



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Diş Merkez Çapı, Çelik Çerç. Sis. Kats. ve Süneklik

Doktora Tezi

DEVİRİM ÜZNEDEKÇİ

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC): R.150-649

Kayıt No

4334

Geldiği Yer

Fen Bil. Enst.

Tarih

27/10/08

Fiyat

7,80-

Fatura No

Ayniyat No

42

Ek

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

XXI-156

**DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELERDE
SİSTEM KATSAYISI (R) VE SÜNEKLİK**

649

İnşaat Yük. Müh. Devrim ÖZHENDEKİ

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi
Tez Danışmanı
Jüri Üyeleri

: 17 Eylül 2007
: Prof. A. Zafer ÖZTÜRK (YTÜ)
: Prof. Zekeriya POLAT (YTÜ)
Prof. İbrahim EKİZ (YTÜ)
Prof. Dr. Gülay ALTAY (BÜ)
Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI (İTÜ)

[Handwritten signatures of the jury members and supervisor]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xviii
ÖNSÖZ.....	xix
ÖZET	xx
ABSTRACT	xxi
1. DIŞ MERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELER	1
1.1 Giriş	1
1.2 Dışmerkez Çaprazlı Çelik Çerçevesel ile İlgili Yapılan Bilimsel Çalışmalar	1
1.2.1 Deneysel Çalışmalar	2
1.2.2 Parametrik ve Analitik Çalışmalar	5
1.2.3 1994 Northridge Depreminin Etkileri.....	6
1.3 Dışmerkez Çaprazlı Çelik Çerçevesel Depreme Dayanıklı Tasarımı.....	7
1.3.1 Bağ Kirişi Teşkil Biçimleri.....	7
1.3.2 Kapasiteye Dayalı Tasarım (AISC, 2005).....	8
1.3.3 Yer Değiştirme ve Rijitlik Sınırlandırmaları	10
1.3.4 Elemanlar İçin Yerel Narinlik Oranları (AISC, 2005)	12
1.4 Çerçevesel Optimizasyonu İçin Yazılan Programın Genel Özellikleri	13
1.5 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	14
2. SİSTEM (R) KATSAYISI.....	15
2.1 R Katsayısının Tanımı ve Önemi	15
2.2 R Katsayısı ile İlgili Bilimsel Çalışmalar	16
2.3 R Katsayısının Sistem Analizi ile Belirlenmesi.....	20
3. BOYUTLANDIRILAN ÇERÇEVESERİN ÖZELLİKLERİ VE ÇERÇEVE GEOMETRİSİNİN AĞIRLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	23
3.1 Boyutlandırılan Çerçevesel Geometrik Özellikleri.....	23
3.2 Model Çözümlerde Esas Alınan Yükler ve Yükleme Halleri	25
3.3 Kesmede Plastikleşen Bağ Kirişleri İçeren Çerçevesel Geometrinin Çerçeve Ağırlığı Üzerindeki Etkisi	27
3.4 Eğilmede Plastikleşen Bağ Kirişleri İçeren Çerçevesel Geometrinin Çerçeve Ağırlığı Üzerindeki Etkisi	27
3.5 Orta Uzunlukta Bağ Kirişleri İçeren Çerçevesel Geometrinin Çerçeve Ağırlığı	

Üzerinde Etkisi	28
4. ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ANALİZ İÇİN MODELLENMESİ.....	29
4.1 DRAIN-2DX'in Hazır Eleman Tipleri	29
4.1.1 Kiriş-Kolon Elemanı.....	29
4.1.2 Basit Birleşim (Yay) Elemanı.....	30
4.2 Model Çerçevelerde Kullanılan Kiriş-Kolon Elemanları	31
4.3 Bağ Kirişinin Analitik Modeli	32
5. ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN İTME ANALİZLERİ.....	35
5.1 Yükleme Şekli	35
5.2 Bağ Kirişinin Plastik Dönmesi (Özhendekci ve Özhendekci, 2007).....	35
5.3 Sonuçların İrdelenmesi	37
6. ÖNERİLEN YÖNTEMLE R KATSAYILARININ BELİRLENMESİ.....	49
6.1 Zaman Tanım Alanında Elastik Ötesi Hesap.....	49
6.2 Kullanılan Deprem Kayıtlarının Özellikleri	49
6.2.1 Deprem Özelliklerinin R Katsayılarına Etkileri	49
6.3 Kesmede Plastikleşen Bağ Kirişleri İçeren Çerçevelerde R Katsayıları	62
6.4 Eğilmede Plastikleşen Bağ Kirişleri İçeren Çerçevelerde R Katsayıları.....	69
6.5 Orta Uzunlukta Bağ Kirişleri İçeren Çerçevelerde R Katsayıları	75
7. ELASTİK ÖTESİ STATİK VE DİNAMİK ANALİZLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	81
7.1 Kullanılan Yöntem.....	81
7.2 Depremlerin a/v Oranına Göre Sınıflandırılması	81
7.3 Sonuçların İrdelenmesi	81
8. SONUÇLAR.....	101
8.1 Sonuçların Özetlenmesi ve Özgün Katkıları	101
8.2 Tasarım İçin Öneriler.....	104
KAYNAKLAR.....	105
EKLER	113
Ek 1 Çerçeve Geometrisinin Çerçeve Ağırlığı Üzerinde Etkisi.....	114
Ek 2 Deprem Özellikleri ile R Katsayıları Arasındaki İlişki.....	117
Ek 3 Kiriş-Kolon Elemanlarının LRFD Yöntemiyle Boyutlandırılması.....	144
Ek 4 Kullanılan deprem kayıtları.....	145
Ek 5 Tasarım Programının Akış Diyagramı.....	155
ÖZGEÇMİŞ.....	156

SİMGE LİSTESİ

A	Profilin toplam enkesit alanı
A_w	Profil gövde alanı
a/v	Deprem ivme/hız oranı
b_f	Profil başlık genişliği
C_a	Yerel narinlik oranı hesabında kullanılan bir katsayı
C_{vx}	Eşdeğer deprem yükü yönteminde taban kesme kuvvetini katlara dağıtma katsayısı
C_u	ASCE 7-05'e göre tasarım spektrumunda 1 s periyoduna karşılık gelen spektral ivmenin bir fonksiyonu olan ve hesaplanmış birinci mod periyodu için üst sınır oluşturmak amacıyla kullanılan katsayı
COV	Varyasyon katsayısı
D	Normal katlarda ölü yük
d	Profil enkesit yüksekliği
d_b	Bağ kirişi enkesitinin yüksekliği
D_r	Çatı katında ölü yük
E	Tasarım deprem yükü
e	Bağ kirişinin uzunluğu
E_h	Tasarım deprem yükünün yatay bileşeni
E_s	Çeliğin elastisite modülü
E_v	Tasarım deprem yükünün düşey bileşeni
F_a	Elasto-plastik bir serbestlik dereceli dinamik sistemde depremin yer değiştirme talebi ve hedeflenen sünekliğe bağlı olarak oluşabilecek en büyük kuvvet (akma kuvveti)
f_{cr}	Kritik basınç gerilmesi
F_e	Dikkate alınan yer hareketi etkisinde bir serbestlik dereceli dinamik elastik sistemde oluşacak en büyük kuvvet
f_u	Çeliğin kopma gerilmesi için tanımlanmış alt sınır
f_y	Çeliğin akma gerilmesi için tanımlanmış alt sınır
g	Yer çekimi ivmesi
h	Kat yüksekliği
h_i veya h_x	Eşdeğer deprem yükü yönteminde taban kesme kuvvetinin katlara dağıtılması ile ilgili hesaplamalarda, dikkate alınan katın zeminden olan yüksekliği
h_w	Profil gövde yüksekliği

K	Basınç çubuğunun burkulma katsayısı
ℓ	Basınç çubuğunun yanal olarak tutulmamış uzunluğu
L	Çerçeve açıklığı
L^*	Normal katlarda hareketli yük
L_r^*	Çatı katında hareketli yük
M	Deprem büyüklüğü (moment)
m	Metre
M_p	Profilin plastik moment taşıma gücü
M_{pr}	Basınç nedeniyle azaltılmış plastik moment taşıma gücü
n	Kat sayısı
P_c	Bağ kirişine bağlanan çaprazda ilgili yük grubu etkisinde oluşan aksel kuvvet
$P_{maks,c}$	İlgili yük grubu etkisinde, bağ kirişinin beklenen akma değerine ulaşması ve ardından akması nedeniyle, bağ kirişine bağlanan çaprazda oluşacak en büyük aksel kuvvet
P_n	Çubuğun katsayı ile çarpılmamış (yalın) basınç taşıma gücü
P_u	İlgili elemanda mevcut yükler etkisinde oluşan karşılanması gereken basınç kuvveti
P_y	İlgili elemanın aksel çekme yükü altındaki akma taşıma gücü
Q_E	Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre tasarım taban kesme kuvvetinin birinci mod şekline uygun biçimde katlara dağıtılması ile oluşan yükleme hali
r	Basınç çubuğunun düzlemine dik burkulduğu kesit eksenine göre atalet yarıçapı
R	Sistem katsayısı
R_d	Şartnameye uygun olarak tasarımda kullanılan R katsayısı
R_R	Sistem fazlalık katsayısı
R_y	Beklenen değer katsayısı
R_μ	Süneklik kaynaklı kuvvet azaltma katsayısı
R_Q	Yapının yedek taşıma gücünden kaynaklanan kuvvet azaltma katsayısı
$\bar{R}$	Dikkate alınan bina için seçilen depremler etkisinde yapılan çözümlerden elde edilen R katsayılarının ortalama değeri
s	Saniye
S	Kar yükü
SA_d	Tasarım spektral ivmesi
SA_{dep}^{el}	Çerçeveyi limit duruma götürecek biçimde ölçeklendiren depreme ait elastik ivme spektrumunda çerçevenin birinci mod periyoduna karşılık gelen spektral ivme

	değeri
S_{DS}	ASCE 7-05'de mevcut depremsellik haritalarından binanın yerine bağlı olarak okunan, tasarım spektrumu teşkilinde kullanılan kısa periyot spektral ivmesi
T	Boyutlandırılmış bir binaya ait hesaplanmış birinci mod periyodu
T_a	Yapı yüksekliğine, taşıyıcı sistem tipine ve yapı malzemesine bağlı olarak ASCE 7-05'de verilen yaklaşık birinci mod periyodu değeri
t_f	Profil başlık kalınlığı
t_w	Profil gövde kalınlığı
u_a	Elasto-plastik bir serbestlik dereceli dinamik sistemin akma yer değiştirmesi
U_a	Yapının yanal yük taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla uygulanan statik itme analizi sonucunda elde edilen eğrinin idealleştirilmesiyle belirlenen yapısal akma noktasına karşılık gelen en üst kat ötelemesi
U_d	Tasarım deprem yükü etkisinde bir yapının en üst katında oluşan öteleme miktarı
U_{maks}	Doğrusal olmayan zaman tanım alanında çözüm veya statik itme analizi sonucunda bir yapının en üst katında oluşan en büyük öteleme değeri
u_{maks}	İlgili deprem etkisinde elasto-plastik bir serbestlik dereceli dinamik sistemin yer değiştirme talebi
V	Bağ kirişinde ilgili yük grubu etkisinde oluşan kesme kuvveti
V_a	Yapının yanal yük taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla uygulanan statik itme analizi sonucunda elde edilen eğrinin idealleştirilmesiyle belirlenen yapısal akma noktasına karşılık gelen taban kesme kuvveti
V_d	Yapının tasarımı sırasında kullanılan taban kesme kuvveti
V_e	Yapıda elastik davranışın hiç bozulmadığı varsayılarak hesaplanan elastik maksimum taban kesme kuvveti
V_n	Bağ kirişinin uzunluğu, kesme ve eğilme kapasiteleri göz önünde bulundurularak elde edilen, katsayı ile çarpılmamış (yalın) kesme taşıma gücü
V_p	Bağ kirişinin plastik kesme taşıma gücü
V_u	Bağ kirişinde dikkate alınan yük grupları etkisinde oluşan kesme kuvveti değerlerinden en büyüğü
W	Depremde etkin toplam yapı ağırlığı
W_p	Profil enkesitinin plastik mukavemet momenti
ϕ	Dayanım katsayısı
γ_p	Bağ kirişinin radyan cinsinden plastik dönme açısı
γ_{pv}	Kolonların birikimli düşey yer değiştirmeleri dikkate alınarak düzeltilmiş bağ kirişinin radyan cinsinden plastik dönme açısı

θ_p	Bir dışmerkez çaprazlı çelik çerçevede rijit-plastik kat mekanizması oluştuğunda, kolonlarda oluşan radyan cinsinden dönme açısı
μ	Dikkate alınan yer değiştirme için süneklik
ΔF_x	Doğrusal olmayan itme analizi adımımda dikkate alınan kat için kat kuvvetindeki artım
ΔV	Doğrusal olmayan itme analizi adımımda taban kesme kuvvetindeki artım

KISALTMA LİSTESİ

AISC	American Institute of Steel Construction
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
BSD	Bir Serbestlik Dereceli Sistem
ÇSD	Çok Serbestlik Dereceli Sistem
DÇÇ	Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve
Drain-2dx	Dynamic Response Analysis of Inelastic- 2 Dimensional Structures
LRFD	Load and Resistance Factor Design
MÇÇ	Merkezi Çaprazlı Çerçeve
NEHRP	National Earthquake Hazards Reduction Program
SEAOC	Structural Engineers Association of California
UBC	Uniform Building Code
USGS	United States Geological Survey

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve tipleri	1
Şekil 1.2	Gövdesi rijitlik levhaları ile güçlendirilmemiş kesmede plastikleşen bağ kirişinde: (a)Çevrimsel davranış geçmişi, (b)Göçen bağ kirişinin fotoğrafı (Hjelmstad ve Popov, 1983)	3
Şekil 1.3	Gövdesi rijitlik levhaları ile güçlendirilmiş kesmede plastikleşen bağ kirişinde: (a) Çevrimsel davranış geçmişi, (b) Göçen bağ kirişinin fotoğrafı (Hjelmstad ve Popov, 1983)	3
Şekil 1.4	Eğilmede plastikleşen bağ kirişinde (W12x26): (a)Çevrimsel davranış geçmişi, (b)Göçen bağ kirişinin fotoğrafı (Engelhardt ve Popov, 1992)	4
Şekil 1.5	Orta uzunluktaki bağ kirişinde (W12x26): (a)Çevrimsel davranış geçmişi, (b)Göçen bağ kirişinin fotoğrafı (Engelhardt ve Popov, 1992)	4
Şekil 1.6	Bağ kirişlerinde M-V etkileşimi: Teorik modeller ve 26 numune için elde edilen deney sonuçları (Kasai ve Popov, 1986(b))	5
Şekil 1.7	Bir DÇÇ için rijit-plastik kat mekanizması	11
Şekil 1.8	Teorik çerçeve mekanizması	12
Şekil 2.1	Elasto-plastik BSD sistemin statik kuvvet-yer değiştirme ilişkisi	17
Şekil 2.2	ÇSD sistemin taban kesme kuvveti ile en üst kattaki ötelenme ilişkisi	19
Şekil 3.1	Boyutlandırılan DÇÇ'lerin geometrik özellikleri (Özhendekci ve Özhendekci, 2007)	24
Şekil 3.2	Tasarım ivme spektrumu	26
Şekil 4.1	Yükseklik boyunca kütlenin dağılımı	29
Şekil 4.2	Karşılıklı etki diyagramı: Çelik kolon tipi	30
Şekil 4.3	Yay elemanı için elastik ötesi çevrimsel davranış modeli	31
Şekil 4.4	Çalışmada kullanılan Uang ve Richards'ın bağ kirişi eleman modeli (2004)	34
Şekil 5.1	Kolon uçlarında birikimli düşey yer değiştirmelerin dikkate alınması durumunda rijit-plastik kat mekanizması	36
Şekil 5.2	Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve kesmede plastikleşen bağ kirişli DÇÇ (a) 3 katlı (b) 4 katlı	38
Şekil 5.3	Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve kesmede plastikleşen bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 5 katlı (b) 6 katlı	39
Şekil 5.4	Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve kesmede plastikleşen bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 7 katlı (b) 8 katlı	40

