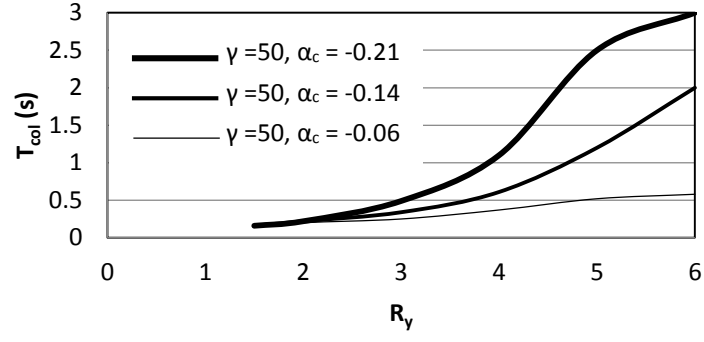


f) $\gamma = 100, u_c/u_y = 6$

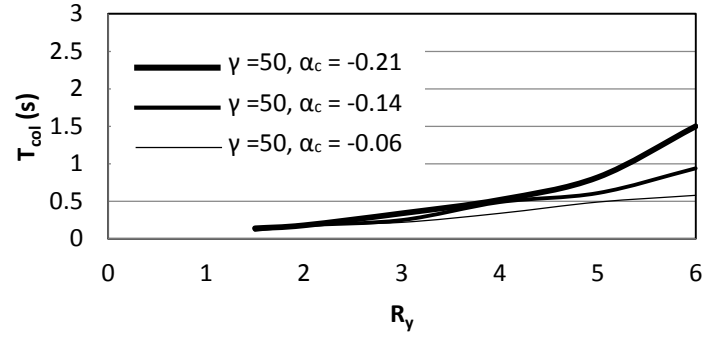
Şekil A.1 A zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri (devam...)



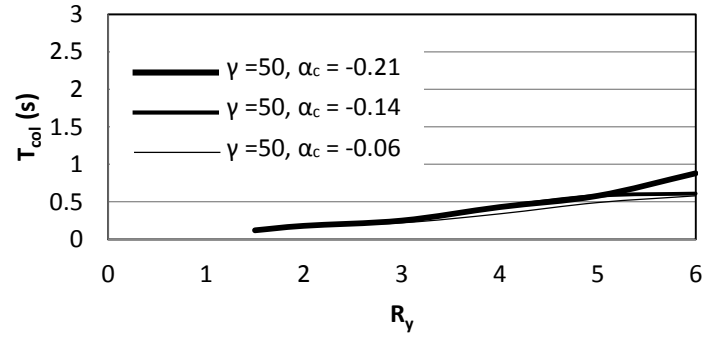
Şekil A.1 A zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri (devam...)



a) $\gamma = 50, u_c/u_y = 2$

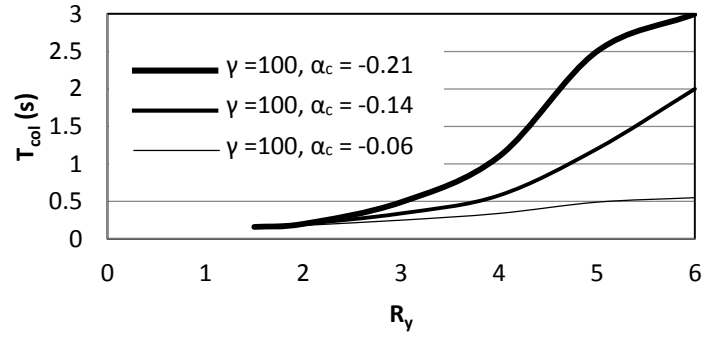


b) $\gamma = 50, u_c/u_y = 4$

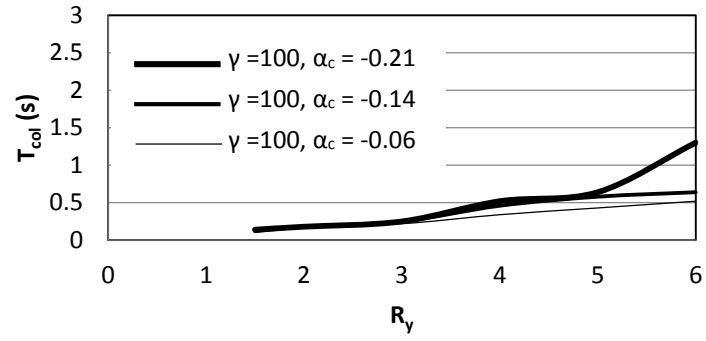


c) $\gamma = 50, u_c/u_y = 6$

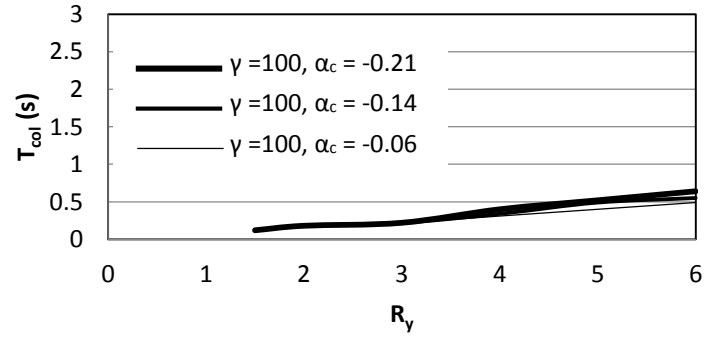
Şekil A.2 B zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri



d) $\gamma = 100, u_c/u_y = 2$

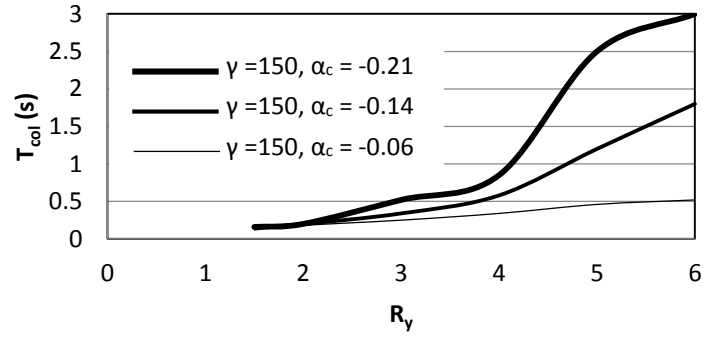


e) $\gamma = 100, u_c/u_y = 4$

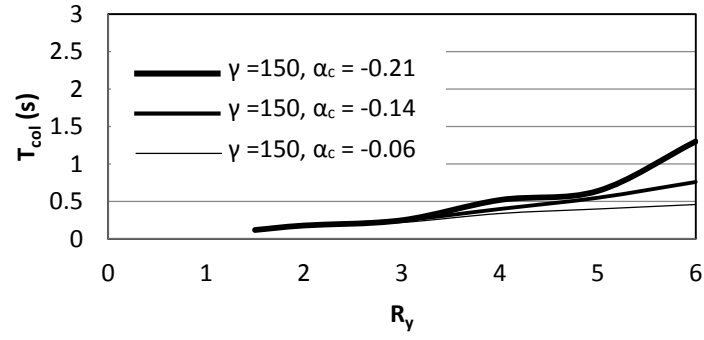


f) $\gamma = 100, u_c/u_y = 6$

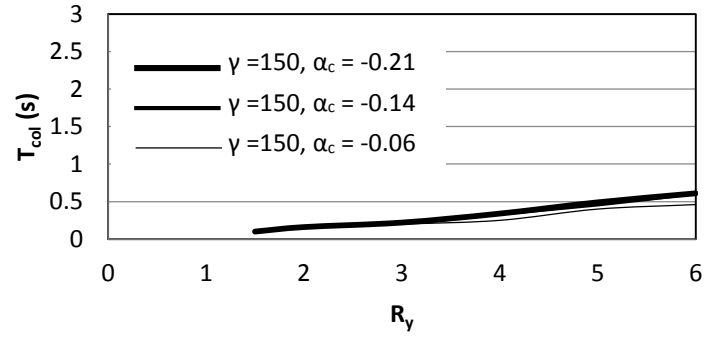
Şekil A.2 B zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri (devam...)



g) $\gamma = 150, u_c/u_y = 2$

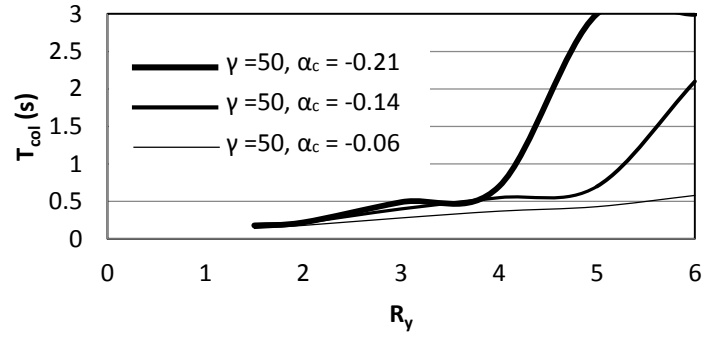


h) $\gamma = 150, u_c/u_y = 4$

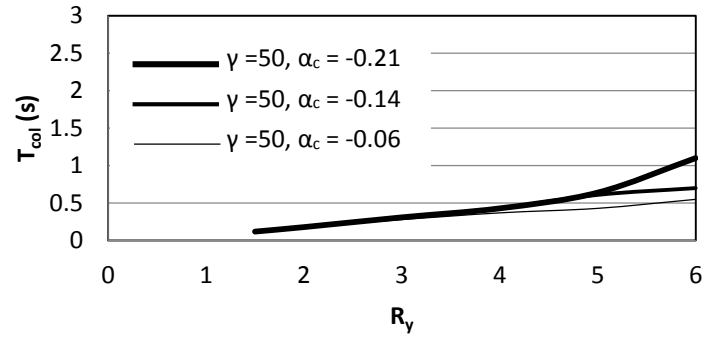


i) $\gamma = 150, u_c/u_y = 6$

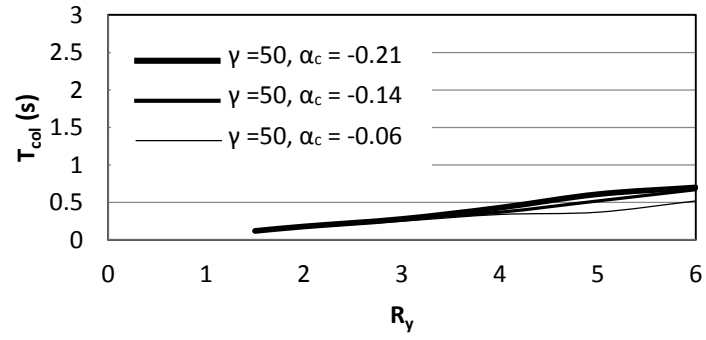
Şekil A.2 B zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri (devam...)