Şekil 5.5 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı DÇÇ'ler (a) kesmede plastikleşen bağ kirişli, 9 katlı (b) eğilmede plastikleşen bağ kirişli, 3 katlı.....	41
Şekil 5.6 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve eğilmede plastikleşen bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 4 katlı (b) 5 katlı.....	42
Şekil 5.7 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve eğilmede plastikleşen bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 6 katlı (b) 7 katlı.....	43
Şekil 5.8 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve eğilmede plastikleşen bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 8 katlı (b) 9 katlı.....	44
Şekil 5.9 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve orta uzunlukta bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 4 katlı.....	45
Şekil 5.10 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve orta uzunlukta bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 5 katlı (b) 6 katlı.....	46
Şekil 5.11 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve orta uzunlukta bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 7 katlı (b) 8 katlı.....	47
Şekil 5.12 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve orta uzunlukta bağ kirişli 9 katlı DÇÇ'ler....	48
Şekil 6.1 Kesmede plastikleşen bağ kirişli ve 8 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı).....	53
Şekil 6.2 Kesmede plastikleşen bağ kirişli ve 9 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı).....	54
Şekil 6.3 Kesmede plastikleşen bağ kirişli ve 10 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı).....	55
Şekil 6.4 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli ve 8 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar	56
Şekil 6.5 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli ve 9 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı).....	57
Şekil 6.6 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli ve 10 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı).....	58
Şekil 6.7 Orta uzunlukta bağ kirişli ve 8 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı).....	59
Şekil 6.8 Orta uzunlukta bağ kirişli ve 9 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı).....	60
Şekil 6.9 Orta uzunlukta bağ kirişli ve 10 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı).....	61
Şekil 6.10 Kesmede plastikleşen bağ kirişli 3 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları.....	64

Şekil 6.11 Kesmede plastikleşen bağ kirişli 4 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	64
Şekil 6.12 Kesmede plastikleşen bağ kirişli 5 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	65
Şekil 6.13 Kesmede plastikleşen bağ kirişli 6 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	65
Şekil 6.14 Kesmede plastikleşen bağ kirişli 7 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	66
Şekil 6.15 Kesmede plastikleşen bağ kirişli 8 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	66
Şekil 6.16 Kesmede plastikleşen bağ kirişli 9 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	67
Şekil 6.17 Kesmede plastikleşen bağ kirişli ve 8 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	67
Şekil 6.18 Kesmede plastikleşen bağ kirişli ve 9 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	68
Şekil 6.19 Kesmede plastikleşen bağ kirişli ve 10 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	68
Şekil 6.20 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli 3 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	70
Şekil 6.21 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli 4 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	70
Şekil 6.22 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli 5 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	71
Şekil 6.23 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli 6 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	71
Şekil 6.24 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli 7 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	72
Şekil 6.25 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli 8 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	72
Şekil 6.26 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli 9 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	73
Şekil 6.27 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli ve 8 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	73
Şekil 6.28 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli ve 9 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R	

	katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları.....	74
Şekil 6.29	Eğilmede plastikleşen bağ kirişli ve 10 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları.....	74
Şekil 6.30	Orta uzunlukta bağ kirişli 3 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları.....	76
Şekil 6.31	Orta uzunlukta bağ kirişli 4 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları.....	76
Şekil 6.32	Orta uzunlukta bağ kirişli 5 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları.....	77
Şekil 6.33	Orta uzunlukta bağ kirişli 6 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları.....	77
Şekil 6.34	Orta uzunlukta bağ kirişli 7 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları.....	78
Şekil 6.35	Orta uzunlukta bağ kirişli 8 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları.....	78
Şekil 6.36	Orta uzunlukta bağ kirişli 9 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları.....	79
Şekil 6.37	Orta uzunlukta bağ kirişli ve 8 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	79
Şekil 6.38	Orta uzunlukta bağ kirişli ve 9 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	80
Şekil 6.39	Orta uzunlukta bağ kirişli ve 10 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları	80
Şekil 7.1	a/v oranı 0.8'den küçük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı kesmede plastikleşen 60 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı.....	83
Şekil 7.2	a/v oranı 0.8 ile 1.2 arasında olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı kesmede plastikleşen 60 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı.....	84
Şekil 7.3	a/v oranı 1.2'den büyük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı kesmede plastikleşen 60 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı.....	85
Şekil 7.4	a/v oranı 0.8'den küçük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı kesmede plastikleşen 120 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı.....	86

Şekil 7.5	a/v oranı 0.8 ile 1.2 arasında olan depremleer için maksimum bağ kirişli dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı kesmede plastikleşen 120 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı.....	87
Şekil 7.6	a/v oranı 1.2'den büyük olan depremleer için maksimum bağ kirişli dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı kesmede plastikleşen 120 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı.....	88
Şekil 7.7	a/v oranı 0.8'den küçük olan depremleer için maksimum bağ kirişli dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı eğilmede plastikleşen 240 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı.....	89
Şekil 7.8	a/v oranı 0.8 ile 1.2 arasında olan depremleer için maksimum bağ kirişli dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı eğilmede plastikleşen 240 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı.....	90
Şekil 7.9	a/v oranı 1.2'den büyük olan depremleer için maksimum bağ kirişli dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı eğilmede plastikleşen 240 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı.....	91
Şekil 7.10	a/v oranı 0.8'den küçük olan depremleer için maksimum bağ kirişli dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı eğilmede plastikleşen 320 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı.....	92
Şekil 7.11	a/v oranı 0.8 ile 1.2 arasında olan depremleer için maksimum bağ kirişli dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı eğilmede plastikleşen 320 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı	93
Şekil 7.12	a/v oranı 1.2'den büyük olan depremleer için maksimum bağ kirişli dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı kesmede plastikleşen 320 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı.....	94
Şekil 7.13	a/v oranı 0.8'den küçük olan depremleer için maksimum bağ kirişli dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı orta uzunlukta 140 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (e=150cm)	95
Şekil 7.14	a/v oranı 0.8 ile 1.2 arasında olan depremleer için maksimum bağ kirişli dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı orta uzunlukta 140 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (e=150 cm)	96
Şekil 7.15	a/v oranı 1.2'den büyük olan depremleer için maksimum bağ kirişli dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı orta uzunlukta 140 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (e=150)	97
Şekil 7.16	a/v oranı 0.8'den küçük olan depremleer için maksimum bağ kirişli dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı orta uzunlukta 220 cm'lik bağ kirişli	

	DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı.....	98
Şekil 7.17	a/v oranı 0.8 ile 1.2 arasında olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı orta uzunlukta 220 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı.....	99
Şekil 7.18	a/v oranı 1.2'den büyük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı orta uzunlukta 220 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı.....	100
Şekil Ek 1.1	Kesmede plastikleşen bağ kirişli DÇÇ'lerin ağırlıkları (kN) - kat adedi (a)3 (b)4 (c)5 (d)6 (e)7 (f)8 (g)9	114
Şekil Ek 1.2	Eğilmeye plastikleşen bağ kirişli DÇÇ'lerin ağırlıkları (kN) - kat adedi (a)3 (b)4 (c)5 (d)6 (e)7 (f)8 (g)9	115
Şekil Ek 1.3	Orta uzunlukta bağ kirişli DÇÇ'lerin ağırlıkları (kN) - kat adedi (a)3 (b)4 (c)5 (d)6 (e)7 (f)8 (g)9.....	116
Şekil Ek 2.1	Kesmede plastikleşen 60 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	117
Şekil Ek 2.2	Kesmede plastikleşen 60 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	118
Şekil Ek 2.3	Kesmede plastikleşen 60 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	119
Şekil Ek 2.4	Kesmede plastikleşen 90 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	120
Şekil Ek 2.5	Kesmede plastikleşen 90 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	121
Şekil Ek 2.6	Kesmede plastikleşen 90 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	122
Şekil Ek 2.7	Kesmede plastikleşen 120 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	123
Şekil Ek 2.8	Kesmede plastikleşen 120 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R	

katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	124
Şekil Ek 2.9 Kesmede plastikleşen 120 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	125
Şekil Ek 2.10 Eğilmede plastikleşen 240 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	126
Şekil Ek 2.11 Eğilmede plastikleşen 240 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	127
Şekil Ek 2.12 Eğilmede plastikleşen 240 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	128
Şekil Ek 2.13 Eğilmede plastikleşen 280 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	129
Şekil Ek 2.14 Eğilmede plastikleşen 280 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	130
Şekil Ek 2.15 Eğilmede plastikleşen 280 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	131
Şekil Ek 2.16 Eğilmede plastikleşen 320 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	132
Şekil Ek 2.17 Eğilmede plastikleşen 320 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	133
Şekil Ek 2.18 Eğilmede plastikleşen 320 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	134
Şekil Ek 2.19 Orta uzunlukta 140 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	135

Şekil Ek 2.20	Orta uzunlukta 140 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlemler (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	136
Şekil Ek 2.21	Orta uzunlukta 150 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlemler (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	137
Şekil Ek 2.22	Orta uzunlukta 180 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlemler (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	138
Şekil Ek 2.23	Orta uzunlukta 180 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlemler (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	139
Şekil Ek 2.24	Orta uzunlukta 180 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlemler (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	140
Şekil Ek 2.25	Orta uzunlukta 220 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlemler (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	141
Şekil Ek 2.26	Orta uzunlukta 220 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlemler (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	142
Şekil Ek 2.27	Orta uzunlukta 220 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlemler (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı	143
Şekil Ek 4.1	Kullanılan depremlemler ivme kayıtları (a) Dep 01 (b) Dep 02 (c) Dep 03 (d) Dep 04 (e) Dep 05 (f) Dep 06 (g) Dep 07 (h) Dep 08	145
Şekil Ek 4.2	Kullanılan depremlemler ivme kayıtları (a) Dep 09 (b) Dep 10 (c) Dep 11 (d) Dep 12 (e) Dep 13 (f) Dep 14 (g) Dep 15 (h) Dep 16	146
Şekil Ek 4.3	Kullanılan depremlemler ivme kayıtları (a) Dep 17 (b) Dep 18 (c) Dep 19 (d) Dep 20 (e) Dep 21 (f) Dep 22 (g) Dep 23 (h) Dep 24	147
Şekil Ek 4.4	Kullanılan depremlemler ivme kayıtları (a) Dep 25 (b) Dep 26 (c) Dep 27 (d) Dep 28 (e) Dep 29 (f) Dep 30 (g) Dep 31 (h) Dep 32	148
Şekil Ek 4.5	Kullanılan depremlemler ivme kayıtları (a) Dep 33 (b) Dep 34 (c) Dep 35 (d) Dep 36 (e) Dep 37 (f) Dep 38 (g) Dep 39 (h) Dep 40	149
Şekil Ek 4.6	Kullanılan depremlemler ivme kayıtları (a) Dep 41 (b) Dep 42 (c) Dep 43 (d)	

Dep 44 (e) Dep 45 (f) Dep 46 (g) Dep 47 (h) Dep 48	150
Şekil Ek 4.7 Kullanılan depremlerin ivme kayıtları (a) Dep 49 (b) Dep 50 (c) Dep 51 (d) Dep 52 (e) Dep 53 (f) Dep 54 (g) Dep 55 (h) Dep 56	151
Şekil Ek 4.8 Kullanılan depremlerin ivme kayıtları (a) Dep 57 (b) Dep 58 (c) Dep 59 (d) Dep 60 (e) Dep 61 (f) Dep 62 (g) Dep 63 (h) Dep 64	152
Şekil Ek 4.9 Kullanılan depremlerin ivme kayıtları (a) Dep 65 (b) Dep 66 (c) Dep 67 (d) Dep 68 (e) Dep 69 (f) Dep 70 (g) Dep 71 (h) Dep 72	153
Şekil Ek 4.10 Kullanılan depremlerin ivme kayıtları (a) Dep 73 (b) Dep 74 (c) Dep 75 (d) Dep 76 (e) Dep 77 (f) Dep 78 (g) Dep 79 (h) Dep 80	154
Şekil Ek 5.1 Tasarım programının akış diyagramı (Özhendekci ve Özhendekci, 2007)	155

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Kullanılan çelik cinslerinin özellikleri	23
Çizelge 3.2 Boyutlandırılan model çerçevelerin özellikleri	25
Çizelge 6.1 Sistem çözümlerinde kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri.....	51

ÖNSÖZ

Bu doktora tezinin hazırlanması sırasında, her konuda bana yardımcı olan sayın meslektaşım ve sevgili eşim Dr. Nuri ÖZHENDEKİ'ye ne kadar teşekkür etsem azdır. Ne aşamada olursa olsun, verilen her karar için saatlerce, günlerce süren bilimsel tartışmalar ve bitmeyecek gibi görünen kaygıları aynı anda yaşadık. Kendisine, özgün bilgisayar programlarının hazırlanmasındaki etkinliğinden ve özellikle, çalışmanın düşünsel derinliğine yaptığı katkılardan ötürü şükranlarımı sunuyorum.

Tez danışmanım sayın Prof. A. Zafer ÖZTÜRK'e, tez izleme komitemde yer alan sayın Prof. Zekeriya POLAT ve sayın Prof. Dr. Gülay ALTAY'a yapıcı eleştirileri ve çalışmaya katkılarından dolayı çok teşekkür ediyorum.

ÖZET

Günümüzde yapıların deprem yükleri altında tasarımı için genellikle elastik hesaba dayalı, kuvvet esaslı yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Kuvvet esaslı yöntemlerde, elastik taban kesme kuvveti değeri, Sistem Katsayısı'na (R) bölünerek tasarıma esas taban kesme kuvveti belirlenir. Şartnamelerde, taşıyıcı sistem tipi ve yapı malzemesine bağlı olarak R katsayılarına 1 ile 8 arasında değişen değerler verilmiştir. Ancak deprem yönetmelikleri ve ilgili yayınlar incelendiğinde, bu değerlerin daha çok şartname hazırlayan komitelerde yer alan mühendislerin tecrübeleri, yargıları ve geçmiş depremlerde gözlenen yapı performanslarına bağlı olarak belirlendiği görülür. Bu konuda sistematik araştırmalar yapılarak mevcut değerlerin doğrulanmasına ihtiyaç vardır.

Bu gereksinime paralel olarak, dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin sistem katsayıları özgün bir yaklaşımla, 80 adet deprem kaydı için çok katlı yapılarda gerçekleştirilen doğrusal elastik olmayan çözümler aracılığıyla araştırılmıştır. Dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin tercih nedeni, diğer taşıyıcı sistem tiplerine nispeten çok yeni ve pek çok bakımdan davranışları derinlemesine incelenmemiş olmalarıdır. Tezin ana hedefi R katsayılarının araştırılması olmakla birlikte, dışmerkez çaprazlı çerçeve tasarımında optimizasyondan, çerçeve geometrisinin süneklik üzerindeki etkisine kadar pek çok konu araştırılmıştır.

105 adet kesmede plastikleşen bağ kirişli, 105 adet eğilmede plastikleşen bağ kirişli ve 105 adet de orta uzunlukta bağ kirişleri içeren model çerçeveler, yazılan bir bilgisayar programı yardımıyla boyutlandırılmıştır. Tasarlanan yapıların genel özellikleri anlatılmış ve çerçeve geometrisinin ağırlık üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Model çerçevelerin DRAIN-2DX bilgisayar programıyla yapılacak doğrusal elastik olmayan analizlerinde kullanılmak üzere otomatik giriş dosyası hazırlayan bir bilgisayar programı kodlanmıştır. R katsayıları incelenirken, her bir deprem kaydı için çerçevenin bağ kirişlerinden herhangi biri dönme kapasitesine ulaşınca kadar, deprem ölçek katsayısı üzerinde iterasyon yapılmıştır. Tasarlanan çerçevelerin doğrusal olmayan itme analizleri ile süneklikle ilgili olarak elde edilen önemli bulgular sunulmuştur. Sistemlerin elastik olmayan statik ve dinamik analizleri, yükseklik boyunca katlara dağılan maksimum bağ kirişi dönmeleri açısından kıyaslanmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar ve özgün katkılar özetlenerek tasarıma yönelik öneriler getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sistem katsayısı (R), dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve, bağ kirişi, doğrusal ve elastik olmayan dinamik çözüm, statik itme analizi, süneklik

ABSTRACT

At present the force-based procedures are generally preferred for seismic design of structures. In force-based procedures, design base shear is obtained by dividing the elastic base shear into the seismic response modification factor (R). In seismic codes, the numerical values assigned to R factors differ between 1 to 8. When the seismic codes and relevant publications are examined, it can be found out that these values were generally selected through the experience and judgement of the members of the engineering committees and observed performance of buildings during past earthquakes. Systematic investigations are necessary for the verification of existing assigned values.