a) $\gamma = 50, u_c/u_y = 2$

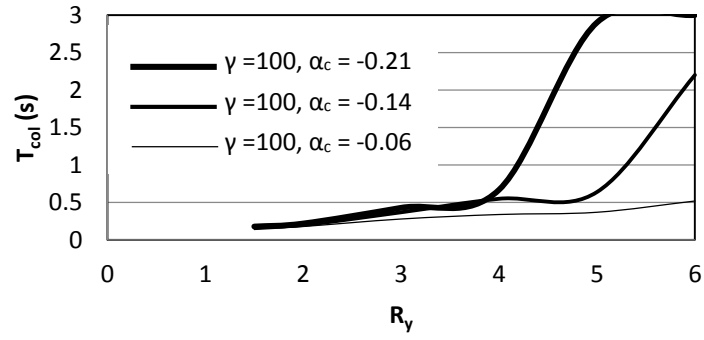


b) $\gamma = 50, u_c/u_y = 4$

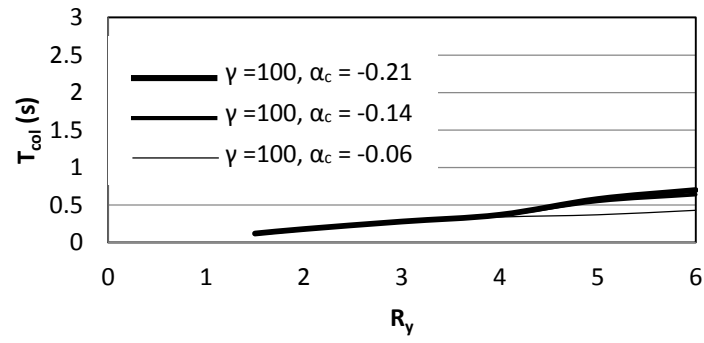


c) $\gamma = 50, u_c/u_y = 6$

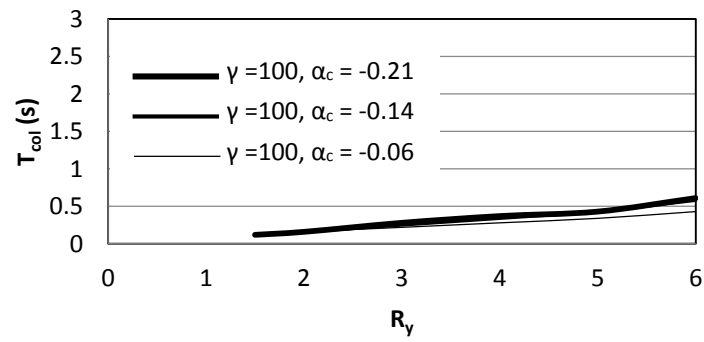
Şekil A.3 C zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri



d) $\gamma = 100, u_c/u_y = 2$

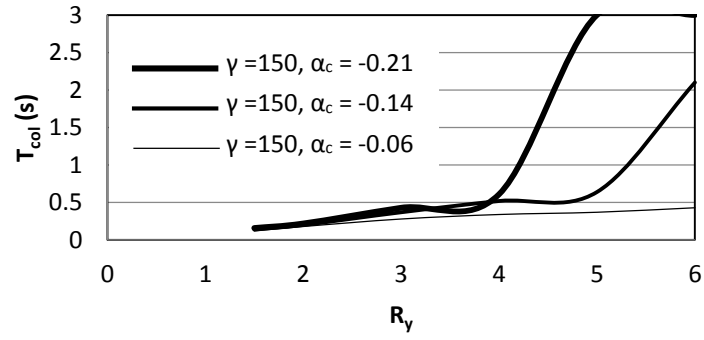


e) $\gamma = 100, u_c/u_y = 4$

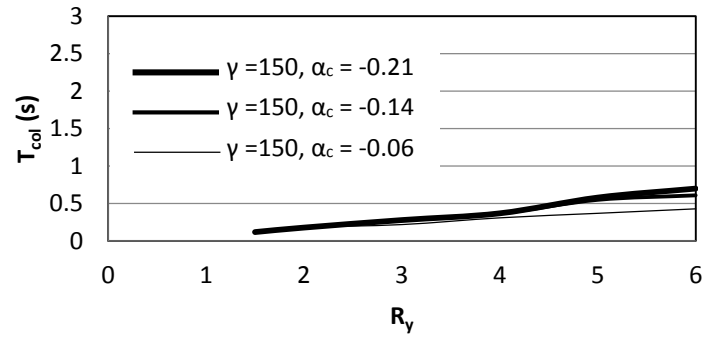


f) $\gamma = 100, u_c/u_y = 6$

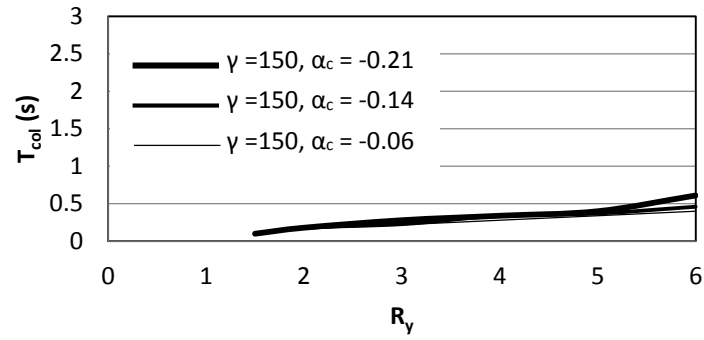
Şekil A.3 C zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri (devam...)



g) $\gamma = 150, u_c/u_y = 2$

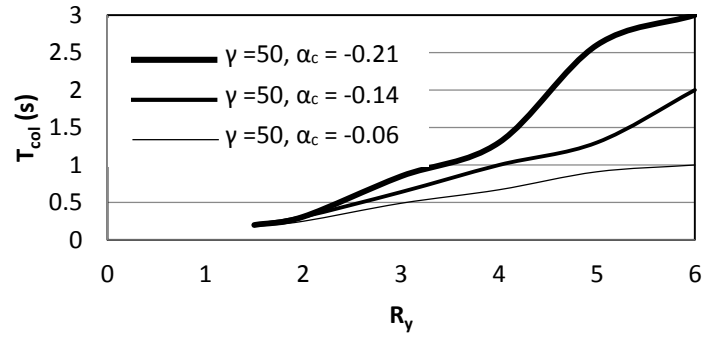


h) $\gamma = 150, u_c/u_y = 4$

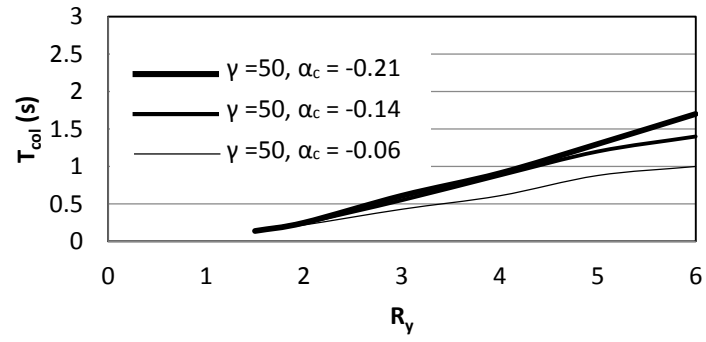


i) $\gamma = 150, u_c/u_y = 6$

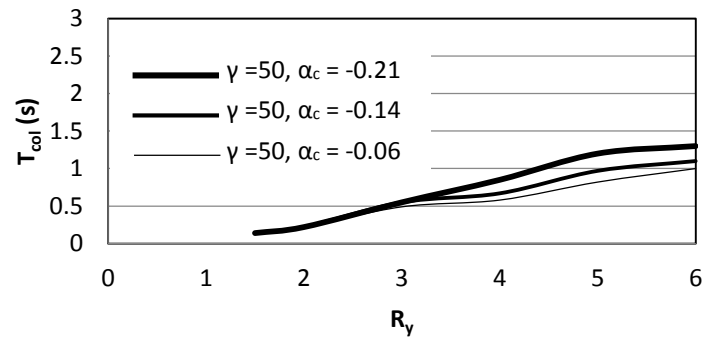
Şekil A.3 C zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri (devam...)



a) $\gamma = 50, u_c/u_y = 2$

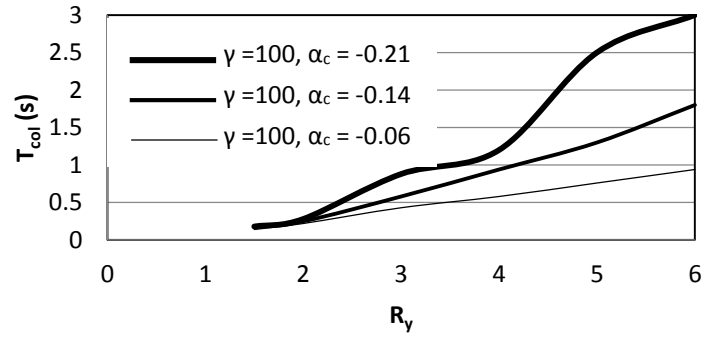


b) $\gamma = 50, u_c/u_y = 4$

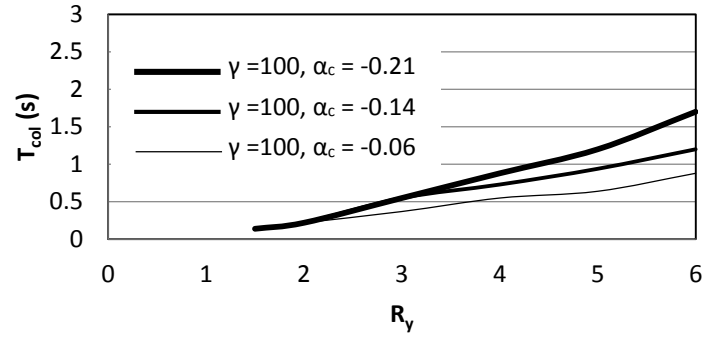


c) $\gamma = 50, u_c/u_y = 6$

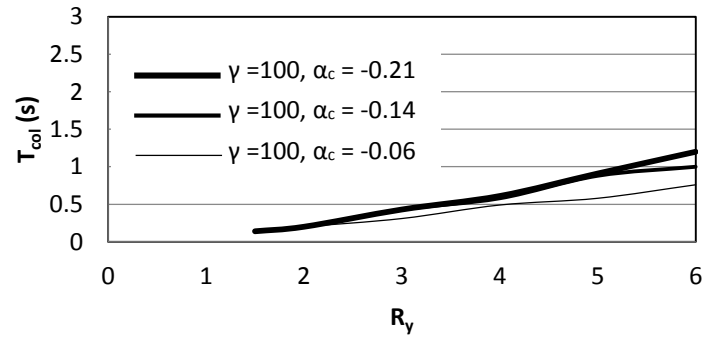
Şekil A.4 D zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri



d) $\gamma = 100, u_c/u_y = 2$

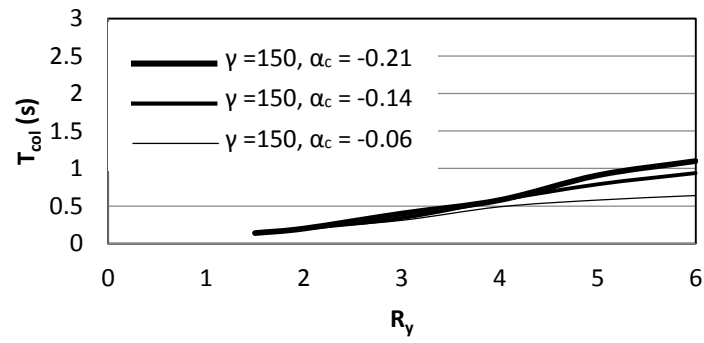
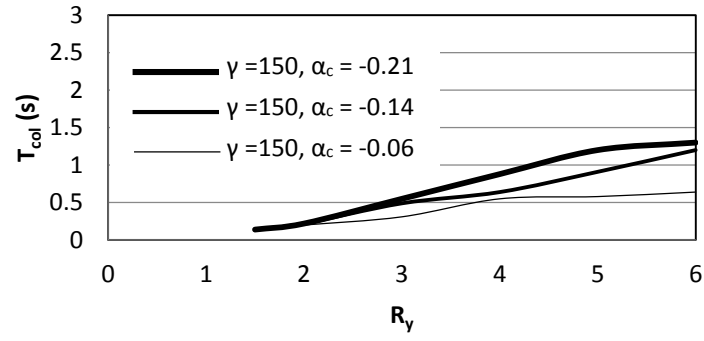
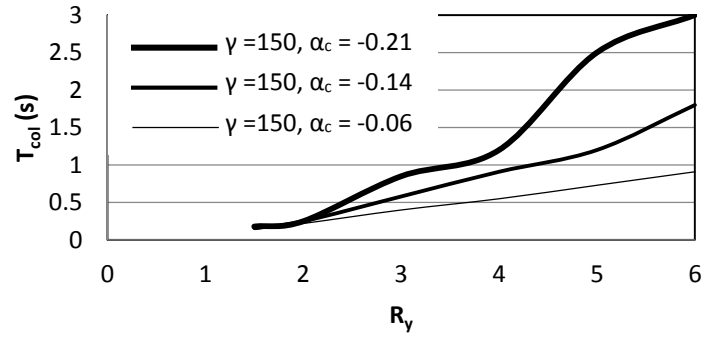


e) $\gamma = 100, u_c/u_y = 4$



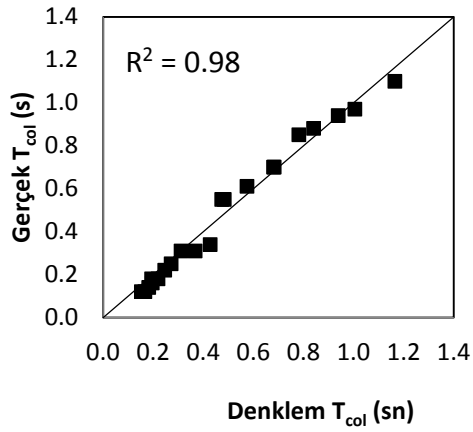
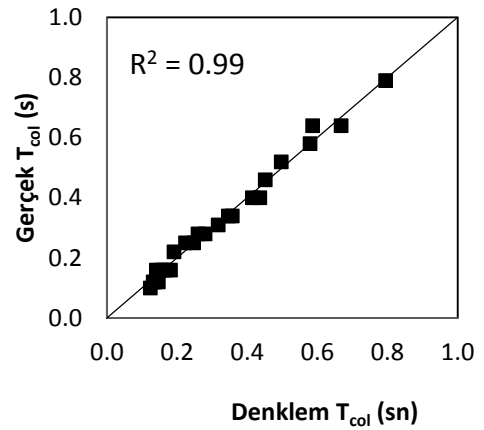
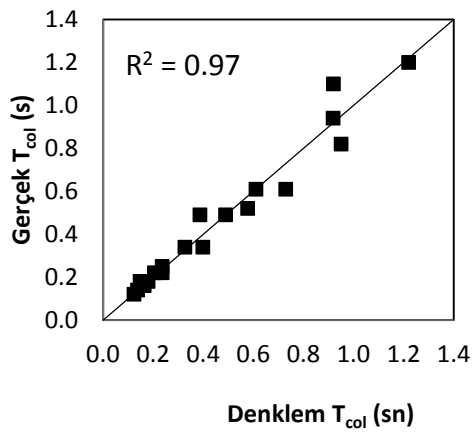
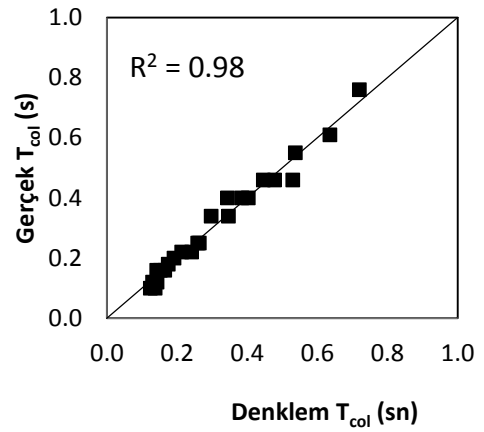
f) $\gamma = 100, u_c/u_y = 6$

Şekil A.4 D zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri (devam...)

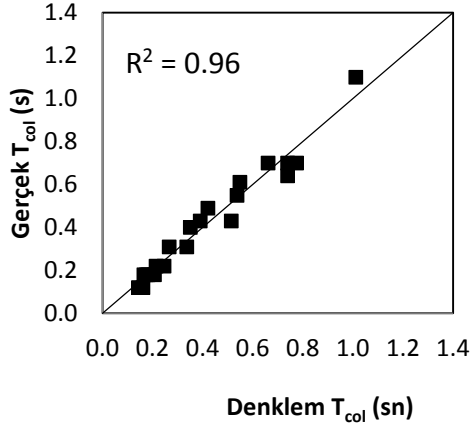


Şekil A.4 D zemin sınıfı ve $\alpha_s = \%0$ için T_{col} grafikleri (devam...)

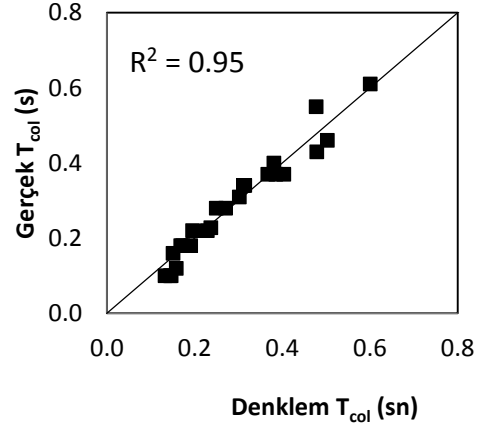
$\gamma = 50$ VE $\gamma = 150$ İÇİN T_{col} SAÇILMA GRAFİKLERİ

a) A zemin sınıfı, $\gamma = 50$ b) A zemin sınıfı, $\gamma = 150$ c) B zemin sınıfı, $\gamma = 50$ d) B zemin sınıfı, $\gamma = 150$

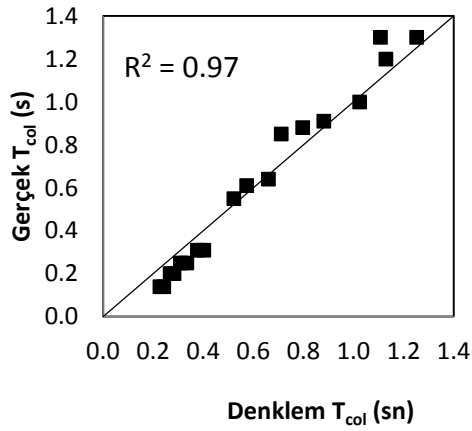
Şekil B.1 Hızlı azalmalı ($\gamma = 50$) ve yavaş azalmalı ($\gamma = 150$) sistemlerde her zemin sınıfı için T_{col} saçılma grafikleri