Due to this necessity, R factors of eccentrically braced frames are investigated with an original approach in which 80 earthquake records those are utilised during the inelastic analyses of multi-storey structures. Eccentrically braced frames are chosen for the numerical evaluations since they are new compared to conventional structural system types and are not investigated deeply yet. Consequently, though the main purpose of this dissertation is to investigate the R factors, too many research topics such as the design optimization of eccentrically braced frames and the effects of frame geometry on global ductility are also studied thoroughly.

105 frames with shear yielding links, 105 with flexural yielding links and 105 frames with intermediate links are designed by the coded program for this purpose. The basic characteristics of the designed frames and the effects of the frame geometry on the frame weights are given. A computer program is coded in order to produce the input files for DRAIN-2DX, which is utilised for the inelastic analyses of the model frames. During the investigation of R factors, an iterative procedure is used to determine the scale factor of the earthquake record that causes one of the links of the concerned frame to reach its plastic rotation capacity. The important findings of the push-over analyses of the designed frames about the global ductility of frames are given. The comparison of the static and dynamic inelastic analyses of the designed frame are based on the distribution of the maximum link rotation along the height of the structure. The results and original contributions are summarized and recommendations for design are also provided.

Keywords: Seismic response modification factor (R), eccentrically braced steel frame, link, inelastic dynamic analysis, push-over analysis, global ductility

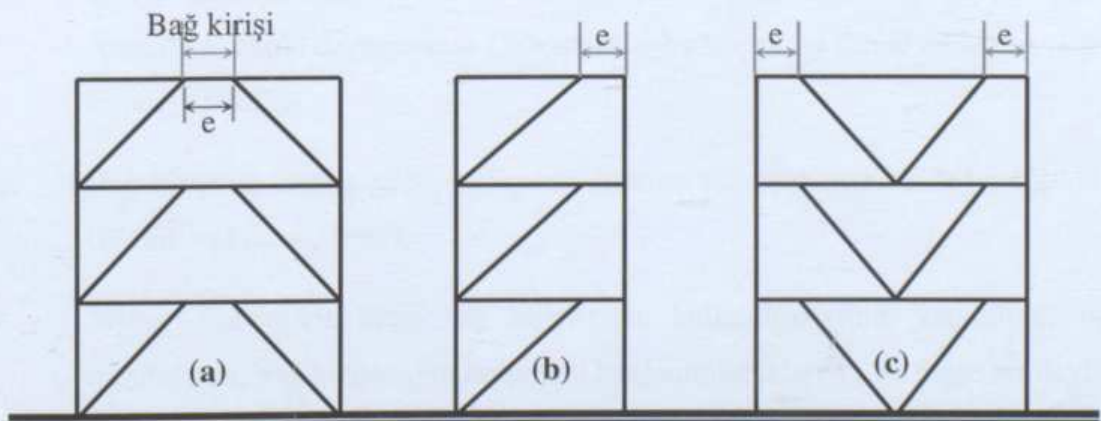
1. DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELER

1.1 Giriş

Dışmerkez aprazlı ereveler (D), merkezi aprazlı erevelerin (M) yüksek yanal elastik rijitliği ile rijit çerçevelerin yüksek süneklik ve enerji dağıtma kapasitelerini birleőtirerek depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından ekonomik çözümler sağlayan melez sistemlerdir. D'ler kiriőlerden, kolonlardan ve en az bir ucu bir kiriş-kolon veya kiriş-çapraz birleőtimine kısa bir mesafede kirişe bağlanan çaprazlardan oluőurlar; arada kalan bu kısa kiriş parçalarına bağ kiriş (*link*) adı verilir (Şekil 1.1). D'lerin tasarımında ana hedef nadiren gerçekleşen şiddetli depremler etkisinde elastik ötesi davranışın tümünü bağ kirişlerinin plastik davranışı ile sınırlandırırken, geriye kalan yapı elemanlarının elastik kalmasını sağlamaktır.

1.2 Dışmerkez aprazlı elik çerçeveler ile İlgili Yapılan Bilimsel alıőmalar

D fikri ilk defa 1977 yılında tamamlanmış olan, Popov'un danıőmanlıėını yaptėı Roeder'in doktora tezinde ortaya konulmuőtur. Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneylerle, temel varsayımlar ve ngrlerin doğrulanmasının ardından (Roeder ve Popov, 1977; Roeder, 1977; Roeder ve Popov, 1978 (a)) Kaliforniya niversitesi'nde D'ler ile ilgili deneysel ve analitik çalışmalar baőlatılmıőtır. Deneysel alıőmalar iki grupta sınıflandırılabilirler: nispeten düşük maliyetli yalnızca bağ kirişlerinin incelendiği deneyler ve model yapıların çevrimsel olarak yüklendiği yüksek maliyetli deneyler. Yapılan analitik çalışmalarda ise, şartnamelerde yer alacak tasarım yöntemini ve bağ kirişinin elastik ötesi davranış modelini oluşturmak hedefleri gözetilmiştir.



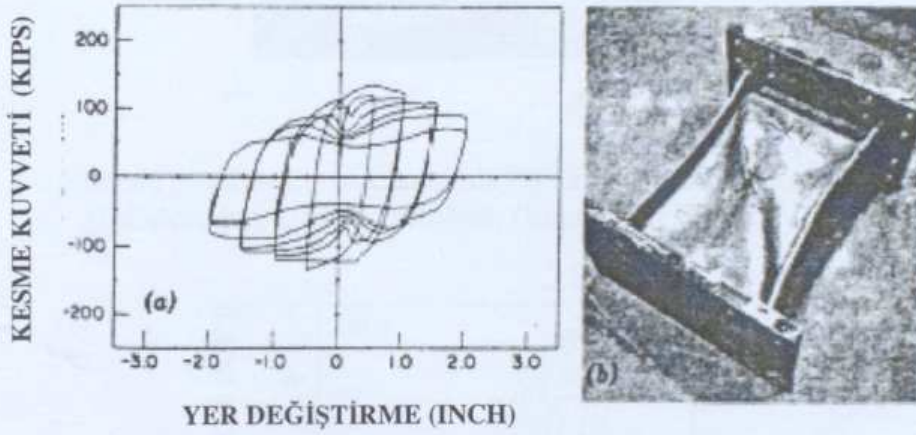
Şekil 1.1 Dışmerkez aprazlı elik ereve tipleri

1.2.1 Deneysel Çalışmalar

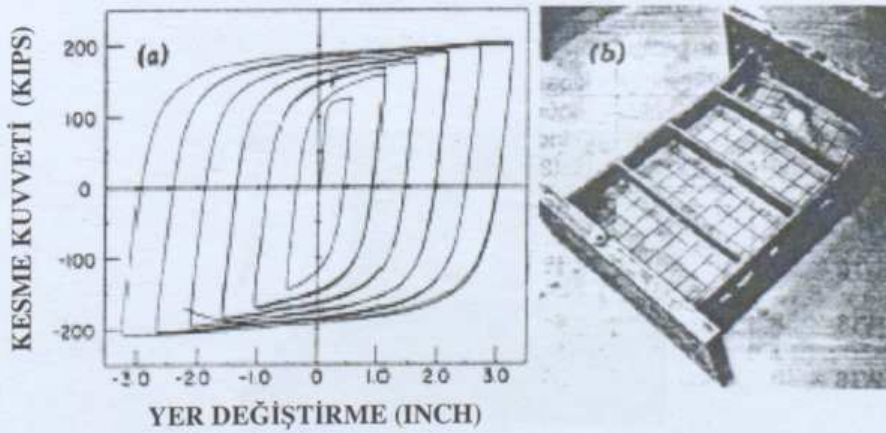
Bağ kirişlerinde yapılan deneylerde kısa bağ kirişlerinin kesme etkisiyle, uzun olanların ise eğilme etkisiyle aktığı gözlenmiştir. Ayrıca, kesme etkisinde plastikleşen orta uzunluktaki bağ kirişlerinde, aynı anda eğilme mafsallarının da oluşabildiği tespit edilmiştir (Roeder ve Popov, 1977; Roeder, 1977; Roeder ve Popov, 1978 (b)). Kesmede plastikleşen bağ kirişlerinin, gövdelerinin rijitlik levhaları ile güçlendirilmesi şartıyla, çevrimsel stabilitelerini kaybetmeden büyük plastik yer değiştirmeler yapabildikleri ve yüksek enerji yutma kapasitesine sahip oldukları ortaya çıkmıştır (Şekil 1.2-1.3). Deney sonuçlarına dayanarak gövde rijitlik levhalarının tasarımı için bir yöntem geliştirilmiş (Malley ve Popov, 1984) ve tespit edilecekleri uygun aralıklar için üst sınırlar belirlenmiştir (Kasai ve Popov, 1986(a)). Önemli diğer bulgular şöyle özetlenebilir:

- i. Deneylerin tamamı, kesmede plastikleşen bağ kirişlerinin elastik ötesi performanslarının, eğilmede akanlara (Şekil 1.4) ve orta uzunluktakilere (Şekil 1.5) nazaran daha yüksek olduğunu göstermiştir (Bunun sebebi, kesmede plastikleşen bağ kirişlerinde plastikleşmenin eleman boyunca tüm gövdeye yayılabilirken, eğilmede akanlarda uçlarda toplanmasıdır).
- ii. Kesme ve eğilme arasındaki etkileşim ihmal edilebilir mertebededir (Kasai ve Popov, 1986(b)). Deney sonuçları esas alınarak, kesme kuvveti-moment karşılıklı etki diyagramı çizildiğinde, teorik modellerle öngörülen ilişkiler doğrulanmamış ve yaklaşık dikdörtgene benzeyen bir ilişki yani bir nevi etkileşimsizlik elde edilmiştir (Şekil 1.6).
- iii. Çerçeve geometrisi gereği, yanal kuvvetler etkisiyle bağ kirişinde eksenel kuvvet oluşuyorsa (Şekil 1.1(b),(c)), elastik ötesi davranışta önemli ölçüde bozulma ortaya çıkabilir. Öte yandan, mevcut eksenel kuvvet, bağ kirişinin eksenel (çekmede) akma dayanımının 15% inden daha küçük ise ihmal edilebilir (Kasai ve Popov, 1986(b)).
- iv. Bağ kirişinin taşıma gücü, kompozit döşeme etkisiyle dikkate değer ölçüde artar (Ricles ve Popov, 1989).
- v. Mimari sebeplerle uzun bağ kirişlerinin kullanılmalarının kaçınılmaz olduğu durumlarda, bağ kirişlerinin kolonlara bağlanılmamaları ya da diğer bir deyişle bu duruma uygun çerçeve geometrisi (Şekil 1.1(a)) seçmek önerilir (Engelhardt ve Popov, 1992).

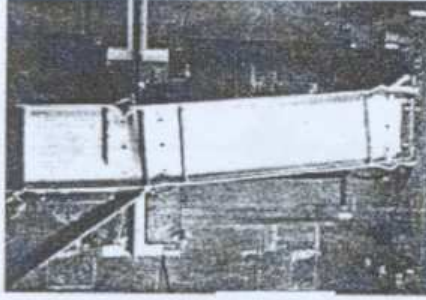
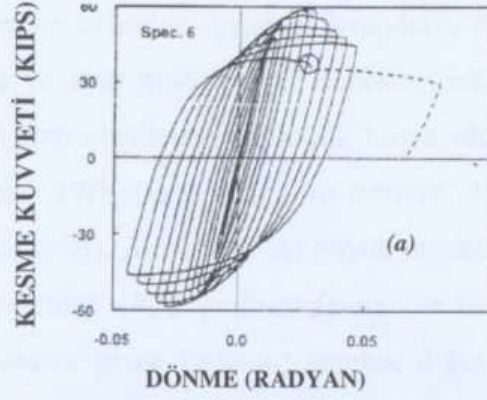
Model yapıların çevrimsel olarak yüklendiği yüksek maliyetli deneysel çalışmalardan ilki, Japonya ve Amerika'nın ortaklaşa yürüttükleri, Japonya Tsukuba'da bulunan büyük ölçekli yapı laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel çalışma dört aşamalıdır ve her aşamasında birebir ölçekteki model yapıda çevrimsel yükleme deneyleri yapılmıştır. Birinci aşamada model yapı birbirine dik her iki doğrultusunda hem rijit, hem de merkezi çaprazlı çerçeveler içermektedir. Birinci aşamanın tamamlanmasından sonra, çapraz çubuklar çıkarılıp yapı onarılmış, dışmerkez çapraz çubukları tespit edilmiş ve yükleme deneylerine geçilmiştir. Daha sonra dış merkez çapraz çubuklar da çıkarılarak, bu kez yalnızca rijit çerçeveli yapı elde edilmiş ve üçüncü aşama deneylerine başlanmıştır. Dördüncü aşamadaki deneyler ise yapısal olmayan duvarlar, kaplamalar, vb. üzerinde yapılmıştır (Foutch, Goel ve Roeder, 1987; Roeder, Foutch ve Goel, 1987; Foutch, 1989; Goel ve Boutros, 1989; Tang ve Goel, 1989)).



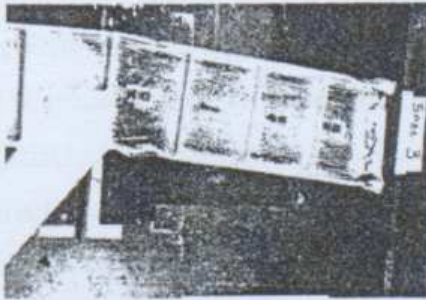
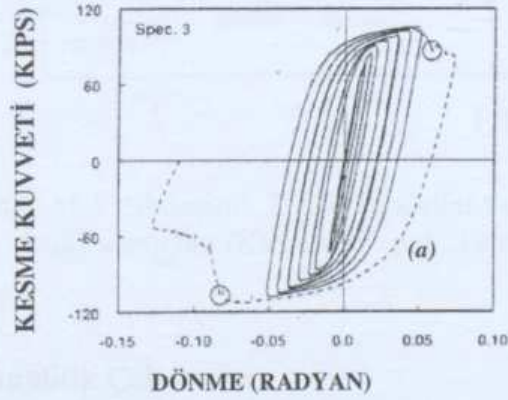
Şekil 1.2 Gövdesi rijitlik levhaları ile güçlendirilmemiş kesmede plastikleşen bağ kirişinde: (a)Çevrimsel davranış geçmişi, (b)Göçen bağ kirişinin fotoğrafı (Hjelmstad ve Popov, 1983)



Şekil 1.3 Gövdesi rijitlik levhaları ile güçlendirilmiş kesmede plastikleşen bağ kirişinde: (a) Çevrimsel davranış geçmişi, (b) Göçen bağ kirişinin fotoğrafı (Hjelmstad ve Popov, 1983)

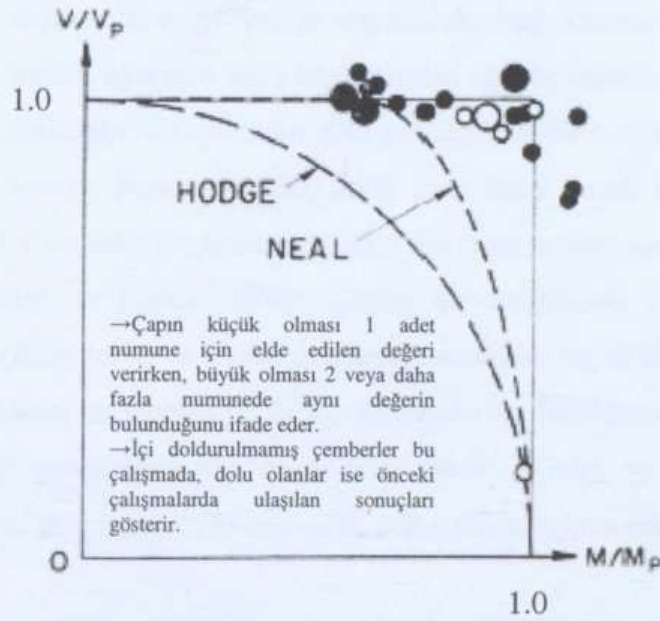


Şekil 1.4 Eğilmede plastikleşen bağ kirişinde (W12x26): (a)Çevrimsel davranış geçmişi, (b)Göçen bağ kirişinin fotoğrafı (Engelhardt ve Popov, 1992)



Şekil 1.5 Orta uzunluktaki bağ kirişinde (W12x26): (a)Çevrimsel davranış geçmişi, (b)Göçen bağ kirişinin fotoğrafı (Engelhardt ve Popov, 1992)

Bu büyük ölçekli çalışmanın ardından, yapılan deneylerin ilgili şartnameyi tam anlamıyla yansıtmadığı düşünülmüş ve aynı model yapı, Berkeley'deki laboratuvarın mevcut sarsma tablasının kapasitesi açısından olabilecek en büyük boyut olan 0.3048 ölçekle inşa edilerek yeni bir çalışma yapılmıştır (Whittaker, Uang ve Bertero, 1989; Bertero, Uang, Llopiz ve Igarashi, 1989; Lee ve Lu, 1989). Anılan her iki büyük ölçekli deneysel çalışma da Popov ve öğrencileri tarafından öngörülen DÇÇ performansının ve tasarım yönteminin doğruluğunu kanıtlamakla kalmamış, ayrıca gerek DÇÇ ve gerekse diğer yanal yük taşıyıcı sistemlerin süneklik ve R katsayılarının da araştırılmasına olanak tanımıştır.



Şekil 1.6 Bağ kirişlerinde M-V etkileşimi: Teorik modeller ve 26 numune için elde edilen deney sonuçları (Kasai ve Popov, 1986(b))

1.2.2 Parametrik ve Analitik Çalışmalar

1980li yıllarda DÇÇ'lerin yapısal süneklik ve yanal yük taşıma kapasitelerini irdeleyen çok az sayıda ve kısıtlı parametrik çalışma yapılmıştır. Bunlardan birinde, tek katlı, tek açıklıklı iki tip DÇÇ (Şekil 1.1(a),(b)) kullanılarak, bağ kirişi uzunluğunun çerçeve açıklığına oranının, çerçevelerin yanal elastik rijitlikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bu oranın 0.2'den büyük değerleri için çerçeve rijitlikleri hızla azalmaktadır. Öte yandan, kullanılan çerçevelerdeki elemanlara profil kesitleri atanmamış; elemanlar rasgele verilen eğilme, kesme ve eksenel rijitlik değerleri ile ifade edilmişlerdir (Hjelmstad ve Popov, 1984). Diğer bir parametrik çalışma ise, Engelhardt ve Popov (1989) tarafından kiriş ve çapraz arasındaki açının kiriş eksenel kuvveti üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmada tek açıklıklı, tek katlı bir DÇÇ tipinde (Şekil 1.1 (b)), kiriş kesiti

olarak geniş başlıklı W21x56 profili seçilmiş ve çeşitli açılar için kiriş eksenel kuvvetinin değişimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara dayanarak; kiriş normal kuvvetini sınırlandırmak amacıyla, kiriş ve çapraz arasında 35° den daha dar açılar tercih edilmemesi gerektiği öne sürülmüştür.

Konuyla ilgili analitik çalışmalarda en önemli amaçlardan birisi, elastik ötesi sistem çözümlerinde faydalanılmak üzere bağ kirişlerinin elastik ötesi davranışlarını gerçeğe uygun olarak modelleyebilmektir. Bağ kirişinin ilk analitik modeli, konunun öncüleri Roeder ve Popov tarafından sunulmuştur (Roeder ve Popov, 1977; Roeder, 1977; Roeder ve Popov, 1978(b)); sınırlı miktardaki deneysel veriye dayanarak, bağ kirişini sandviç kiriş olarak modellemişlerdir. Bu model uyarınca kiriş başlıklarının eğilme momentini, kiriş gövdesinin ise kesme kuvvetini karşıladığı varsayılmıştır. Öte yandan 1980lerin sonunda biriken deneysel veriye dayanarak Ricles ve Popov, sandviç kiriş modelinin kısıtlı durumlar için geçerli olduğunu öne sürmüşler ve daha genel bir bağ kirişi davranış modeli oluşturmuşlardır (Ricles ve Popov, 1987; Ricles ve Popov, 1994). Çeşitli uzunluklardaki bağ kirişlerinin sonlu elemanlar metoduyla çözümlerini de içeren çok sayıda analizler yaptıktan sonra (Ghobarah ve Ramadan, 1991; Ramadan ve Ghobarah, 1991) Ramadan ve Ghobarah (1995), yeni bir bağ kirişi davranış modeli geliştirmişlerdir. Esasen bu model, Ricles ve Popov'un modelinin DRAIN-2DX bilgisayar programında kullanılmak üzere düzenlenmiş şeklidir de denilebilir.

1.2.3 1994 Northridge Depreminin Etkileri

1994 Northridge depreminde rijit çerçevelerin gösterdiği son derece kötü performans nedeniyle pek çok araştırmacı rijit çerçevelerle ilgili çalışmaya başlamış ve 90'ların ortasına kadar aktüel bir araştırma konusu olan DÇÇ'lere ilgi azalmıştır. 1994 Northridge depreminde kuvvetli kolon-zayıf kiriş prensibine uygun olarak, kolonları yüksek mukavemetli ASTM A572 çeliği, kirişleri ise daha yumuşak olan ASTM A36 çeliği ile teşkil edilen rijit çerçevelerin çoğunda, beklenmeyen bir şekilde kiriş-kolon birleşim bölgelerindeki kaynakların attığı gözlenmiştir. Yapılan incelemelerde o dönemde Amerika'daki çelik profillerin üretiminde malzemenin akma dayanımı için yalnızca standart bir alt sınırın bulunması ve herhangi bir üst sınır olmamasının buna neden olduğu saptanmıştır. Şöyle ki, kirişleri oluşturan A36 çeliğinin gerçek akma değeri hesap değerinden çok daha fazla olduğundan, birleşim kaynaklarına ve kolonlara öngörülenden çok daha fazla yük gelmiştir. Çelik malzemenin gerçek dayanımının hesap dayanımından büyük olması olumlu gibi görünmekle birlikte, bu durum kapasite tasarımı ile boyutlandırılan yapılar için tasarımcıyı yanıltabilmektedir. Bu nedenle, 1997 senesinde ASTM, akma dayanımı üstten sınırlandırılmış

A992 çeliğiyle ilgili şartnameyi sunmuştur. ASTM A992 çeliği günümüzde Amerika'da geniş başlıklı W kesitlerde en çok kullanılan malzeme cinsidir. Ayrıca Northridge depremi sonrasında, tüm çelik sınıflarına ait, beklenen gerilmenin akma gerilmesinin kaç misli olduğunu ifade eden, beklenen değer katsayıları (R_y) Amerikan şartnamelerindeki yerini almıştır.

Yukarıda anılan DÇÇ'lerle ilgili tüm deneysel ve analitik çalışmalarda A36 çeliği esas alındığından, DÇÇ'lerin A992 çeliği ile teşkili durumunda elastik ötesi davranışta bu çelik sınıfının etkilerinin neler olacağının araştırılması zorunlu hale gelmiştir. Nitekim 2002 yılında Teksas Üniversitesinde Arce tarafından bu yeni malzeme ile teşkil edilen bağ kirişlerinde deneyler yapılmıştır. Richards bu deneylerden elde edilen veri ile A992 çeliği için elastik ötesi bağ kiriş davranış modeli geliştirmiştir (Richards, 2004). Ayrıca Richards ve Uang, 112 adet bağ kirişinde yaptıkları sonlu eleman çözümlerini esas alarak bağ kirişleri için başlık genişliğinin başlık kalınlığına oranı için mevcut üst sınırın azaltılmasını önermişler (2005) ve bu öneri şartnameler tarafından kabul görmüştür (AISC Seismic Provisions, 2005).

1.3 Dışmerkez Çaprazlı Çelik Çerçevelerin Depreme Dayanıklı Tasarımı

DÇÇ tasarım kuralları SEAOC tarafından 1988 yılında yayınlanan depreme dayanıklı tasarıma ilişkin yükümlülüklerde yerini almıştır; ardından aynı tasarım kurallarına küçük düzeltmelerle 1988 UBC'de de yer verilmiştir. Aslında, yöntem ilk defa 1985 yılında deneme amaçlı olarak NEHRP tarafından yayınlanmış olmakla birlikte, günümüzde bile geçerliliğini koruyan en kapsamlı hali 1990 yılında AISC tarafından sunulandır. Tasarım yöntemi belli aralıklarla düzeltilmiştir (AISC 1992, 1997, 2002, 2005). Günümüzde, Yeni Zelanda ve Kanada Şartnameleri, Eurocode 6, Türk Deprem Yönetmeliği vb. pek çok resmi yayınlar Amerikan şartnamelerini esas almışlardır; çünkü yukarıda özetlendiği üzere DÇÇ'lerle ilgili deneysel ve teorik çalışmaların neredeyse tamamı ABD'de kullanılan çelik cinsleri ve kesit tipleri için yapılmıştır.

1.3.1 Bağ Kirişi Teşkil Biçimleri

Bir bağ kirişinin elastik ötesi davranış biçimini en çok etkileyen unsurlar, bağ kirişinin uzunluğu ve enkesitinin M_p/V_p oranıdır. Burada M_p ve V_p sırasıyla, bağ kirişinin plastik moment ve plastik kesme taşıma gücü değerleridir. Bağ kirişinin kesme etkisiyle akabilmesi için, pekleşme etkileri ihmal edilirse aşağıdaki denklemin sağlanması gereklidir:

$$e \leq \frac{2M_p}{V_p} \quad (1.1)$$

Ancak deneysel çalışmalar göstermiştir ki, göçme limit durumuna kadar yüklenen bağ kirişlerinde, en büyük kesme kuvveti ve moment, pekleşmenin de etkisiyle yaklaşık olarak $1.2M_p$ ve $1.5V_p$ değerlerine ulaşmaktadır. Bu durumu dikkate alan Kasai ve Popov, (1.1) ifadesini düzenleyerek, kesmede akma şartı için şartnameler tarafından da kabul gören şu ifadeyi elde etmişlerdir (1986(b)):

$$e \leq \frac{2 \times 1.2M_p}{1.5V_p} = \frac{1.6M_p}{V_p} \quad (1.2)$$

Eğer bağ kirişinin uzunluğu aşağıdaki şartı sağlarsa bağ kirişinin elastik ötesi davranışı esnasında yalnızca eğilme mafsallarının oluşacağı öngörülmektedir:

$$e \geq \frac{2.6M_p}{V_p} \quad (1.3)$$

Bağ kirişinin uzunluğu (1.2) ve (1.3) eşitliklerinde verilen limit durumların arasında kalıyorsa; elastik ötesi davranış esnasında hem kesme, hem de eğilme etkisinde akma eş zamanlı olarak gerçekleşebilecektir:

$$\frac{1.6M_p}{V_p} < e < \frac{2.6M_p}{V_p} \quad (1.4)$$

1.3.2 Kapasiteye Dayalı Tasarım (AISC, 2005)

DÇÇ tasarımında ana hedef, elastik ötesi davranışı sünek bağ kirişlerinde sınırlandırmaktır; bu amaçla kapasiteye dayalı tasarım yapılır. Kapasiteye dayalı tasarımda, bağ kirişleri şartnameye uygun olarak belirlenmiş yük grupları dikkate alınarak boyutlandırılırken, geri kalan tüm elemanlar tamamen akmış ve pekleşmiş bağ kirişlerinin neden olacağı kesit zorlarını, elastik kalarak karşılayacak biçimde boyutlandırılırlar. Takip eden kısımda, kullanılan çerçeve çeşitleri için tasarım kuralları özetlenmiştir.

Bağ kirişinin tasarıma esas kesme taşıma gücü, dikkate alınan yük grupları etkisinde oluşan kesme kuvveti değerlerinden en büyüğü olan V_u 'dan daha küçük olmamalıdır:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (1.5)$$

$$\phi = 0.90$$

$$V_p = 0.6 f_y A_w$$

$$A_w = (d_b - 2t_f)t_w$$

Burada ϕ taşıma gücü katsayısı (*resistance factor*); V_n ise, V_p veya $2M_p/e$ değerlerinden küçük olanıdır. f_y çeliğin akma gerilmesi için tanımlanmış alt sınır değeridir. A_w , d_b , t_f ve t_w ise sırasıyla, bağ kirişi profilinin gövde alanı, toplam yüksekliği, başlık kalınlığı ve gövde kalınlığıdır.

Bir DÇÇ'de çaprazlar, bağ kirişlerinde oluşacak aşağıdaki kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerini karşılayabilecek taşıma gücüne sahip olmak zorundadır:

$$\text{Bağ kirişi kesme kuvveti} = 1.25 \times R_y \times V_n \quad (1.6)$$

$$\text{Bağ kirişi uç momenti} = e \times (1.25 \times R_y \times V_n) / 2 \quad (1.7)$$

Yukarıdaki ifadelerde, R_y beklenen değer katsayısı (*ratio of the expected yield stress to the specified minimum yield stress*) ve 1.25 ise pekleşmeyi dikkate alan bir katsayıdır.

Geçmişte deneysel verilere dayanılarak, beklenen değer ve pekleşme etkilerinin her ikisini birden dikkate almak için 1.5 katsayısının kullanılması önerilmiştir (Kasai ve Popov, 1986(b); Engelhardt ve Popov, 1989). Öte yandan, tasarım esnasında R_y katsayısının bağ kirişinde dikkate alınırken çaprazda dikkate alınmaması, birden küçük taşıma gücü ve birden büyük yük katsayıları kullanmak gibi sebeplerle hadde ürünü geniş başlıklı W kesitler için 1.5 yerine $1.25 \times R_y$ katsayısı uygun görülmüştür (Okazaki, Arce ve Ryu, 2005).

Çaprazların boyutlandırılması sırasında yukarıda anılan kuvvetler, elastik çerçeve analizi yardımıyla yaklaşık olarak belirlenebilir. Örneğin, bir bağ kirişinde ilgili yük grubu etkisinde oluşan kesme kuvveti V ve ona komşu çapraz çubukta oluşan eksenel kuvvet P_c olsun. Bağ kirişindeki kesme kuvvetinin (1.6) eşitliği ile verilen değere ulaşması sonucunda çaprazda oluşacak olan en büyük eksenel kuvvet değeri olan $P_{maks,c}$ yaklaşık olarak şöyle hesaplanabilir:

$$P_{maks,c} = (1.25 \times R_y \times V_n) \times \frac{P_c}{V} \quad (1.8)$$

Benzer biçimde, bağ kirişi uçlarında oluşacak ve (1.7) eşitliği ile elde edilen en büyük eğilme momentinin, çapraz ve kirişe hangi oranda paylaştırılacağını belirlemek için de elastik çerçeve analizinden istifade edilebilir.

Genellikle bir kattaki bağ kirişi ve dışında kalan kiriş parçaları için ayrı ayrı kesitler seçilmez ve çerçeve açıklığı sürekli bir elemanla geçilir. Bu durumda, bağ kirişinde oluşacak kesit zorunu arttırıcı bir etkisi olan R_y katsayısının aynı zamanda kiriş parçalarının taşıma güçlerinde de arttırıcı etkisi vardır. Öte yandan, kompozit döşeme kiriş parçalarını güçlendireceğinden ve kiriş parçalarında oluşabilecek sınırlı miktarda akmanın çerçeve performansı üzerinde dikkate değer ölçüde etkisi olmayacağından, pekleşme katsayısı da 1.1e düşürülebilir. Sonuç olarak kiriş parçalarının, bağ kirişlerinde oluşacak aşağıdaki kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerini karşılaması istenir:

$$\text{Bağ kirişi kesme kuvveti} = 1.1 \times V_n \quad (1.9)$$

$$\text{Bağ kirişi uç momenti} = e \times (1.1 \times V_n) / 2 \quad (1.10)$$

Kolon tasarımı şimdiye kadar değinilen eleman tasarımlarından biraz farklıdır. Birkaç katlı, yükeklığı az DÇÇ'lerde her bir kat kolonunun normal kuvvet taşıma gücünün, bulunduğu kat ve üstünde kalan katlardaki bağ kirişlerinde (1.6) ile hesaplanan kesme kuvvetlerinin toplamından, küçük olmaması gerekmektedir. Bu yaklaşım tüm bağ kirişlerinin eş zamanlı olarak pekleşmesi varsayımına dayanmaktadır. Öte yandan DÇÇ'lerde kat sayısı artınca, depremde yüksek modların etkisiyle eşzamanlı pekleşme varsayımı gerçekçi olmaz, dolayısıyla yüksek DÇÇ'lerde kolon tasarımında (1.6) ifadesindeki 1.25 yerine 1.1 alınabilir.

Yukarıda anılan kurallar LRFD ile uyumludur.