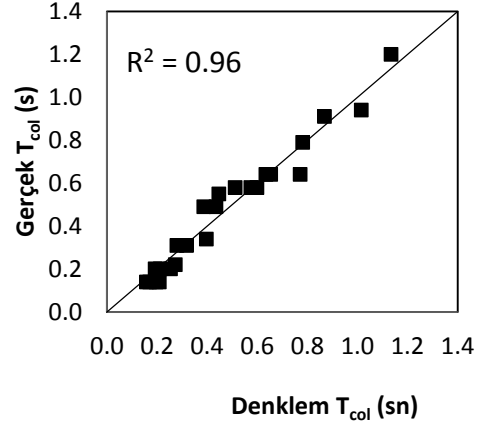
e) C zemin sınıfı, $\gamma = 50$



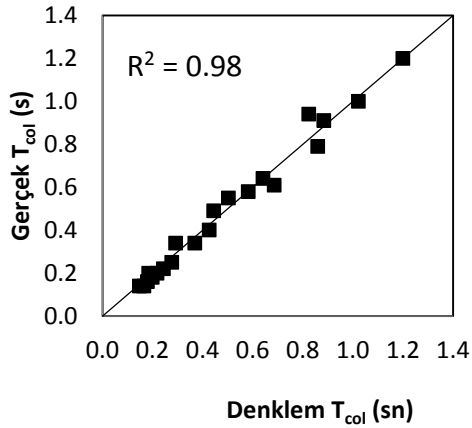
f) C zemin sınıfı, $\gamma = 150$



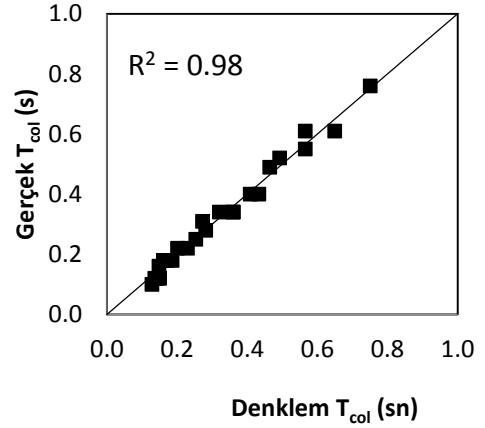
g) D zemin sınıfı, $\gamma = 50$



h) D zemin sınıfı, $\gamma = 150$



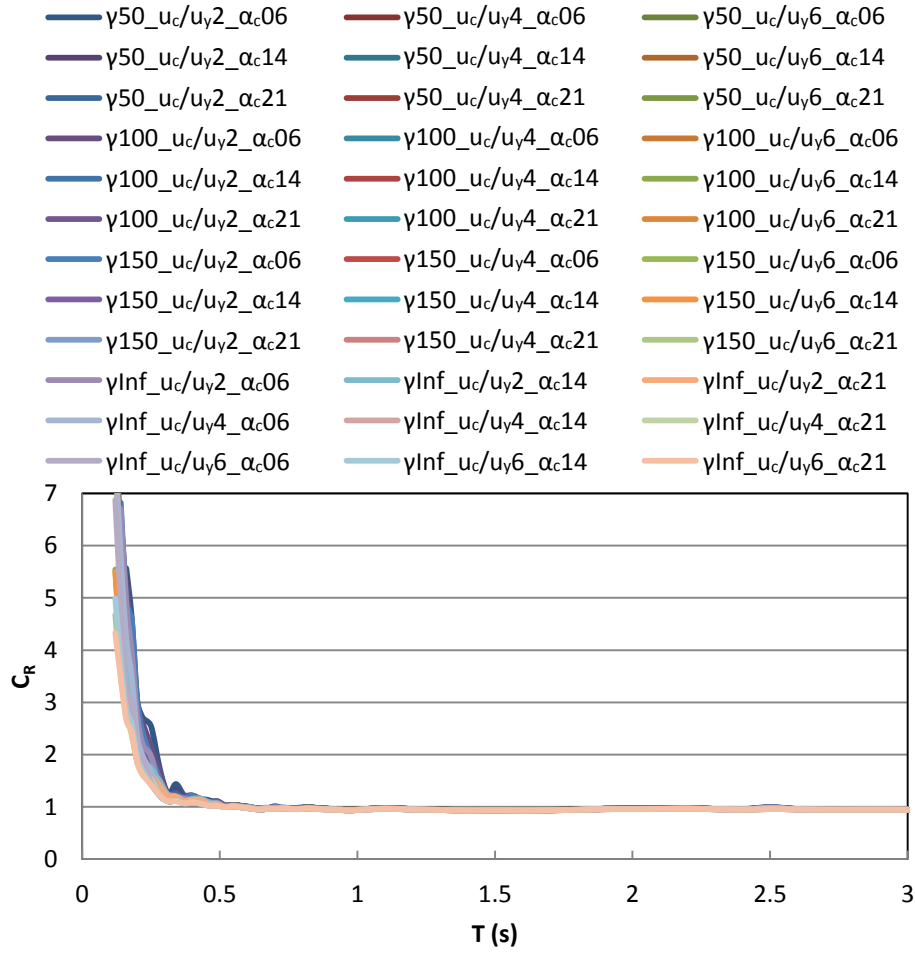
i) Tüm zemin sınıfları, $\gamma = 50$



j) Tüm zemin sınıfları, $\gamma = 150$

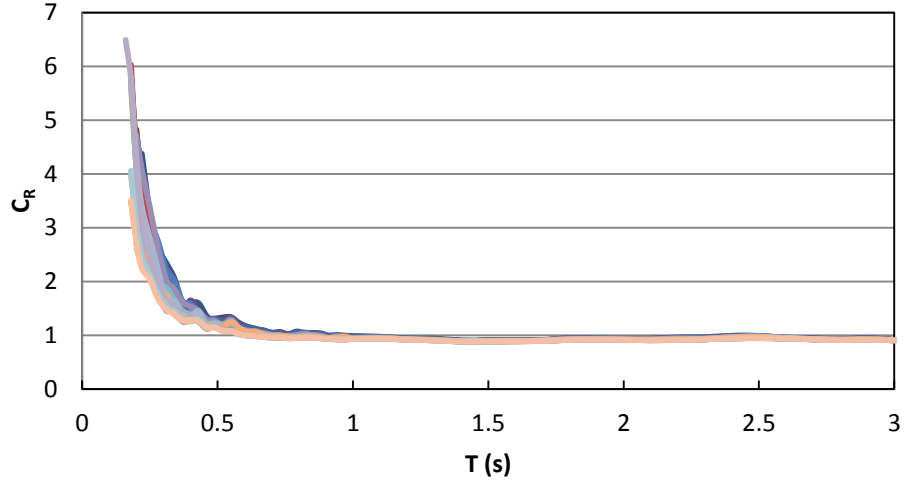
Şekil B.1 Hızlı azalmalı ($\gamma = 50$) ve yavaş azalmalı ($\gamma = 150$) sistemlerde her zemin sınıfı için T_{col} saçılma grafikleri (devam...)

AZALMALI MODELDE $\alpha_s = \%3$ VE $\%5$ İÇİN C_R GRAFİKLERİ

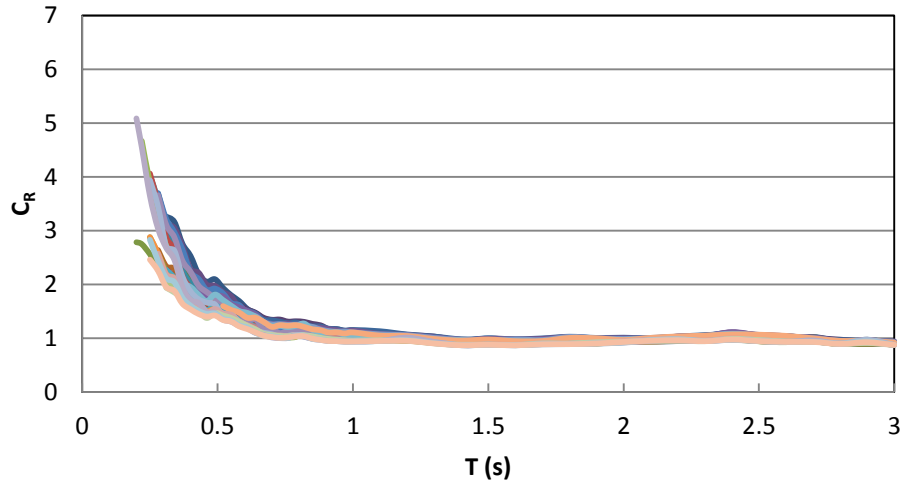


a) $R_y = 1.5$

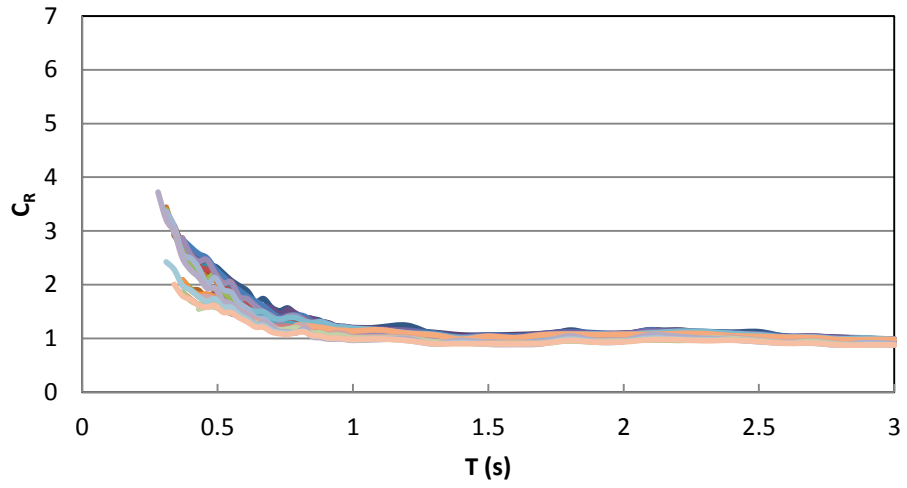
Şekil C.1 Azalmalı $\alpha_s = \%3$ ve tüm zemin sınıflarının ortalaması için bulunan C_R sabitleri



b) $R_y = 2$

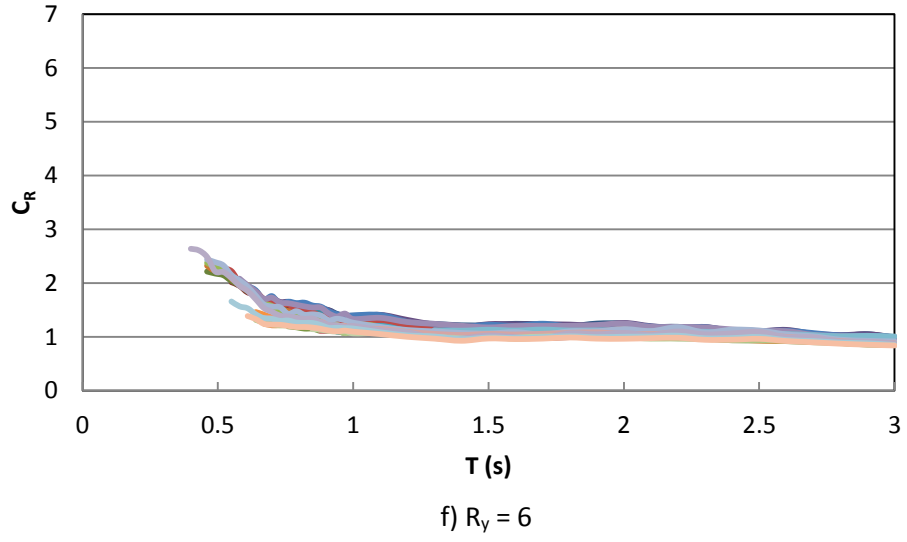
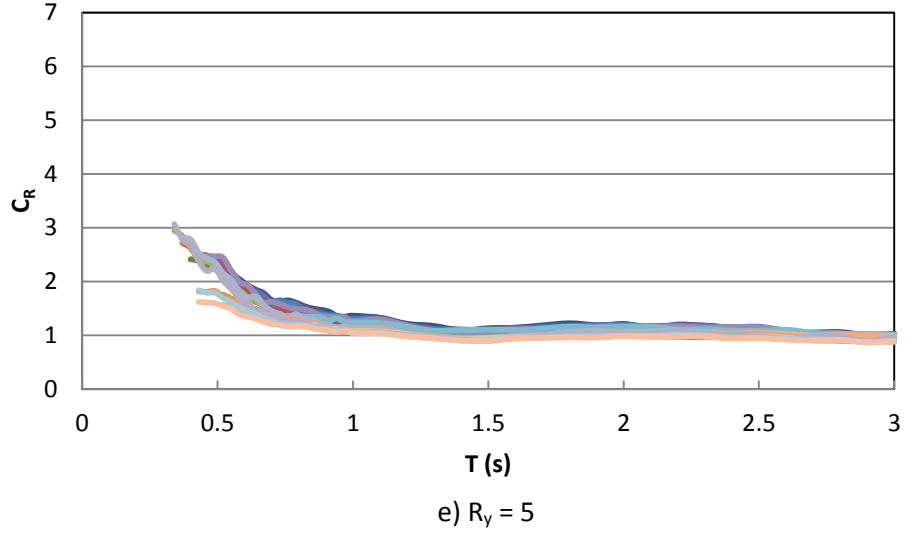