1.3.3 Yer Değiştirme ve Rijitlik Sınırlandırmaları

Bir DÇÇ'nin bağ kirişlerinde oluşması beklenen yer değiştirmelerin elastik ötesi dönme kapasitesini geçmemesi gereklidir. Bağ kirişinin dönme açısı ise rijit-plastik mekanizma oluşacağı varsayımıyla (Şekil 1.7) her hangi bir kat için aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (AISC, 2005):

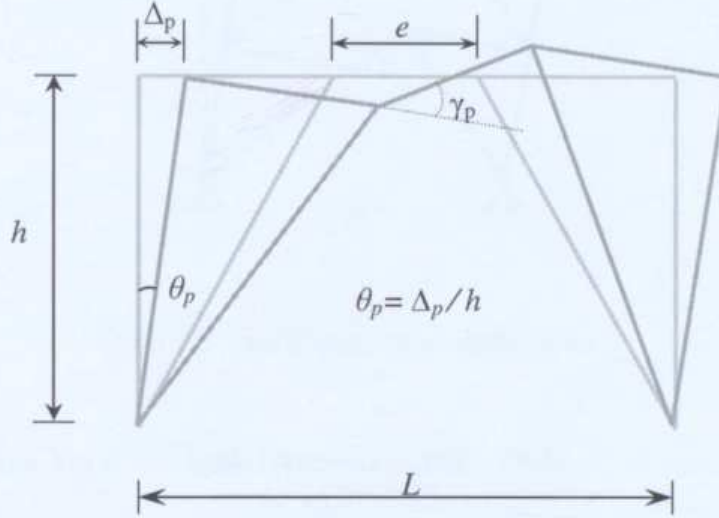
$$\gamma_p = \theta_p \times \frac{L}{e} \quad (1.11)$$

Yukarıdaki ifadede $\theta_p = \frac{\Delta_p}{h}$ dır. γ_p bağ kirişinin radyan cinsinden plastik dönme açısı, Δ_p kat görelî ötelemesi, h kat yüksekliği ve L çerçeve açıklığıdır. Deneysel veriye dayanılarak belirlenmiş bağ kirişlerinin elastik ötesi dönme kapasiteleri ise şöyledir:

$$\text{Kesmede plastikleşen bağ kirişlerinde (shear yielding links) } \gamma_p \leq 0.08 \quad (1.12-a)$$

$$\text{Eğilmede plastikleşen bağ kirişlerinde (flexural yielding links) } \gamma_p \leq 0.02 \quad (1.12-b)$$

$$\text{Orta uzunluktaki bağ kirişlerinde (intermediate links) } \gamma_p \leq 0.176 - \frac{0.06V_p}{M_p}e \quad (1.12-c)$$



Şekil 1.7 Bir DÇÇ için rijit-plastik kat mekanizması

Kapasiteye dayalı tasarım kabullerinde, çerçeve mekanizması rijit-plastik kat mekanizmasını bütünlemektedir ve teoride tüm bağ kirişlerinin tasarım deprem yükü etkisinde aynı miktarda döndükleri varsayılır (Şekil 1.8). Öte yandan, bu kabul tam olarak gerçekleşmemekle birlikte, çok yüksek olmayan çerçevelerde deprem yükleri etkisinde bağ kirişi dönme miktarları birbirlerine çok yakın çıkmaktadırlar.

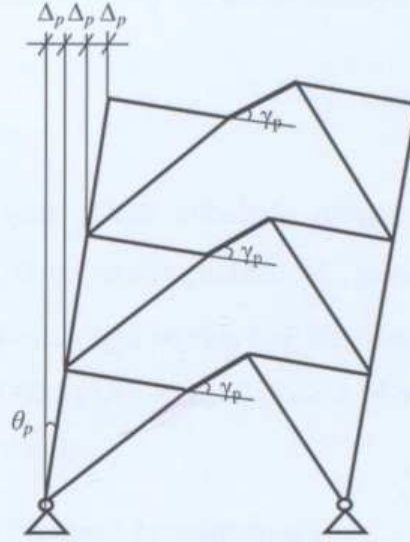
Görelî kat ötelemesi için üst sınır ASCE 7-05 de $0.02 \times h$ olarak verilmiştir.

Yine ASCE 7-05'e göre boyutlandırılmış bir binaya ait hesaplanmış birinci mod periyodu olan T , aşağıdaki şartı sağlamak zorundadır:

$$T \leq C_u \times T_a \quad (1.13)$$

Burada T_a , yapı yüksekliğine, taşıyıcı sistem tipine ve yapı malzemesine bağlı olarak şartnamede verilen yaklaşık birinci mod periyodu değeridir. C_u ise tasarım spektrumunda 1 s periyoduna karşılık gelen spektral ivmenin bir fonksiyonu olan ve hesaplanmış birinci mod periyodu için üst sınır oluşturmak amacıyla kullanılan katsayıdır. Yapıların birinci mod periyotlarının üstten sınırlandırılması, yanal rijitliklerinin alttan sınırlandırılması ile aynı

anlama gelir.



Şekil 1.8 Teorik çerçeve mekanizması

1.3.4 Elemanlar İçin Yerel Narinlik Oranları (AISC, 2005)

Elemanların yerel burkulma limit durumuna ulaşmadan önce plastik mafsallı oluşturabilecek kapasitede olmaları için narinlik oranları, şartname tarafından belirlenmiş üst sınırlardan küçük olmalıdır.

Kolon başlığı için:

$$b_f / 2t_f \leq 0.38 \sqrt{E_s / f_y} \quad (1.14)$$

Bağ kirişlerinin başlığı için:

$$b_f / 2t_f \leq 0.30 \sqrt{E_s / f_y} \quad (1.15)$$

Eğer bağ kirişleri (1.2) eşitliğini sağlıyorsa, (1.15) yerine (1.14) de kullanılabilir. Yukarıdaki ifadelerde b_f profilin başlık genişliği, t_f profilin başlık kalınlığı, E_s ise çeliğin elastisite modülüdür.

Bağ kirişlerinin gövdesi için:

$$\text{Eğer } C_a \leq 0.125 \text{ ise } h_w / t_w \leq 3.14 \sqrt{\frac{E_s}{f_y}} (1 - 1.54 C_a) \quad (1.16-a)$$

$$\text{Eğer } C_a > 0.125 \text{ ise } h_w / t_w \leq 1.12 \sqrt{\frac{E_s}{f_y}} (2.33 - C_a) \geq 1.49 \sqrt{\frac{E_s}{f_y}} \quad (1.16-b)$$

Bu ifadelerde h_w profilin gövde yüksekliğidir. C_a ise bir katsayıdır ve şöyle hesaplanabilir:

$$C_a = \frac{P_u}{\phi_b P_y} \quad (1.17)$$

Burada P_u ilgili elemanda mevcut yükler etkisinde oluşan karşılanması gereken basınç kuvveti, P_y ise elemanın eksenel akma taşıma gücüdür. ϕ_b , taşıma gücü katsayısıdır ve değeri 0.90'dır. Tüm DÇÇ tiplerinin kolonları için ve eğer bağ kirişleri (1.2) eşitliğini sağlıyorsa, bağ kirişleri için, gövde narinlik şartı olan (1.16-a) eşitliğinde 3.14 yerine 3.76 ve 1.54 yerine 2.75 konarak da narinlik kontrolü yapılabilir.

DÇÇ çaprazları için ise herhangi bir koşul getirilmemiştir.

1.4 Çerçevelerin Optimizasyonu İçin Yazılan Programın Genel Özellikleri

Kuşkusuz tüm parametrik çalışmalarda genelleştirmeler yapabilmek için çok sayıda model yapıya ihtiyaç vardır. Ayrıca, çok sayıda model yapı ile çalışılsa bile, elde edilen sonuçların emniyetli alt sınır oluşturabilmesi için, çerçeve elemanlarına gereksinimleri karşılayan en küçük kesitlerin atanması zorunludur. Taşıma gücü gerekenden çok fazla olan elemanlarla teşkil edilmiş bir çerçevenin, yanal rijitlik, süneklik ve R katsayısı değerleri olağan değerlerin üstünde çıkacaktır. Bu sebeplerle, çerçevelerin optimizasyonunun, bilhassa R katsayıları için yapılacak çalışmalarda mecburi olduğu düşünülmektedir ve bu çalışmada da bu amaca uygun olan bir optimizasyon algoritması kullanılmıştır (Özhendekci ve Özhendekci, 2007). Öte yandan, ekonomik tasarım gibi uygulamaya dönük nedenlerle optimizasyon, tercih edilmesi gereken bir yöntemdir.

Kullanılan programın çapraz ve kolon kesitleri için hazırlanan kesit dosyalarındaki sıralama, artan enkesit alanı esas alınarak yapılmıştır. Kiriş kesit dosyası sıralanırken, kesmede plastikleşen bağ kirişleri için artan gövde alanı, eğilmede plastikleşen bağ kirişleri için ise artan plastik mukavemet momenti esas alınmıştır. Orta uzunluktaki bağ kirişleri için bu sıralamayı yapmak hem eğilme, hem de kesme etkisiyle akma oluştuğu için biraz karmaşıktır. Yazılan programda eğer bir önceki iterasyonda $V_n = V_p$ ise kesitler gövde alanına göre sıralanmış, ama eğer $V_n = 2M_p / e$ ise bu defa kesitler plastik mukavemet momentine göre sıralanmıştır.

Çerçeveler, 1.2.2'nci bölümde özetlenen kapasiteye dayalı tasarım kurallarına uygun boyutlandırılmışlardır. Boyutlandırılmış bir çerçevelerin 1.2.3'üncü bölümde verilen yer

değiştirme ve rijitlik koşullarını da sağlaması gereklidir; aksi takdirde çerçevenin tasarım taban kesme kuvveti, ilgili koşullar sağlanıncaya kadar artırılarak tasarım tekrarlanmıştır. Kullanılan tasarım programının akış diyagramı Ek.5'de verilmiştir.

1.5 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada temel amaç DÇÇ'lerin sistem katsayılarının (R) ve sünekliklerinin, çok sayıda model çerçeve kullanılarak araştırılması ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda şartnamelerde mevcut tasarım yöntemlerinin iyileştirmesine yönelik öneriler getirmektir. Model çerçevelerin tasarımı sırasında yükler ve yük grupları ASCE 7-05'e uygun olarak belirlenirken, elemanların boyutlandırılmasında LRFD (1999) şartnamesi esas alınmış ve kapasiteye dayalı tasarım ilkeleri ise AISC Seismic Provisions (2005)'e uygun olarak belirlenmiştir. Model çerçevelerin doğrusal ve elastik olmayan zaman tanım alanında analizleri, DRAIN-2DX programıyla 80 adet deprem kaydı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde, çerçeveler hedeflenen yer değiştirme sınırına ulaşıncaya kadar deprem kayıtlarına ait ölçek katsayılarında, yazılan bilgisayar programı aracılığıyla iterasyon yapılmıştır. Ayrıca, dinamik hesapların yanı sıra çerçevelerin statik itme analizleri de süneklik araştırması sırasında kullanılmıştır.

Birinci bölümde DÇÇ ile ilgili yapılan bilimsel çalışmaların tarihçesi ve depreme dayanıklı DÇÇ tasarım kuralları anlatılmıştır. İkinci bölüm R katsayılarının tanımı ve önemi, ilgili tarihçe ve sistem analizi ile R katsayılarının incelenmesine yönelik özgün yöntemin tanıtılmasına ayrılmıştır. Üçüncü bölümde, tasarlanan yapıların genel özellikleri anlatılmış ve çerçeve geometrisinin ağırlık üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Dördüncü bölümde, doğrusal elastik olmayan analizlerde kullanılmak üzere tasarlanmış çerçevelerin analitik modelleri tanıtılmaktadır. Beşinci bölümde çerçevelerin doğrusal olmayan itme analizleri ile özellikle DÇÇ'lerin süneklikleriyle ilgili elde edilen önemli bulgular sunulmuştur. Altıncı bölümde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak elde edilmiş R katsayıları irdelenmiştir. Yedinci bölümde, elastik ötesi statik ve dinamik analizler karşılaştırılmıştır. Sekizinci ve son bölümde ise tüm sonuçlar ve özgün katkılar özetlenerek tasarıma yönelik öneriler getirilmiştir.

2. SİSTEM (R) KATSAYISI

2.1 R Katsayısının Tanımı ve Önemi

Depreme dayanıklı yapı tasarımının ana hedefi; yapıların hizmet ömürleri boyunca maruz kalmaları beklenen ve sık gerçekleşen hafif şiddetteki depremlerde hasar almamaları, nadiren gerçekleşen orta şiddetteki depremlerde onarılabılır derecede hasar almaları ve çok seyrek gerçekleşen şiddetli depremlerde ise can kaybına yol açmamak için kısmen veya tamamen göçmelerinin önlenmesidir. Teoride, öngörülebilir tüm koşullarda hasar almayacak yapılar tasarlamak da kuşkusuz mümkündür, ancak bu yaklaşım ekonomik açıdan akılcı olmadığı için uygulama alanı bulmamıştır.

Deprem kuşaklarında inşa edilen tüm yapılar, şiddetli deprem etkilerine maruz kaldıklarında elastik ötesi davranış sergileyebilmektedirler. Yapılar elastik kaldıkları sürece, mümkün olduğunca az yer değiştirmeleri, ya da diğer bir deyişle yüksek yanal elastik rijitliğe sahip olmaları tercih edilen bir durumken; elastik ötesi davranış başladıktan sonra yanal rijitliğin aniden azalması nedeniyle bu defa mümkün olduğunca çok yer değiştirme yaparak ayakta kalabilmeleri, yani sünek olmaları tercih edilir. Yapının sünek davranışını mümkün kılmak için meydana gelecek yapısal akmanın, önceden belirlenen elemanlarda sınırlandırılması amacıyla, kapasiteye dayalı tasarım kuralları geliştirilmiştir.

Günümüzde, yapıların deprem etkileri altında hesabında, genellikle doğrusal elastik hesaba dayalı, kuvvet esaslı yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Kuvvet esaslı yöntemlerde, şartnameden alınan spektral ivme katsayısının fonksiyonu olan elastik taban kesme kuvveti değeri, sistem katsayısı'na (*seismic response modification factor*) bölünerek tasarıma esas taban kesme kuvveti belirlenir. Sistem katsayısı (R), yapının elastik yanal rijitliğini azaltarak, şiddetli deprem etkisinde elastik ötesi davranış göstermesine olanak tanınması sayesinde ekonomik çözümler getirirken, kapasite tasarım esaslarına uymak da sünekliği garanti altına alarak yapıyı göçme limit durumundan uzak tutar. Bu yöntemler, olası yapısal hasar ile ilgili hesaplamalar içermezler, ancak tasarımın sonunda elde edilen elastik sistem yer değiştirmelerinin şartnamelerce belirlenmiş sınır değerlerden küçük olması gereklidir, bu şart sağlanmazsa yapının elastik yanal rijitliği artırılarak tasarım tekrarlanır. Özetle, R katsayısıyla azaltılmış fiktif kuvvetler kullanarak elastik analiz yardımıyla tasarım yapmanın, azalmamış gerçek kuvvetlerle elastik olmayan tasarım yapmaya eşdeğer olduğu kabul edilir.

Şartnamelerde, taşıyıcı sistem tipi ve yapı malzemesine bağlı olarak R katsayılarına 1 ilâ 8 arasında değişen değerler verilmiştir. Ancak dünya deprem yönetmelikleri ve ilgili resmi

yayınlar incelendiğinde, bu değerlerin, genelde şartname hazırlayan komitelerde yer alan mühendislerin tecrübeleri, yargıları ve geçmiş depremlerde gözlenen yapı performanslarına bağlı olarak belirlendiği görülür. Hatta bazı teknik raporlar ve bilimsel yayınlar aracılığıyla (ATC, 1995; Whittaker vd., 1999; Aguirre, 2000) 1950'li yılların sonunda belirlenen ve pek az değişen R katsayılarının doğrulanması ya da düzeltilmesi için bilim adamlarına açıkça çağrı yapılmaktadır. Bu gereksinime paralel olarak, bu tezde DÇÇ'lerin sistem katsayıları özgün bir yaklaşımla, doğrusal elastik olmayan dinamik çözümler aracılığıyla parametrik incelemelerle araştırılmıştır. Burada DÇÇ'lerin seçilmesinin nedeni ise, ülkemizde ve dünyada yaygın kullanım alanı olmayan, diğer taşıyıcı sistem tiplerine nispeten çok yeni ve pek çok bakımdan davranışları derinlemesine incelenmemiş olmalarıdır. Dolayısıyla tezin ana hedefi R katsayılarının araştırılması olmakla birlikte, DÇÇ tasarımında optimizasyondan, çerçeve geometrisinin süneklik üzerindeki etkisine kadar pek çok konu da incelenmiştir.

2.2 R Katsayısı ile İlgili Bilimsel Çalışmalar

İlk olarak 1973 yılında Newmark ve Hall elastik tasarım spektrumu kullanılarak, elastik ötesi spektrum oluşturulabileceği fikrini ortaya koymuşlardır. Bu yaklaşım uyarınca, bir yer hareketi etkisindeki bir serbestlik dereceli (BSD) elasto-plastik dinamik bir sistemin spektral kuvveti, karşılık gelen elastik sistemdeki spektral kuvvetin doğrudan doğruya tek bir katsayıya bölünmesiyle elde edilebilmektedir. Referans elastik sistemin doğal periyodu ve sönüm oranı, elasto-plastik sistemin doğal periyodu ve sönüm oranına eşittir. Bu katsayı süneklik kaynaklı kuvvet azaltma katsayısı (*ductility reduction factor*) olan R_μ dür ve

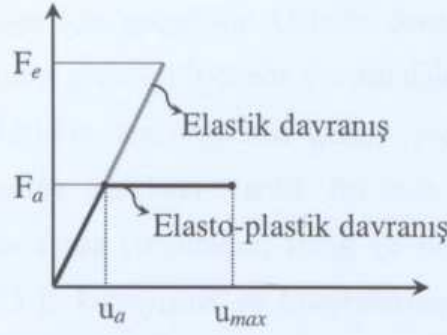
$$R_\mu = \frac{F_e}{F_a} \quad (2.1)$$

ifadesiyle elde edilebilir. Burada F_e elastik sistemde dikkate alınan yer hareketi etkisinde oluşacak en büyük kuvvet, F_a ise sünekliği μ olan ideal elasto-plastik sistemin akma kuvvetidir (Şekil 2.1). Süneklik şöyle hesaplanır:

$$\mu = \frac{u_{maks}}{u_a} \quad (2.2)$$

Burada u_{maks} ve u_a sırasıyla, elasto-plastik sistemin ilgili deprem için yer değiştirme talebi ve akma yer değiştirmesidir. Farklı süneklik oranları ya da farklı deprem kayıtlarının dikkate alınması ile R_μ de değişecektir. Aslında R_μ daha pek çok parametreye bağlıdır ve bu

parametrelerin etkilerinin incelenmesi pek çok çalışmaya konu olmuştur.



Şekil 2.1 Elasto-plastik BSD sistemin statik kuvvet-yer değiştirme ilişkisi

Riddell ve Newmark, farklı sönüm oranları ve elastik ötesi davranış modellerinin R_μ üzerindeki etkilerini ilk inceleyenlerdir (1979). Elde ettikleri sonuçlar elasto-plastik davranış modelinin, elastik-pekleşen plastik ve elastik ötesi bölgede azalan rijitlikli modellerden daha emniyetli sonuçlar verdiğini göstermektedir. Lai ve Biggs, diğer parametrelerin yanı sıra ilk defa depremin toplam süresinin etkisini de dikkate almışlardır (1980). 1982 yılında, Newmark ve Hall günümüzde bile hâla önemini koruyan, öncekilere nispeten son derece yalın ve etkin bir R_μ ifadesi sunmuşlardır:

$$\begin{aligned} T \geq 0.5s & \Rightarrow R_\mu = \mu \\ 0.125s < T < 0.5s & \Rightarrow R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \\ T \leq 0.03s & \Rightarrow R_\mu = 1 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Yukarıdaki denklemlerde T , BSD sistemin doğal titreşim periyodunu ifade eder. Zemin cinsinin R_μ üzerindeki etkisini ilk inceleyenler ise Elghadamsi ve Mohraz'dır (1987). Riddell vd. (1989) kısa periyot bölgesi için düzeltme önermişlerdir. Miranda 1993 tarihli iki çalışmasında özellikle yumuşak zeminlerde, zemin cinsinin kuvvet azaltma katsayısı üzerinde etkin olduğunu belirtmiş, ayrıca depremin odak uzaklığının ve büyüklüğünün etkilerinin ise ihmal edilebilir derecede olduğunu saptamıştır. Depremin fay mekanizması, benzeştirilmiş deprem kayıtları (Lam vd., 1996), deprem özellikleri (Lam vd., 1998), çeşitli davranış modelleri (Lee vd., 1999) ve rijitlik azalması (Miranda ve Garcia, 2002) R_μ üzerindeki etkisi incelenen parametrelerden bazılarıdır. Konuyla ilgili olarak Miranda ve Bertero'nun 1994 tarihli makalesi mükemmel bir tarihçe niteliğindedir.

Şimdiye kadar bahsedilen elastik tepki spektrumundan elastik ötesi spektruma geçişi sağlamaya yönelik çalışmalarda doğrudan çok serbestlik dereceli (ÇSD) sistemlerin yani çok katlı gerçek yapıların incelenmediği görülebilir. Esasen 1980'lerin sonlarına kadar çok katlı

yapıların hesabı sırasında kullanılan R , R_μ 'ye eşit varsayılmıştır; oysaki bu eşitlik özel bir hal olarak yalnızca BSD sistemler için geçerlidir. Gelişen deney olanakları ile birlikte ÇSD sistemlerin analitik modellerinin gerçekçi biçimde oluşturulabilir hale gelmesi ve bilgisayar teknolojisinin ilerlemesiyle birlikte, araştırmacılar gerçek yapı davranışını da dikkate alan yaklaşımlar geliştirme konusuna odaklanmışlardır. Bu amaçla R katsayısını çarpanlarına ayırma fikri ortaya atıldıktan sonra (Whittaker, Uang ve Bertero, 1989; Uang, Llopiz ve Igarashi, 1989), Uang (1991) R katsayısına ve bileşenlerine özgün bir yorum getirmiştir. Uang'a göre sistem katsayısı şöyledir (Şekil 2.2):

$$R = R_\mu \times R_\Omega \quad (2.4)$$

Uang'ın tanımındaki R_μ , BSD sistemler için (2.1)'de tanımlananın ÇSD sistemlerdeki karşılığıdır ve aşağıdaki biçimde ifade edilir:

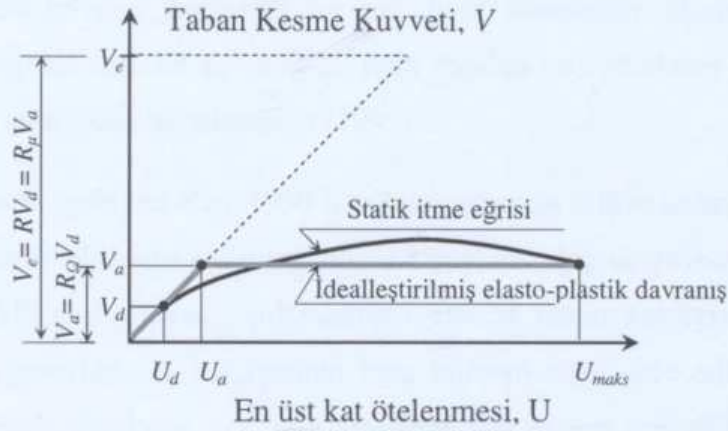
$$R_\mu = \frac{V_e}{V_a} \quad (2.5)$$

Bu denklemdeki V_e , yapıda doğrusal elastik davranışın bozulmadığı varsayılarak hesaplanan elastik maksimum taban kesme kuvvetidir. V_a ise yapının yanal yük taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla uygulanan statik itme analizi sonucunda elde edilen eğrinin idealleştirilmesiyle belirlenen davranışın, yapısal akma noktasına karşılık gelen taban kesme kuvvetidir. Çok katlı bir yapıya ait statik itme analizi sonucunda elde edilen eğrinin bu biçimde idealleştirilmesi aslında yapının eşdeğer bir BSD sisteme dönüşmesine denk sayılır ve pratikte (2.1) ve (2.5) birbirine eşittir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi bu idealleştirme elasto-plastik olabileceği gibi yapı malzemesi ve taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak farklı bir davranış modeli de esas alınabilir. (2.4)'de verilen R_Ω (*overstrength factor*) ise yapının yedek taşıma gücünden kaynaklanan kuvvet azaltma katsayısıdır,

$$R_\Omega = \frac{V_a}{V_d} \quad (2.6)$$

şeklinde hesaplanabilir. Bu ifadedeki V_d yapının tasarımı sırasında kullanılan taban kesme kuvvetidir ve elemanların boyutlandırılması sırasında taşıma gücünü esas alan yöntemler kullanılacaksa, teorik olarak yapıda ilk plastik mafsallın oluştuğu noktaya karşılık gelir. Geçmiş depremlerden elde edilen deneyimler, projesine uygun imal edilmiş bir yapının gerçek taşıma gücünün her zaman tasarımda öngörülen taşıma gücünden daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu yedek taşıma gücüne neden olan pek çok unsur vardır: imalâta kullanılan

malzemenin gerçek taşıma gücünün, kapasite hesabında dikkate alınan değerden büyük olması; elemanların kapasitelerinin tahmini için kullanılan hesap modellerinin fazla emniyetli olması; yapısal olmayan elemanların katkısı, şekil değiştirme hızı vb. (Rahgozar ve Humar, 1998). Yedek taşıma gücü katsayısı kavramsal olarak ortaya konulduktan sonra, konuyla ilgili çalışmalar (Jain ve Naim, 1995; Rahgozar ve Humar, 1998; Balendra ve Huang, 2003) başlamıştır.



Şekil 2.2 ÇSD sistemin taban kesme kuvveti ile en üst kattaki ötelenme ilişkisi

Uang'ın (1991) yaklaşımına göre; R katsayısının bileşenleri hesaplanır, ardından bileşenler çarpılarak aşağıdaki sonuca gidilir:

$$R = \frac{V_e}{V_d} \quad (2.7)$$

Özellikle 1990'lı yılların ortalarından itibaren araştırmaların çoğunda, ÇSD sistemlerde statik itme analizleri yapılarak hesaplanan R_Ω katsayıları, eşdeğer BSD sistemler için elde edilen R_μ katsayıları ile çarpılarak R katsayıları belirlenmiştir. Kimi araştırmacılar R_μ katsayılarını seçtikleri deprem kayıtları, hedefledikleri sönüm oranı ve sünekliğe bağlı olarak kendileri belirledikleri gibi, kimileri de önceki çalışmalarda bulunan ilişkileri doğrudan doğruya kullanmışlardır (Kappos, 1999; Maheri ve Akbari, 2003; Kim ve Choi, 2005). Uang'ın yaklaşımını benimseyenlerin yanı sıra, R katsayısını farklı yorumlarla irdeleyen çalışmalar da yapılmıştır (Moroni vd., 1996; Moghaddam ve Mohammadi, 2001; Mwafy ve Elnashai, 2002; Thermou, vd., 2004).

1995 yılında Uang'ın R denklemine, yeni bir çarpan olan fazlalık katsayısı (*redundancy factor*) R_R eklenmiştir (ATC); ancak yukarıda değinilen çalışmaların tümünde bu katsayı, yedek taşıma gücü katsayısının bir bileşeni olarak kabul edilmiştir. Fazlalık katsayısı, yapısal

güvenilirlik ve limit tasarım aracılığıyla incelenmesi gereken bir kavram olduğundan, bu tezin kapsamı dışında kalmaktadır. Bir taşıyıcı sistemde yapısal eleman sayısının fazla olması fazlalık katsayısını arttıran avantajlı bir durum gibi görünmekle birlikte, bu değeri etkileyen daha önemli başka unsurlar da vardır. Örneğin belirsizlik ihmal edilirse, yük taşıyan bir elemandan oluşan bir sistem, aynı yükün $\frac{1}{4}$ 'ünü taşıyan dört elemandan oluşan başka bir sistemle aynı güvenilirliktedir ve her iki sistem de aynı yükte göçecektir (Weng ve Song, 2003). O halde, yapısal elemanların sayısının fazla olması yapıyı daha güvenli yapmaz ve görüldüğü üzere bu kavram bambaşka bir disiplinin konusudur. Burada irdelenmeyecek olmakla birlikte, yapısal fazlalık kavramı ile ilgili yapılan en aydınlatıcı yayınlardan biri de Bertero ve Bertero tarafından hazırlanandır (1999).

Sonuç olarak şartnamelerde yer alan, 1950'li yılların sonunda ortaya atılan R değerlerinin pek çoğu hâlâ değişmemiş olmasına rağmen, yıllardır bunların doğrulanması ya da düzeltilmesi için yeterli sayıda bilimsel çalışma yapılamamıştır. Üstelik sistem katsayısı ile ilgili özetlenen çalışmaların çoğu genellikle R katsayısının bazı bileşenlerinin elde edilmesine yöneliktir. Dolayısıyla bu konuda yapılacak her türlü araştırma son derece önemlidir. Son zamanlarda performansa dayalı tasarım açısından R katsayısının yeniden yorumlanması, yeni bir araştırma konusu olmuştur (Miranda, 1997; Foutch ve Wilcoski, 2005).

2.3 R Katsayısının Sistem Analizi ile Belirlenmesi

Bu çalışmada, R katsayısının incelenmesinde şimdiye kadar anılan çalışmalardan farklı olarak sistem katsayısını bileşenlerine ayırmak yerine, doğrudan doğruya (2.7) eşitliğinin kullanılması hedeflenmiştir. Bunun en önemli sebebi, R katsayısının incelenmesi sırasında tüm aşamalarda yalnızca ÇSD sistemin kullanılmak istenmesidir. Elastik ötesi dinamik çözümlerde, eşdeğer BSD sistemlerden faydalanmanın yol açacağı hataların mertebesi bilinmemektedir ve bu durum R'yi bileşenlere ayırma yönteminin güvenilirliği ile ilgili kuşku uyandırmaktadır.

Öte yandan (2.7) denklemi çok basit görünmekle birlikte, tamamen kavramsaldır ve herhangi bir yöntemi işaret etmez. Yapıda elastik davranışın hiç bozulmadığı varsayılarak hesaplanan ve elastik maksimum taban kesme kuvveti olarak açıklanan V_e tanımının yorumlanması gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan bir yayında (Özhendekci, Özhendekci ve Öztürk, 2006), (2.7) denkleminin özgün yorumuna bağlı olarak aşağıdaki metot uygulanmıştır:

1.Adım: Dikkate alınan deprem kaydı için ölçek katsayısı üzerinde iterasyon yapılarak, incelenen çerçeveye ait bağ kirişlerinden biri yer değiştirme sınırına (1.12) ulaşmaya kadar zaman tanım alanında elastik ötesi analizler tekrarlanır. Çerçeveyi yer değiştirme hedefine götüren ölçek katsayısı belirlenir.

2.Adım: Bulunan ölçek katsayısı ile çarpılan deprem kaydı kullanılarak, bu defa zaman tanım alanında elastik çözüm yapılır ve elastik ötesi çözümde yer değiştirme sınırına ulaşmış olan bağ kirişinde meydana gelen fiktif elastik kesme kuvveti belirlenir.

3.Adım: İkinci adımda elde edilen kesme kuvveti, ilgili bağ kirişinin tasarımı esnasında kullanılan kesme kuvvetine bölünerek incelenen sistem için R katsayısı doğrudan elde edilir.

Bu metotta ilgili deprem kaydı için doğrudan doğruya yer değiştirme sınırına ilk ulaşan bağ kirişinin dikkate alınmasının uygun olduğu düşünülmüştür. Çünkü DÇÇ'ler bağ kirişleri dışındaki elemanlar elastik kalacak şekilde tasarlanırlar (Bölüm 1.2.2); gerçekten de kapasitesine ulaşmış bir bağ kirişi çerçevenin de hızlı bir şekilde göçme limit durumuna ulaşmasına sebep olacaktır.

Dikkat edilirse, DÇÇ tasarımında deprem yükü ne şekilde dikkate alınmış (eşdeğer deprem yükü yöntemi veya spektral mod birleştirme yöntemi) olursa olsun, yukarıda özetlenen metot R katsayılarının elde edilmesi için uygulanabilir. Öte yandan, tüm bilimsel çalışmaların amacının aslında tasarım yöntemlerini iyileştirmek olduğu prensibine bağlı kalınarak, çalışma sürecinin ilerleyen aşamalarında bu çok genel metot eşdeğer deprem yükü yöntemi dikkate alınarak özelleştirilmiştir. Bilindiği gibi, eşdeğer deprem yükü yönteminde tasarımda kullanılan taban kesme kuvveti değeri, tasarım spektral ivmesi ile yapı kütlelerinin çarpımından elde edilir. Yani bu yöntemin kabullerine göre yapıda herhangi bir deprem yükü etkisinde oluşan taban kesme kuvveti yaklaşık olarak, yapı kütlesi ve ilgili deprem spektrumundan alınan spektral ivmenin çarpımına eşittir. O halde (2.7) eşitliği hatırlanacak olursa, taban kesme kuvvetlerini oranlamak aslında spektral ivmeleri oranlamak anlamına gelir. Bu özelleştirilmiş metodun adımları aşağıda sıralanmıştır.