c) $R_y = 3$

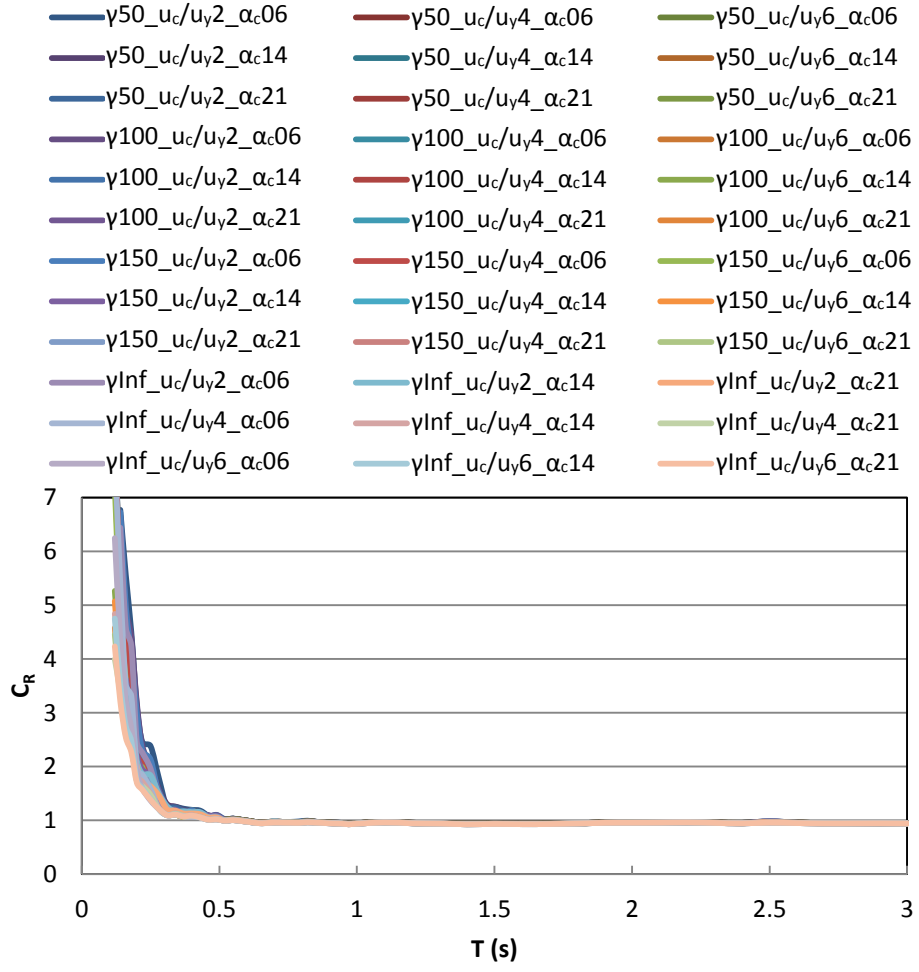


d) $R_y = 4$

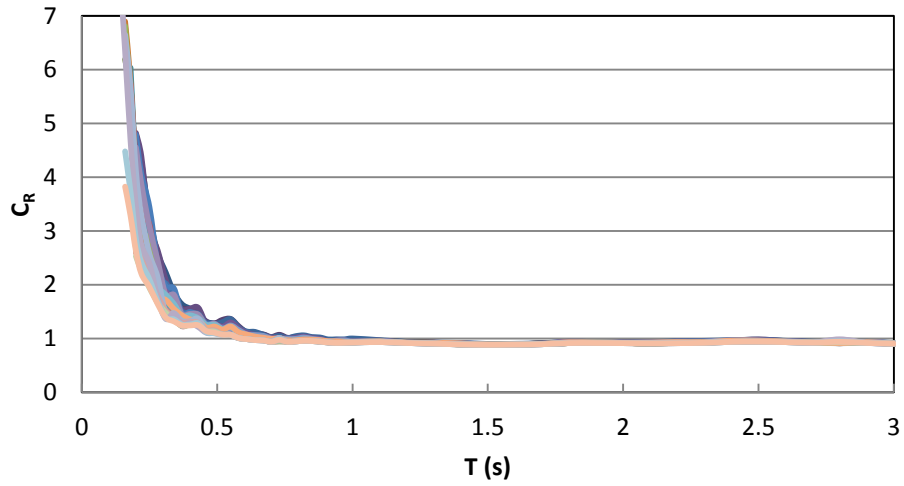
Şekil C.1 Azalmalı modelde $\alpha_s = \%3$ ve tüm zemin sınıflarının ortalaması için bulunan C_R sabitleri (devam...)



Şekil C.1 Azalmalı modelde $\alpha_s = \%3$ ve tüm zemin sınıflarının ortalaması için bulunan C_R sabitleri (devam...)

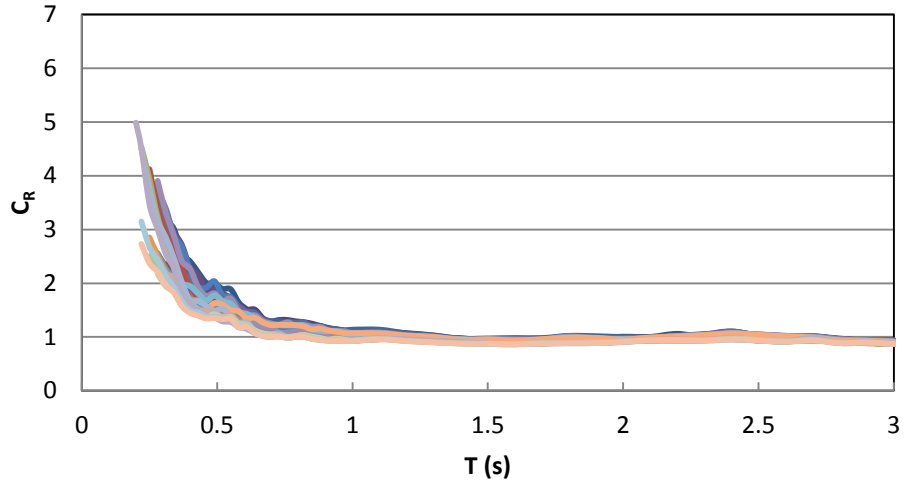


a) $R_y = 1.5$

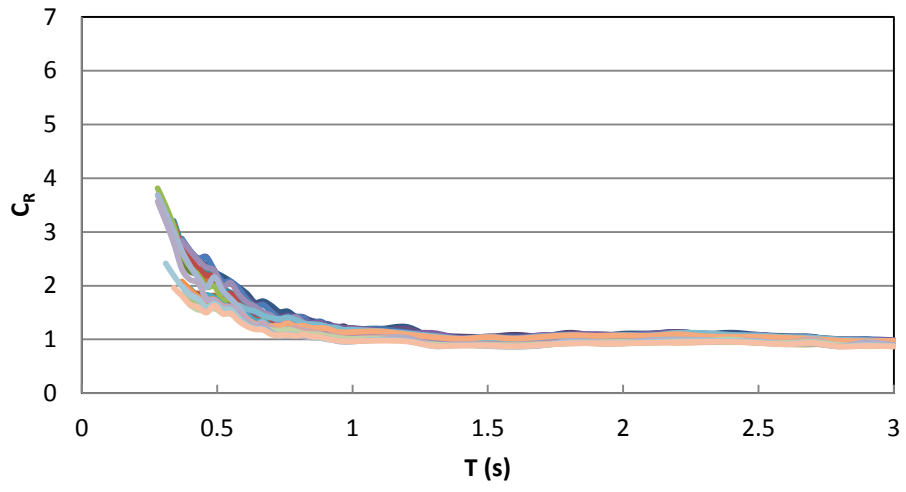


b) $R_y = 2$

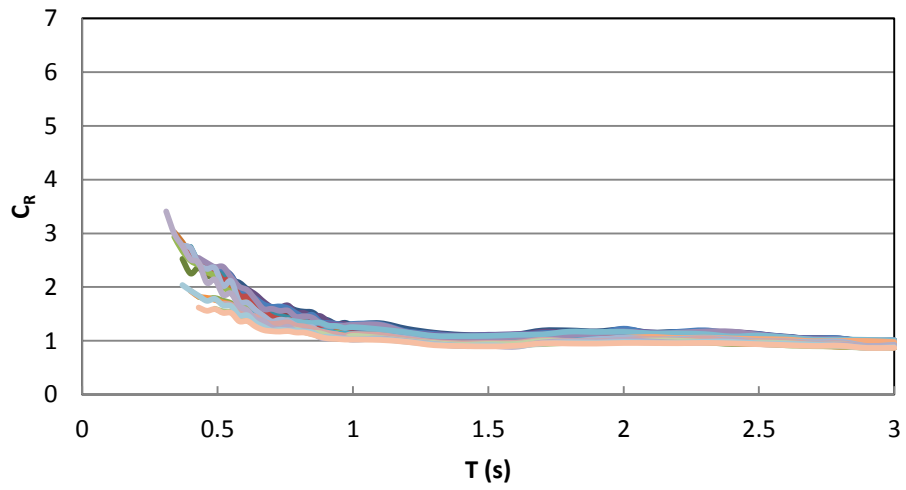
Şekil C.2 Azalmalı modelde $\alpha_s = \%5$ ve tüm zemin sınıflarının ortalaması için bulunan C_R sabitleri



c) $R_y = 3$

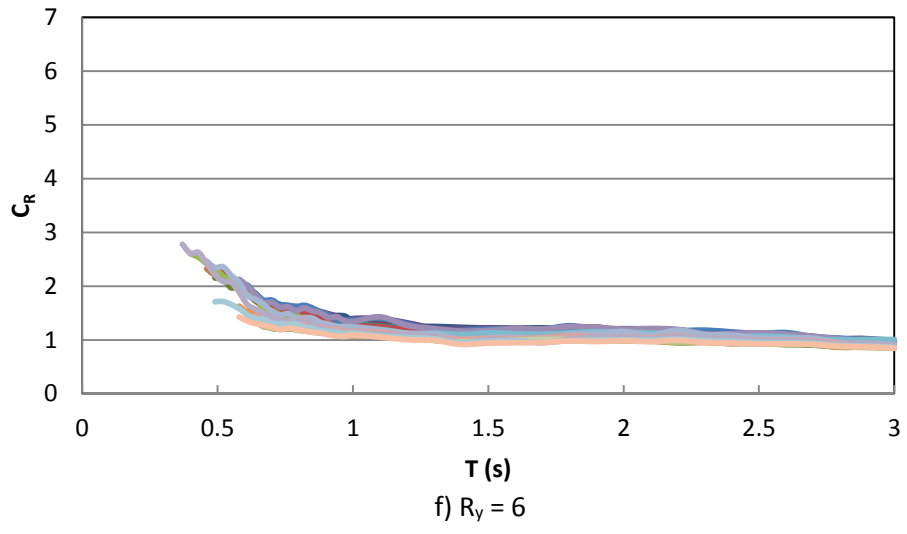


d) $R_y = 4$



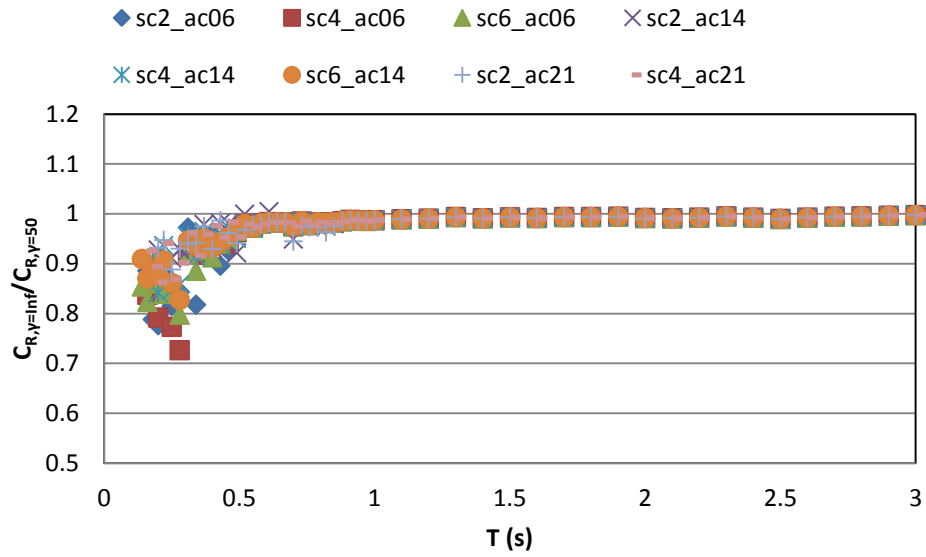
e) $R_y = 5$

Şekil C.2 Azalmalı modelde $\alpha_s = \%5$ ve tüm zemin sınıflarının ortalaması için bulunan C_R sabitleri (devam...)

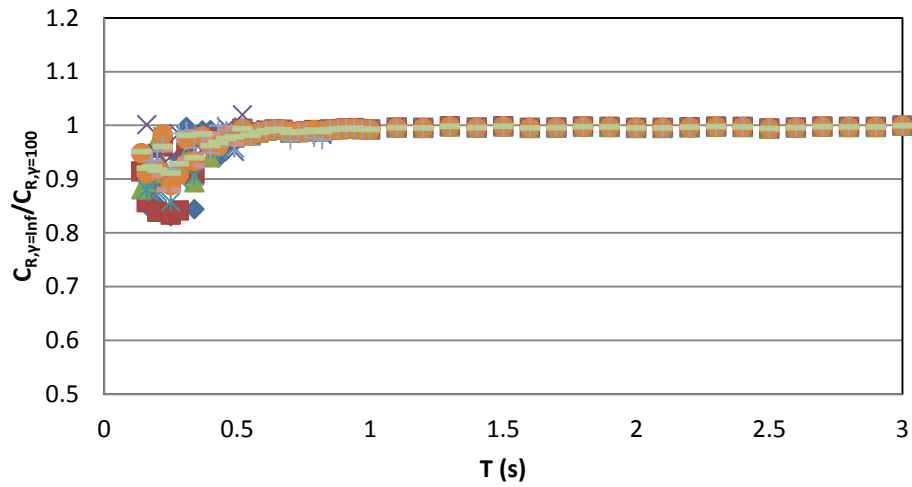


Şekil C.2 Azalmalı modelde $\alpha_s = \%5$ ve tüm zemin sınıflarının ortalaması için bulunan C_R sabitleri (devam...)

γ AZALMA PARAMETRESİNİN C_R ÜZERİNE ETKİSİ

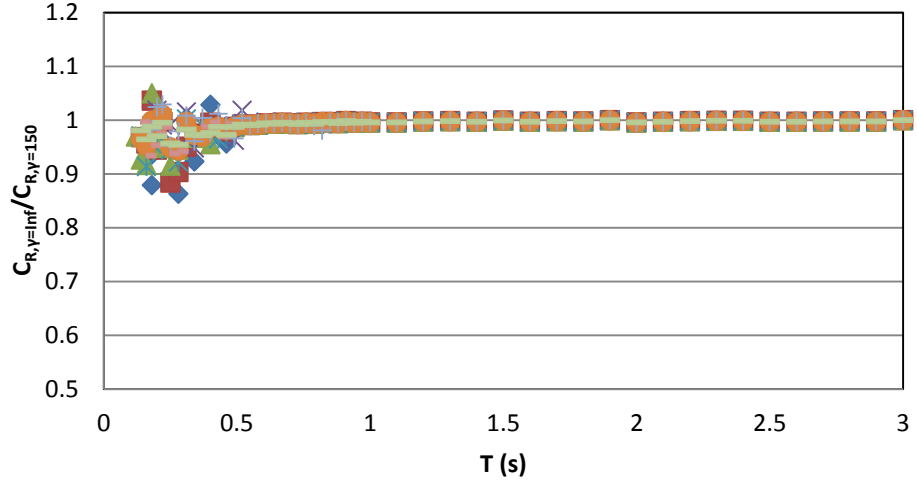


a) $R_y = 1.5$, $C_{R,\gamma=Inf}/C_{R,\gamma=50}$



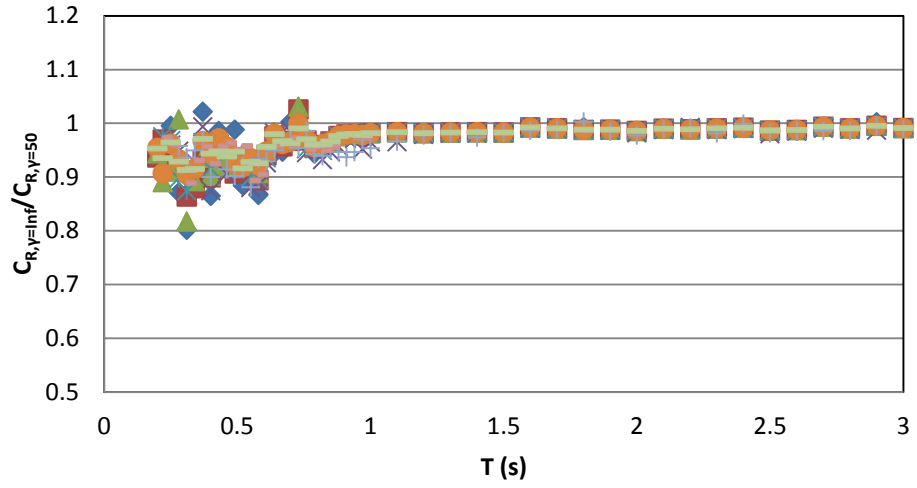
b) $R_y = 1.5$, $C_{R,\gamma=Inf}/C_{R,\gamma=100}$

Şekil D.1 Azalmalı modelde γ parametresinin C_R üzerine etkisi

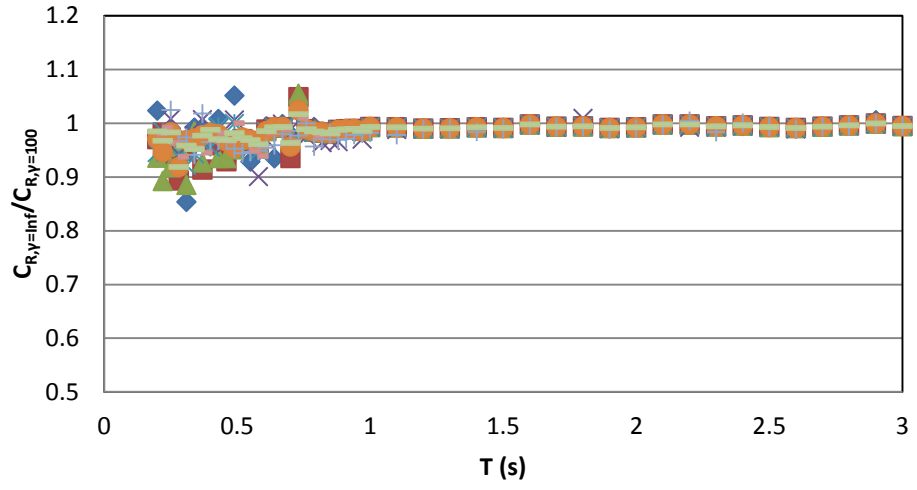


c) $R_y = 1.5$, $C_{R,\gamma=\inf}/C_{R,\gamma=150}$

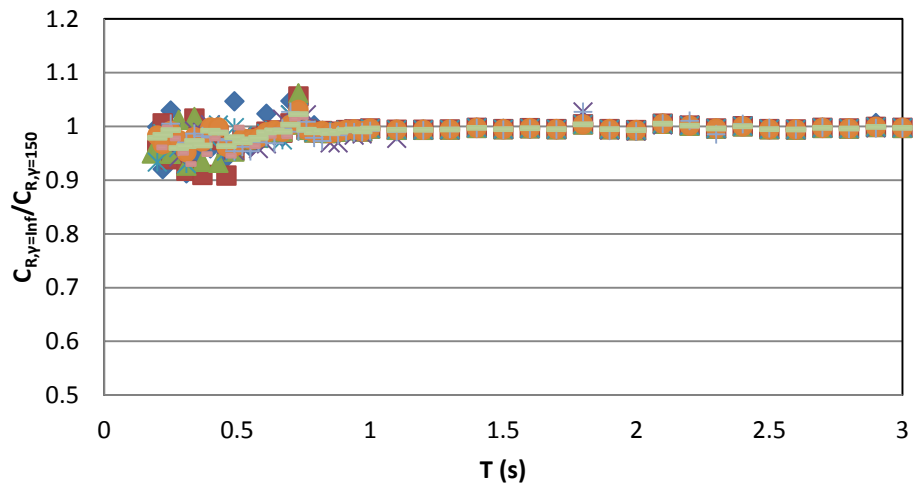
Şekil D.1 Azalmalı modelde γ parametresinin C_R üzerine etkisi (devam...)