1.Adım: Yukarıda bahsedilen genel metodun birinci adımıyla aynıdır.

2.Adım: Bulunan ölçek katsayısı ile çarpılan deprem kaydı kullanılarak, bilinen bir yöntemle depremin elastik ivme spektrumu oluşturulur. Oluşturulan elastik spektrumdan, incelenen

çerçevenin birinci mod periyoduna karşılık gelen spektral ivme değeri okunur.

3.Adım: İkinci adımdan elde edilen spektral ivme değeri, çerçeve tasarımı esnasında kullanılan tasarım spektral ivme değerine bölünerek R katsayısı aşağıdaki biçimde hesaplanır:

$$R = \frac{SA_{dep}^{el}}{SA_d} \quad (2.8)$$

Burada SA_{dep}^{el} çerçeveyi limit duruma götürecek biçimde ölçeklendiren depreme ait elastik ivme spektrumunda, çerçevenin birinci mod periyoduna karşılık gelen spektral ivme değeri, SA_d ise tasarım spektral ivmesidir. Tez metni içinde yer verilecek olan R katsayıları (2.8) eşitliği esas alınarak belirlenmiştir.

Şartnameye uygun olarak, tasarımlar sırasında $R_d=8$ alındığına göre, bu şekilde elde edilen R katsayısının 8'den küçük olması tasarımın güvensiz, büyük olması ise güvenli tarafta olduğunu gösterir. Bu anlamda, bu çalışmada, şartnamelerde verilen R katsayılarının değerlendirilmesi yapılmaktadır. Kıyaslamalar sırasında dikkate alınan depremlerin seviyesi (*hazard level*) ise, şartnamedeki tasarım spektrumu ile ifade edilendir.

3. BOYUTLANDIRILAN ÇERÇEVELERİN ÖZELLİKLERİ VE ÇERÇEVE GEOMETRİSİNİN AĞIRLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Kapasiteye dayalı tasarım, çerçevelerin elastik ötesi davranışları ile etkileşimlidir. DÇÇ'lerde elastik ötesi davranışın toplandığı bağ kirişlerinin, gerçek çerçeve davranışını en iyi şekilde yansıtacak biçimde modellenmesi gerekir. Kuşkusuz uygun model oluşturabilmek ancak deneysel çalışmalarla mümkün olabilir, ne yazık ki ülkemizde ve Avrupa'da bağ kirişlerini esas alan herhangi bir deneysel çalışma yapılmamıştır (ya da yapıldıysa bile, bulgulara literatürde rastlanmamıştır); deneyler ve konuyla ilgili yayınların çoğu Amerika'da yapılmaktadır. Amerikan şartnameleri hazırlanırken eleman davranış modeline bağlı olarak bağ kirişinin kesme ya da eğilme etkisiyle ne kadar pekleşeceği ve ne kadar yer değiştirme yapacağı göz önünde bulundurularak tasarım kuralları belirlenmiştir. Bu bakımdan kullanılan çelik sınıfı, tasarıma esas yükler, çerçeve tasarım felsefesi, kesitleri boyutlandırma yöntemi ve elastik ötesi davranış modelleri bir bütünlük arz etmelidir; aksi takdirde araştırmada derecesi belli olmayan hatalar ortaya çıkar. Bu tez kapsamında, parametrik çalışmaları etkileyen tercihler, yukarıda değinilen bakış açısı çerçevesinde yapılmıştır.

Tasarım sırasında LRFD yöntemi uygulanmıştır (1999). Çerçeve elemanlarının kesitleri, kirişler için tüm geniş başlıklı (I şekilli) standart W serisi, kolonlar için W14 serisi ve çaprazlar için ise (karesel) tüp HSS serisi arasından seçilmiştir. Bu kesit serileri AISC şartnameleri ile uyumludurlar. Kullanılan çelik cinsi, kesit serilerine uyumlu olarak; W kesitlerde ASTM A992 çeliği, HSS kesitlerde ise ASTM A500-B çeliğidir (McCormac ve Nelson, Jr., 2003). Kullanılan çelik cinslerinin özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

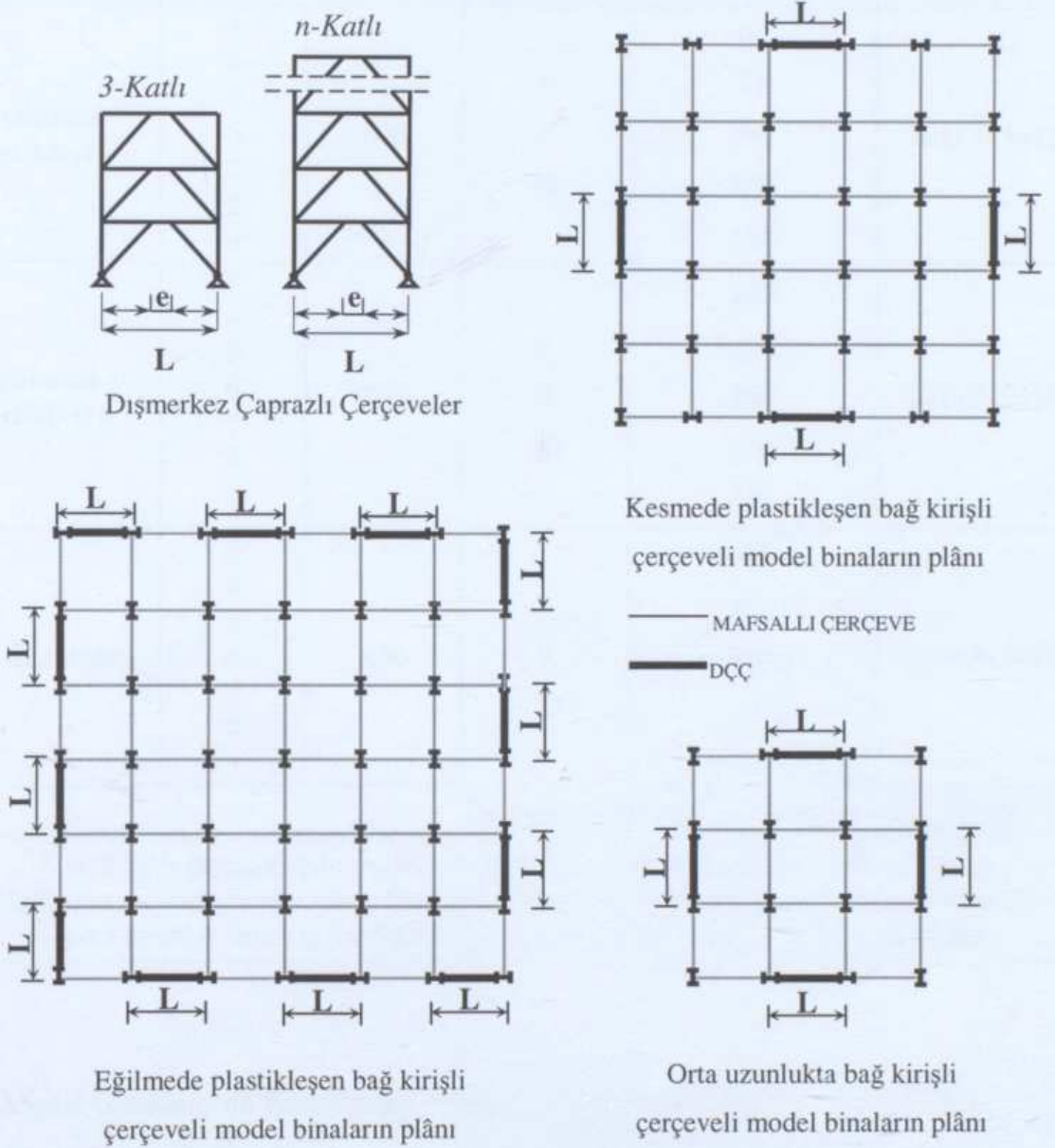
Çizelge 3.1 Kullanılan çelik cinslerinin özellikleri

ÇELİK CİNSİ	Akma Gerilmesi, f_y (kN/ cm ²)	Kopma Gerilmesi, f_u (kN/ cm ²)
ASTM A992	34.5	45
ASTM A500-B	31.5	40

3.1 Boyutlandırılan Çerçevelerin Geometrik Özellikleri

Yapı çeliği ağırlığını en az yapacak şekilde optimizasyon hedefli tasarım programı (Özhendekci ve Özhendekci, 2007) kullanılarak 105 adet kesmede plastikleşen bağ kirişli, 105 adet eğilmede plastikleşen bağ kirişli ve 105 adet de orta uzunlukta bağ kirişleri içeren çerçeveler boyutlandırılmıştır. Bu çerçevelere ait geometrik özellikler Şekil 3.1 ve Çizelge 3.2'de görülebilir.

Çerçeve geometrisi seçilirken, deprem yükü etkisinde davranışının daha iyi olacağı düşünülen simetrik ve bağ kirişlerinde aksel kuvvet oluşmayan tip seçilmiştir.



Şekil 3.1 Boyutlandırılan DÇÇ'lerin geometrik özellikleri (Özhendekci ve Özhendekci, 2007)

Yapılarda, düşey yüklerin neredeyse tamamı mafsallı çerçeveler aracılığıyla karşılanırken, yanal yüklerin tamamı DÇÇ'ler tarafından karşılanmaktadır (Richard Liew, Balendra and Chen, 1999). Tüm yapılarda kütle ve rijitlik merkezleri çakıştığı için, her bir binaya ait DÇÇ'ler birbirinin aynısıdır, dolayısıyla bir bina için bir DÇÇ tasarlamak yeterlidir. Ayrıca, çerçevelerin tasarım taban kesme kuvvetleri 5% arazi dış merkezilik etkisi dikkate alınarak artırılmıştır. Tüm çerçevelerde kat yüksekliği 3.5 m'dir.

Çizelge 3.2 Boyutlandırılan model çerçevelerin özellikleri

Bağ kirişi tipi	Kat sayısı (n)	Bina alanı (A), m^2	Açıklık (L), m	Bağ kirişi Uzunluğu (e), cm	Çerçeve sayısı
Kesmede plastikleşen	3	800	8	60	$7 \times 1 \times 3 \times 5 = 105$
	4			75	
	5			90	
	6			105	
	7			120	
	8				
	9				
Eğilmede plastikleşen	3	750	8	240	$7 \times 1 \times 3 \times 5 = 105$
	4			260	
	5			280	
	6			300	
	7			320	
	8				
	9				
Orta uzunlukta	3	450	8	140*	$7 \times 1 \times 3 \times 5 = 105$
	4			160	
	5			180	
	6			200	
	7			220	
	8				
	9				
Toplam model çerçeve sayısı =					315
* 8 ve 9 katlı çerçevelerde e=140 cm için (1.12-b) denkleminde verilen koşulun sağlanmasında için tasarım taban kesme kuvveti arttırıldığında bu defa da çaprazlar için mevcut kesitler yetersiz kaldığından e (bağ kirişi uzunluğu) 150 cm alınmıştır.					

3.2 Model Çözümlerde Esas Alınan Yükler ve Yükleme Halleri

Boyutlandırılan çerçevelerin tasarımı esnasında, seçilen coğrafi bölgede deprem yükü baskın olduğu kabulü ile ve bina yükseklikleri fazla olmadığı için rüzgâr yüklemesi dikkate alınmamıştır. Dikkate alınan yükler ve yük grupları şöyledir (ASCE 7-05):

$$1.4(D+D_r) \quad (3.1)$$

$$1.2(D+D_r)+1.6L^*+0.5L_r^* \quad (3.2)$$

$$1.2(D+D_r)+1.6L_r^*+L^* \quad (3.3)$$

$$1.2(D+D_r)+1.0E+L^*+0.2S \quad (3.4)$$

$$0.9(D+D_r)+1.0E \quad (3.5)$$

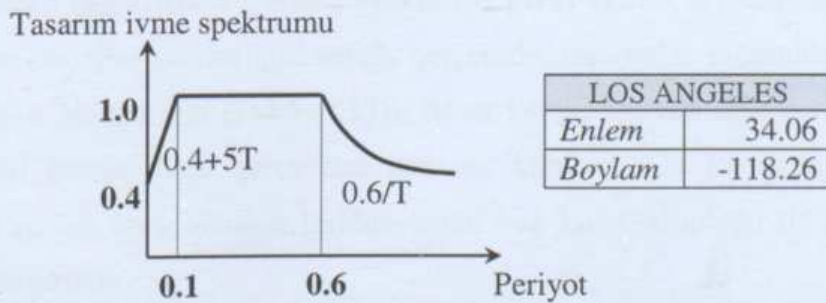
Yukarıdaki ifadelerde; D normal katlardaki ölü yük (4.15 kN/m^2), D_r çatı katındaki ölü yük (3.25 kN/m^2), L^* normal katlardaki hareketli yük (2.40 kN/m^2), L_r^* çatı katındaki hareketli yük (peyzajlı çatı- 1.00 kN/m^2), S kar yükü (0.958 kN/m^2), E ise tasarım deprem yüküdür. Deprem yükünün (E_v) düşey ve (E_h) yatay iki bileşeni vardır. (3.4)'de $E = E_h + E_v$ alınırken, (3.5)'de $E = E_h - E_v$ alınır. Tasarım deprem yükünün yatay bileşeni şöyle hesaplanır:

$$E_h = R_R Q_E \quad (3.6)$$

Yukarıdaki ifadede Q_E eşdeğer deprem yükü yöntemine göre tasarım taban kesme kuvvetinin birinci mod şekline uygun biçimde katlara dağıtılması ile oluşan yükleme halidir, R_R ise ikinci bölümde tanımlanan fazlalık katsayısıdır ve değeri çerçeve geometrisine bağlı olarak şartnameden alınır. Tasarım deprem yükünün düşey bileşeni,

$$E_v = 0.2 S_{DS} D \quad (3.7)$$

şeklinde hesaplanabilir. Bu eşitlikteki S_{DS} şartnamenin depremsellik haritalarından binanın yerine bağlı olarak okunan, tasarım spektrumu teşkilinde kullanılan kısa periyot spektral ivmesidir. Tasarım spektrumunun, yukarıdaki yük gruplarıyla uyumlu olması açısından Amerika'daki bir bölgenin esas alınması gerekmektedir. ASCE 7-05'deki depremsellik haritaları ayrıntılı olarak hazırlandığı için, her bir enlem-boylam noktasına özel tasarım spektrumları, o coğrafyada meydana gelmiş geçmiş depremlerin bilgisini doğrudan içerir. Ayrıca, Güneybatı Amerika'da (California) geçmiş depremlere ait çok fazla sayıda kayıt bulunmaktadır. Parametrik çalışmalar açısından, tasarım spektrumu ile uyumlu çok sayıda deprem kaydı mevcut olduğu için, boyutlandırılan çerçevelerin Los Angeles'da, ASCE 7-05 sınıflandırmasına göre D (~C USGS) tipi zemin üzerinde yapılacağı kabul edilmiştir. Tüm çerçeveler için kullanılan tasarım ivme spektrumu Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Tasarım ivme spektrumu

Ayrıca, kolon tasarımında arttırılmış yük grupları da dikkate alınmıştır.

3.3 Kesmede Plastikleşen Bağ Kirişleri İçeren Çerçevelerde Geometrinin Çerçeve Ağırlığı Üzerindeki Etkisi

Aynı yükseklikteki tüm çerçevelerde, tasarım spektrumu yardımıyla hesaplanan taban kesme kuvvetleri de aynıdır. Dolayısıyla, aynı yükseklikteki çerçevelerin ağırlıklarının kendi içinde kıyaslanmasının daha uygun olduğu düşünülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde, beklendiği gibi bağ kirişi uzunluğunun ve açıklığın artışıyla ağırlıkta artış gözlenmiştir. Bağ kirişi uzunluğu, ağırlık üzerinde en etkin parametre olmuştur. Bunun sebebi, e mesafesinin kapasiteye dayalı tasarım açısından bağ kirişi dışındaki elemanların tasarım momentlerini doğrudan etkilemesidir (Denk. (1.7) ve (1.10)). e/L oranının yaklaşık 0.1 değerini geçmesiyle, bazı çerçevelerde ağırlıkta yüksek artışlara rastlanabilmektedir. Bilhassa, yüksekliği az çerçevelerde rastlanan bu durumun nedeni ise, bağ kirişi kesitinin seçiminde (1.5) yerine (1.2) eşitliğinin etkin olmasıdır. Dokuz katlı çerçevelerde tasarım esnasında, bağ kirişi uzunluğu 60 cm olan 9 m ve 10 m açıklıklı çerçeveler, bağ kirişi dönmesi sınır şartını sağlamadığı için (Denk. (1.11) ve (1.12-a)), tasarım taban kesme kuvveti arttırılarak yeniden tasarım yapılmıştır ve dolayısıyla bu iki çerçevenin ağırlığı artmıştır. Özellikle 6, 7 ve 8 katlı DÇÇ'lerde, neredeyse tüm bağ kirişi uzunlukları için 8 m ve 9 m açıklıklı çerçevelerin ağırlıkları, 10 m açıklıklı çerçevelere nispeten daha küçüktür; çünkü 10 m açıklıklı çerçevelerde, genellikle, çaprazların narinliğindeki artış, ağırlığı daha çok etkilemiştir. Yüksek çerçevelerde, özellikle dokuz katlı bazı tasarımlarda periyot şartı (Denk. (1.13)) belirleyici olmuştur.