d) $R_y = 2$, $C_{R,\gamma=Inf}/C_{R,\gamma=50}$

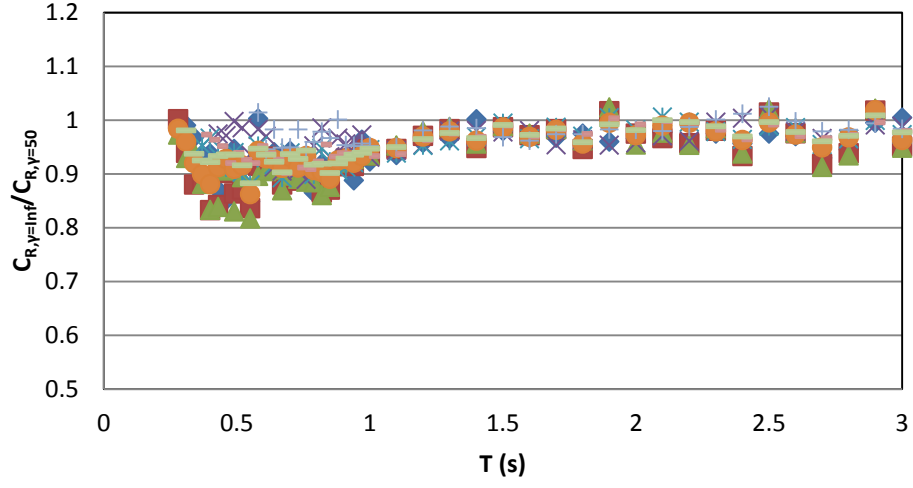


e) $R_y = 2$, $C_{R,\gamma=Inf}/C_{R,\gamma=100}$

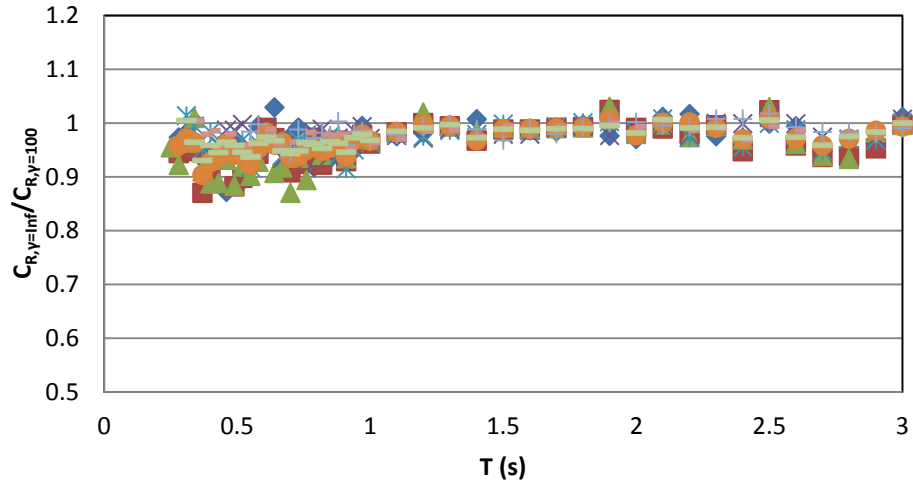


f) $R_y = 2$, $C_{R,\gamma=Inf}/C_{R,\gamma=150}$

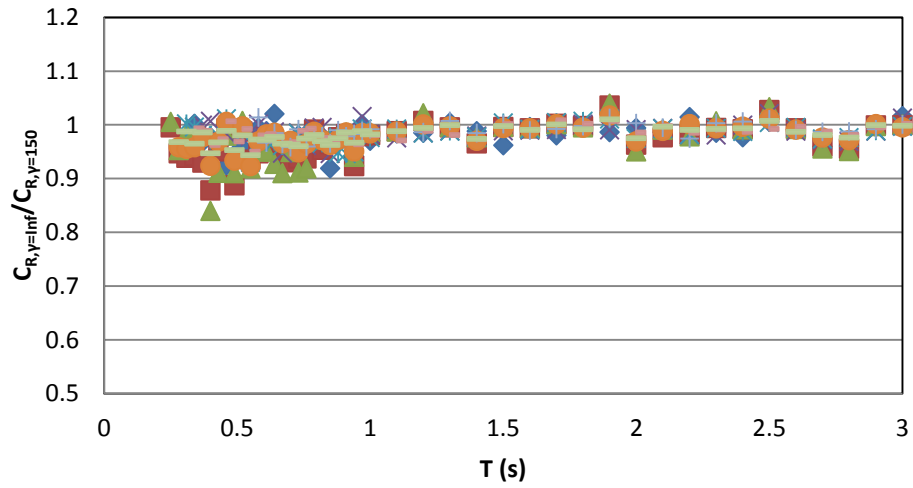
Şekil D.1 Azalmalı modelde γ parametresinin C_R üzerine etkisi (devam...)



g) $R_\gamma = 3, C_{R,\gamma=Inf}/C_{R,\gamma=50}$

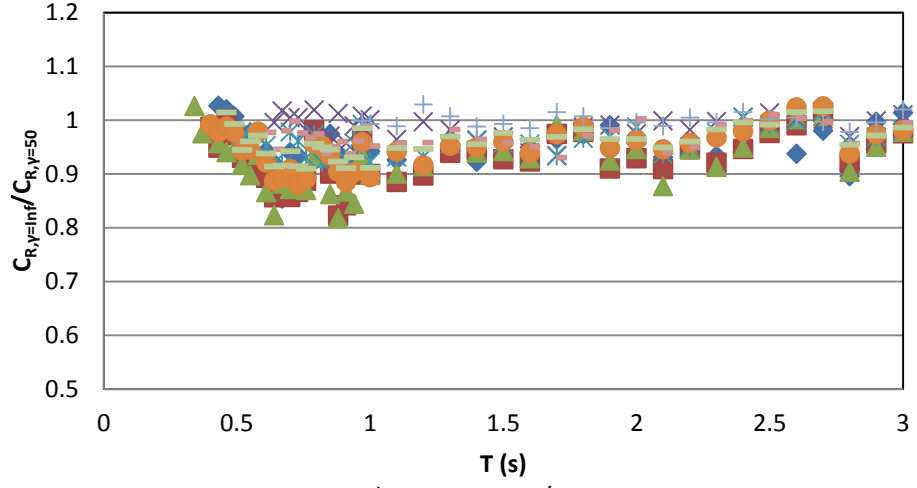


h) $R_\gamma = 3, C_{R,\gamma=Inf}/C_{R,\gamma=100}$

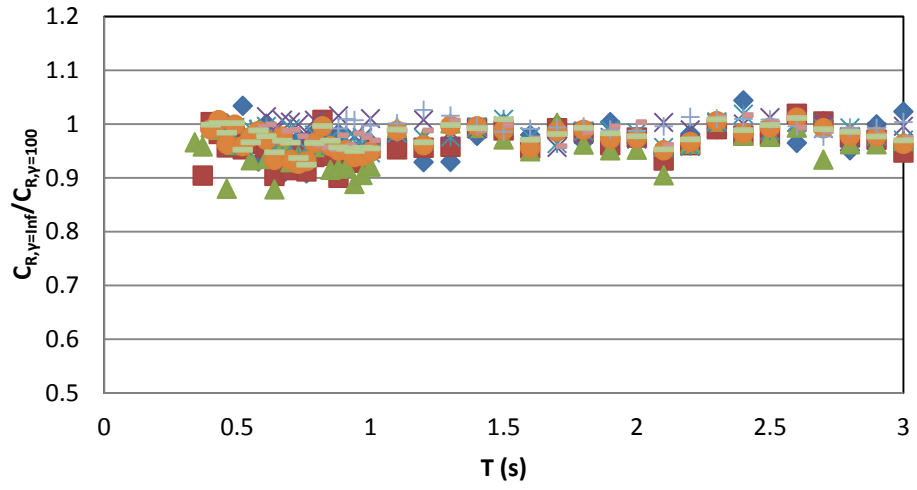


i) $R_\gamma = 3, C_{R,\gamma=Inf}/C_{R,\gamma=150}$

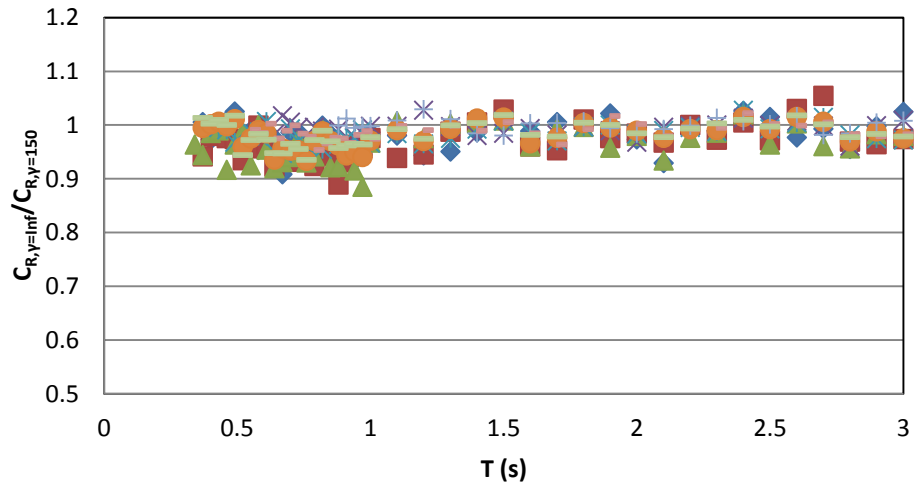
Şekil D.1 Azalmalı modelde γ parametresinin C_R üzerine etkisi (devam...)



j) $R_y = 4$, $C_{R,\gamma=\inf}/C_{R,\gamma=50}$

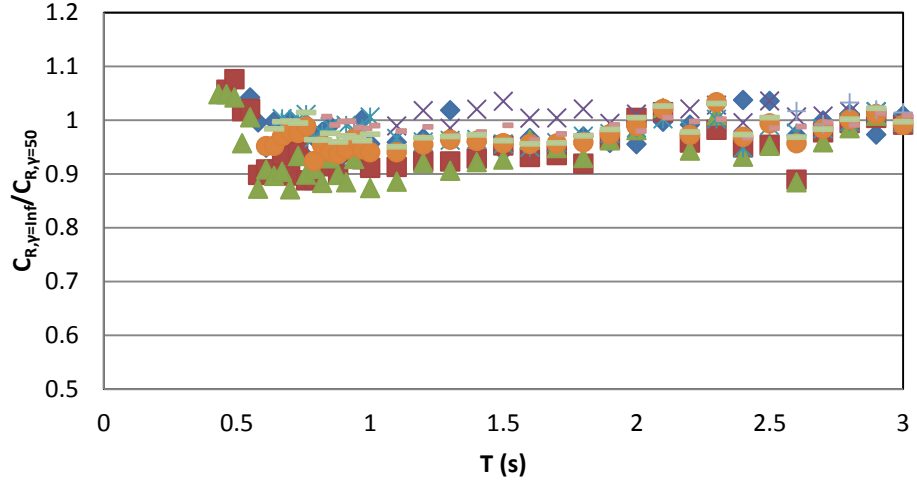


k) $R_y = 4$, $C_{R,\gamma=\inf}/C_{R,\gamma=100}$

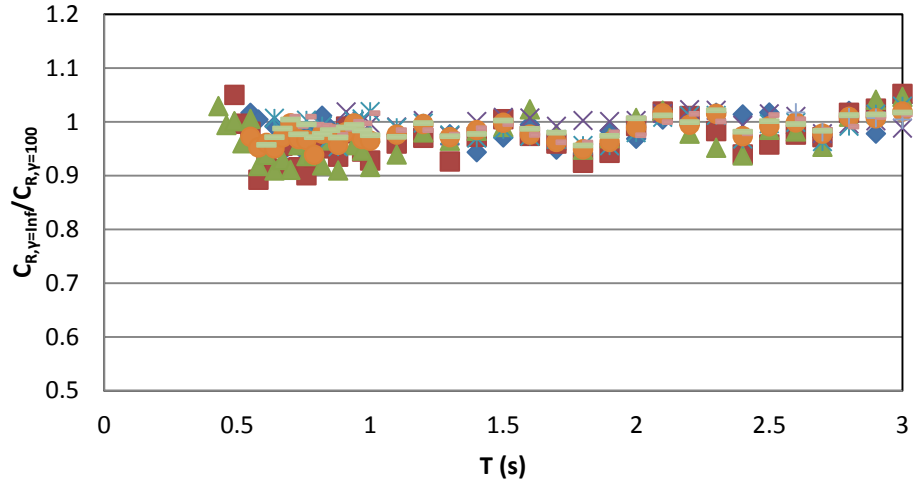


l) $R_y = 4$, $C_{R,\gamma=\inf}/C_{R,\gamma=150}$

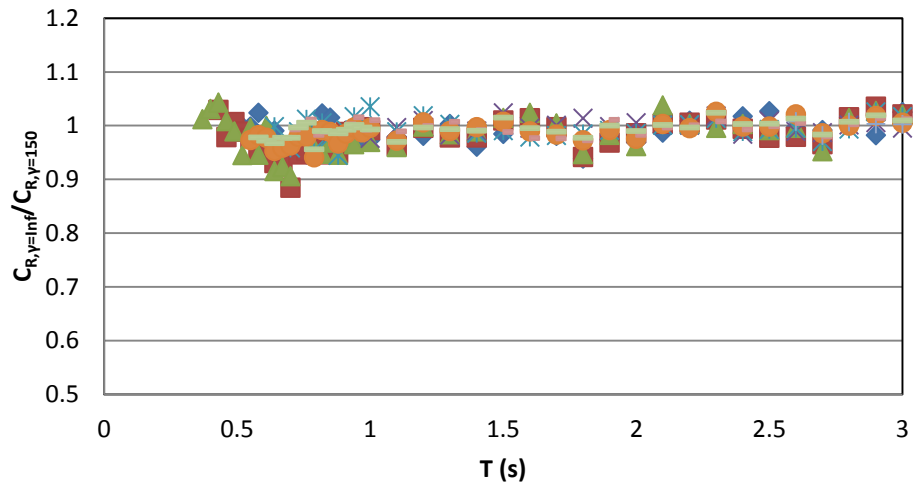
Şekil D.1 Azalmalı modelde γ parametresinin C_R üzerine etkisi (devam...)



m) $R_y = 5$, $C_{R,\gamma=Inf}/C_{R,\gamma=50}$

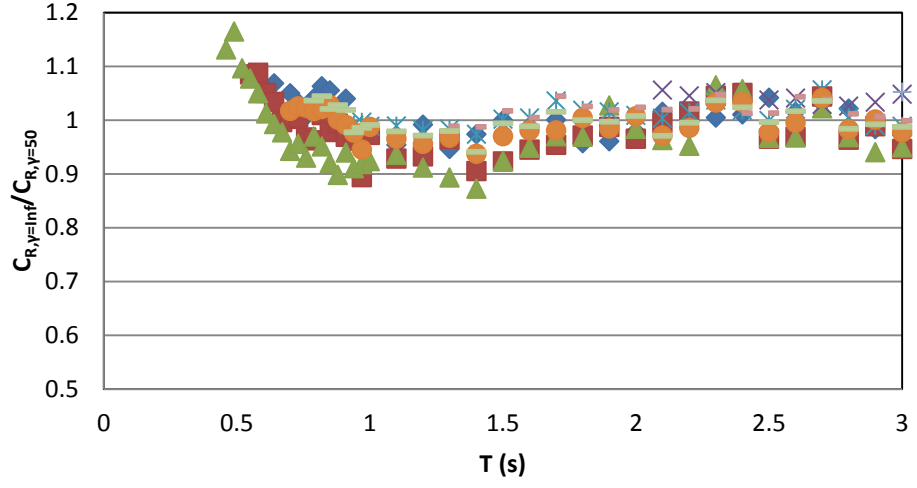


n) $R_y = 5$, $C_{R,\gamma=Inf}/C_{R,\gamma=100}$

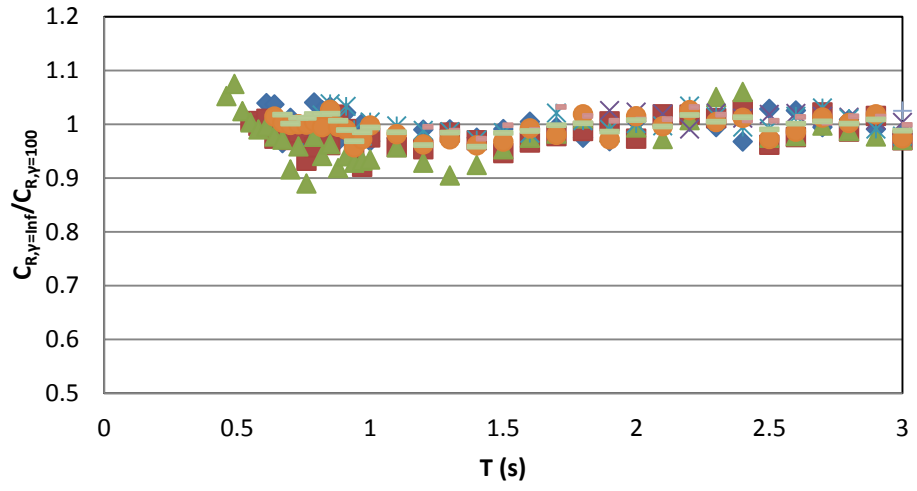


o) $R_y = 5$, $C_{R,\gamma=Inf}/C_{R,\gamma=150}$

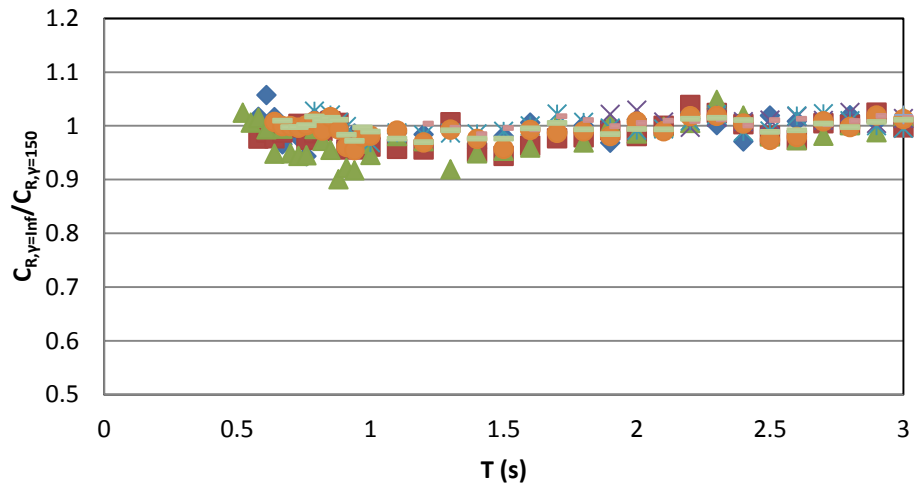
Şekil D.1 Azalmalı modelde γ parametresinin C_R üzerine etkisi (devam...)



p) $R_y = 6$, $C_{R,\gamma=Inf}/C_{R,\gamma=50}$



r) $R_y = 6$, $C_{R,\gamma=Inf}/C_{R,\gamma=100}$



s) $R_y = 6$, $C_{R,\gamma=Inf}/C_{R,\gamma=150}$

Şekil D.1 Azalmalı modelde γ parametresinin C_R üzerine etkisi (devam...)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muzaffer BÖREKÇİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 09.02.1983 / İSTANBUL
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mborekci@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Yapı Programı	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2005
Lise		Sakıp Sabancı Anadolu Lisesi	2001

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2005 - Devam	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araş. Gör.

YAYINLARI

Makale

1. Borekci, M., & Kircil, M. S. (2011). Fragility analysis of R/C frame buildings based on different types of hysteretic model. Structural Engineering and Mechanics, 39(6), 795-812. /SCI Expanded
2. Arslan, G., Hacisalihoglu, M., Balci, M., & Borekci, M. (2014). An Investigation on Seismic Design Indicators of RC Columns Using Finite Element Analyses. International Journal of Civil Engineering, 12(2), 137-243. /SCI Expanded
3. Borekci, M., Kircil, M. S., & Ekiz, I. (2014). Collapse Period of Degrading SDOF Systems. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 13(4), 681-694. /SCI Expanded / Bu tezden üretilmiştir
4. BOREKCI, M., KIRCIL, M. S., & EKIZ, I. (2014). Evaluation of Inelastic Displacement Ratios of Bilinear SDOF Systems. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 32(2), 189-199. / Ulusal Dergi

Bildiri

1. BÖREKÇİ, M., ALTUN, M., & ARSLAN, G. (2012, Eylül). The Performance Assessment of a Multi-Span Box Girder RC Bridge with and without Seismic Isolation. The Eleventh International Conference on Computational Structures Technology 2012 (CST 2012).
2. KOÇAK, A., BÖREKÇİ, M., KALYONCUOĞLU, A., & EKİNCİ, E. Ç. (2013, Eylül). Effect of basement rigidity on seismic response of RC buildings. The Fifth International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation (SEMC 2013). Cape Town, South Africa.

KOÇAK, A., KALYONCUOĞLU, A., & BÖREKÇİ, M. (2013, Ağustos). Effect of scaled real and artificial ground motion records on the seismic response of RC frames. Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics (VEESD2013).

BÖREKÇİ, M., KESKİN, R. S. O., & KIRÇIL, M. S. (2013, Ağustos). Effectiveness of FRP strengthening on earthquake performance of a RC infilled frame structure. Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics (VEESD2013).

BÖREKÇİ, M., & KIRÇIL, M. S. (2013, Ağustos). Damage probability of RC frame buildings with degrading hysteretic behavior. Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics (VEESD2013).

BÖREKÇİ, M., & KIRÇIL, M. S. (2015, Mayıs). Assessment of Collapse Potential of Degrading SDOF Systems. 17th International Conference of Civil Engineering and Architecture (ICCEA 2015). Berlin, Almanya.

KOÇAK, A., BÖREKÇİ, M., ZENGİN, B., & KURTBEOĞLU, A. (2015, Mayıs). Effects of Infill Wall Thickness, Elasticity Modulus & Opening Ratio on the Period of Reinforced Concrete Framed Buildings. 2nd International Civil Engineering & Architecture Symposium for Academicians 2015 (ICESA 2015). Antalya.