3.4 Eğilmede Plastikleşen Bağ Kirişleri İçeren Çerçevelerde Geometrinin Çerçeve Ağırlığı Üzerindeki Etkisi

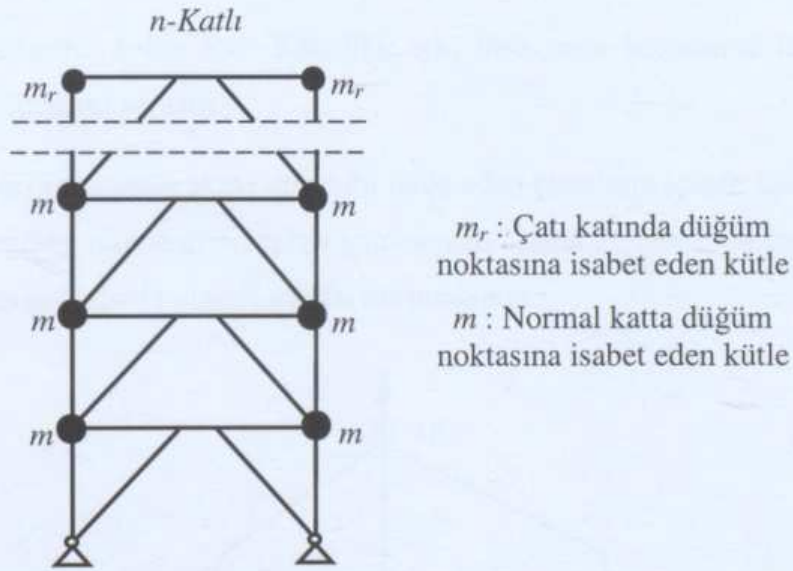
Eğilmede plastikleşen bağ kirişleri içeren çerçevelerde genel eğilim, e mesafesinin artışıyla, ağırlığın da artmasıdır. Öte yandan çok sayıda çerçevede, tasarımlar esnasında, periyot üst sınır şartı belirleyici olduğu için (Denk.(1.13)), taban kesme kuvveti arttırılarak tasarımlar tekrarlanmıştır. Bu artışlar kimi çerçeveler için az, kimileri için ise fazla olduğundan grafiklerde genel eğilim artış olmakla birlikte, artan bağ kirişi uzunluğu ile ağırlıkta iniş çıkışlar gözlenebilmektedir.

3.5 Orta Uzunlukta Bağ Kirişleri İçeren erevelerde Geometrinin ereve Ağırlığı Üzerinde Etkisi

Dięer ereve tiplerinde olduğu gibi baę kirişi uzunluğunun artışıyla, ereve ağırlığı artmıştır. Ancak orta uzunlukta baę kirişi içeren çerçevelerde, açıklığın ağırlık üzerindeki etkisinin nispeten az olduğu gözlenmiştir. Ayrıca açıklık ve kat sayısından bağımsız olarak, hemen hemen tüm çerçevelerde e mesafesinin 200 cm'den büyük olduğu durumlarda ağırlıkta yüksek artışlara rastlanmıştır. Bu artışların sebebi, baę kirişlerinin tasarımında (1.5) yerine (1.4)'ün etkin olması ve buna bağlı olarak pek çok çerçevede tüm kiriş kesitlerinin aynı çıkmasıdır. Aslında (1.4) eşitliğinin etkin olmasının sebebi, bazı çerçevelerde seçilen ereve geometrisi ve tasarım kuvvetlerinin uygun olmamasından kaynaklanmaktadır; ya da diğer bir deyişle tüm binalar için aynı alanın kullanılmasıdır. Dięer taraftan, uygun bir kıyaslama yapabilmek ve bu türlü limit durumları da inceleyebilmek amacıyla, tek bir alan değeri kullanmanın daha uygun olduğu dūřünölmüřtür. Yüksek erevelerin bir kısmında ise periyot şartı belirleyici olmuştur.

4. ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ANALİZ İÇİN MODELLENMESİ

Tasarlanan binalarda kompozit tabliye sistemindeki döşeme ve kiriş düzenlemelerinin rijit diyafram oluşturup, deprem etkisinde oluşacak kesme kuvvetlerini DÇÇ'lere düzgün dağıtacakları varsayılmıştır. Zaman tanım alanındaki çözümlerde kullanılmak üzere, kesmede plastikleşen orta uzunlukta bağ kirişli çerçevelerde kat kütlelerinin yarısı, eğilmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerde ise 1/6'sı her bir çerçeveye paylaştırılmıştır. Çerçevelere isabet eden kat kütleleri ise, ikiye bölünerek kiriş-kolon birleşimlerinin bulunduğu düğümlere yerleştirilmiştir (Şekil 4.1). Çerçevelerdeki tüm elemanlar (kolonlar, kirişler, çaprazlar ve bağ kirişleri) DRAIN-2DX'in kütüphanesinde mevcut olan kiriş-kolon elemanı olarak modellenmişlerdir. Ek olarak, bağ kirişlerinin elastik ötesi davranışlarını modelleyebilmek için yine DRAIN-2DX'de mevcut yay elemanlarından faydalanılmıştır.



Şekil 4.1 Yükseklik boyunca kütlelerin dağılımı

4.1 DRAIN-2DX'in Hazır Eleman Tipleri

4.1.1 Kiriş-Kolon Elemanı

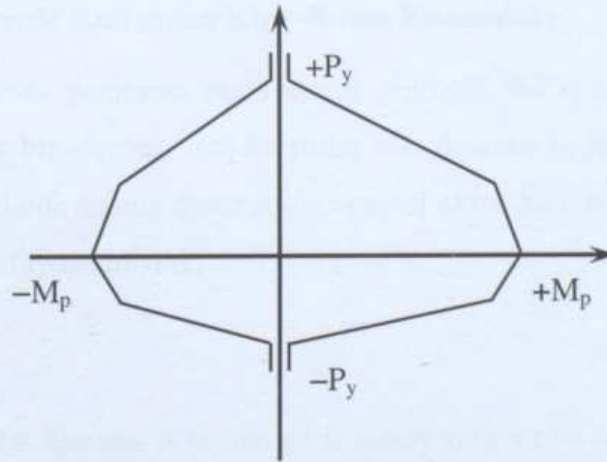
Kiriş-kolon elemanı XY düzleminde rastgele bir konumda bulunabilir. Elemanların eğilme ve eksenel rijitlikleri vardır ve kesme şekil değiştirmelerinin bunlara olan etkisi dikkate alınabilir. Akma, yalnızca eleman uçlarındaki plastik mafsallarda oluşur. Pekleşme, elemanın birbirine paralel elastik ve elastik ötesi iki bileşeni olduğu varsayımıyla dikkate alınır. Elastik

ötesi bileşendeki mafsallar akmış ve sabit moment etkisindeyken, elastik bileşendeki moment artmaya devam eder. Eleman üzerindeki statik yükler uç kuvvetleri ve momentlerine dönüştürülerek dikkate alınır.

Bir eleman için akma momentleri elemanın iki ucunda farklı olarak tanımlanabileceği gibi, negatif ve pozitif moment durumu için de ayrı ayrı tanımlanabilir. Akma aşamasında, eksenel kuvvet ve moment arasındaki etkileşim dikkate alınabilir. Üç türlü karşılıklı etki yüzeyi tanımlanmıştır:

- i. *Kiriş tipi:* Bu tip, eksenel kuvvetlerin küçük olduğu ya da M-P etkileşiminin ihmal edilebileceği durumlar için seçilmelidir. Akma yalnızca eğilme momenti nedeniyle meydana gelir.
- ii. *Çelik kolon tipi:* Karşılıklı etki diyagramı çelik kolonların davranış özelliklerini yansıtır (Model çerçevelerdeki tüm kiriş-kolon elemanları bu tiptedir (Şekil 4.2)).
- iii. *Betonarme kolon tipi:* Karşılıklı etki diyagramı betonarme kolonların davranış özelliklerini yansıtır.

Karşılıklı etki diyagramında akma yüzeyini ifade eden çizgilerin içinde kalan, eksenel kuvvet ve eşlik eden eğilme momenti noktaları için eleman elastik kalırken; bu çizgilerin üstünde ya da dışında kalan noktalarda plastik mafsal oluşmaktadır.



Şekil 4.2 Karşılıklı etki diyagramı: Çelik kolon tipi

4.1.2 Basit Birleşim (Yay) Elemanı

Koordinatları aynı veya farklı olan iki noktayı birleştirmek için bu eleman kullanılır. Eleman, noktaların dönme ya da öteleme yer değiştirmeleri için tanımlanabilir. Öteleme yer değiştirmeleri düşey ya da yatay olabilir, fakat eğimli olamaz. Eleman elastik veya elastik

$$\lambda_c \leq 1.5 \text{ ise } f_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) f_y \quad (4.3)$$

$$\lambda_c > 1.5 \text{ ise } f_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] f_y \quad (4.4)$$

Denklemlerdeki f_y akma gerilmesidir. Çubuk narinlik parametresi olan λ_c ise şöyle hesaplanabilir:

$$\lambda_c = \frac{K\ell}{r\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}} \quad (4.5)$$

(4.5) eşitliğindeki; K burkulma katsayısı, ℓ elemanın yanal olarak tutulmamış uzunluğu, r çubuğun düzlemine dik burkulduğu kesit eksenine göre atalet yarıçapı, E_s çeliğin elastisite modülüdür.

Kiriş-kolon elemanlarının normal kuvvet-moment etkileşimi aşağıdaki bağıntılar yardımıyla dikkate alınmıştır (Bruneau, Uang ve Whittaker, 1998):

$$\frac{P_u}{P_y} \leq \frac{A_w}{A} \text{ ise } \frac{M_{pr}}{M_p} = 1 - \left(\frac{P_u}{P_y} \right)^2 \frac{A^2}{4t_w W_p} \quad (4.6)$$

$$\frac{P_u}{P_y} > \frac{A_w}{A} \text{ ise } \frac{M_{pr}}{M_p} = A \left(1 - \frac{P_u}{P_y} \right) \left[d - \frac{A}{2b_f} \left(1 - \frac{P_u}{P_y} \right) \right] \left(\frac{1}{2W_p} \right) \quad (4.7)$$

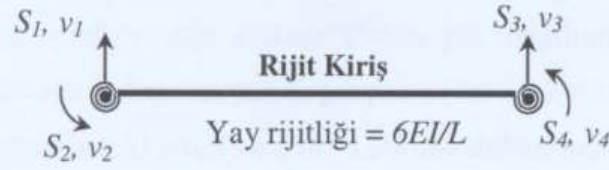
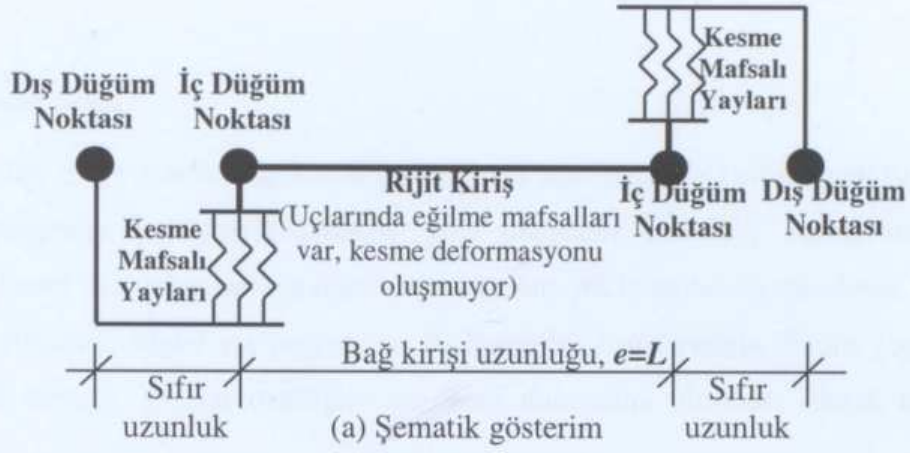
Yukarıdaki ifadelerde; P_u mevcut yükler etkisinde oluşan tasarıma esas basınç kuvveti, P_y aksenal çekme yükü altındaki akma taşıma gücü, A_w enkesitin gövde alanı, A enkesitin toplam alanı, M_{pr} basınç nedeniyle azalmış plastik moment taşıma gücü, M_p plastik moment taşıma gücü, t_w profilin gövde kalınlığı, W_p profilin plastik mukavemet momenti, b_f profilin başlık genişliğidir.

4.3 Bağ Kirişinin Analitik Modeli

Çalışmada Uang ve Richards'ın elastik ötesi bağ kirişi modeli (Richards, 2004) kullanılmıştır (Şekil 4.4). Bu eleman modeli, Ramadan ve Ghobarah'ın modelinin (Ramadan ve Ghobarah, 1995) A992 çeliği dikkate alınarak düzeltilmiş halidir. Elemanın bir ucundaki iç ve dış düğüm noktalarının koordinatları aynıdır. DRAIN giriş dosyası hazırlanırken, koordinatları aynı olan iç ve dış düğüm noktalarına ait yanal yer değiştirme ve dönmeler birbirlerine bağlanmıştır. Her bir uçta birbirlerine paralel olarak çalışan üç adet kesme yayı vardır, fakat bir uçtaki

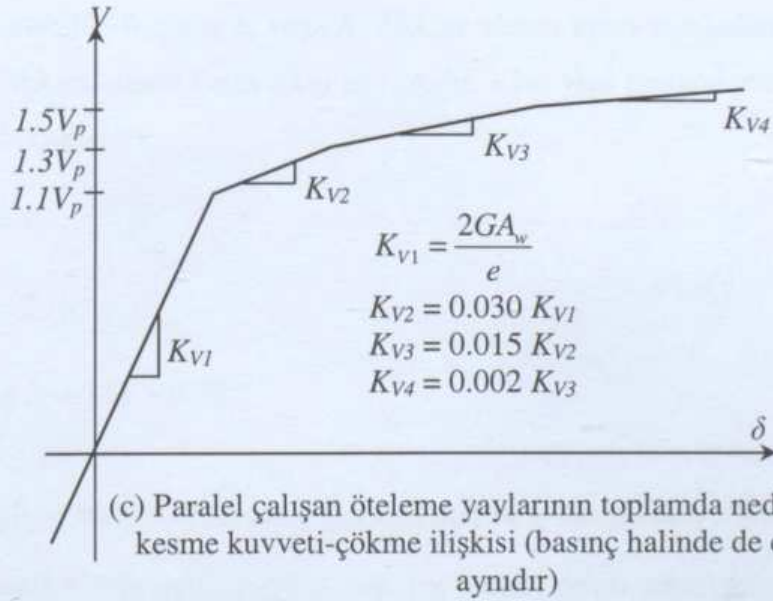
kesme yaylarının tamamı diğer uçtaki kesme yayları ile seri çalışırlar. Elastik kesmeyi modelde iki defa dikkate almamak için, kiriş elemanında kesme deformasyonu oluşmasına izin verilmemiştir. Rijit cisim hareketine olanak tanımak amacıyla, uçlarında moment yayları olan bağ kirişinin rijitlik matrisinde düzeltme yapılmıştır. Bağ kirişi için, daha önceki modellerdeki (Ricles ve Popov, 1994; Ramadan ve Ghobarah, 1995) gibi, eleman uçlarına üçer adet birbirleriyle paralel çalışan moment yayları koymak yerine, %5 pekleşme oranı tanımlayarak DRAIN-2DX'de mevcut olan kiriş-kolon elemanından faydalanılmıştır.

Bu analitik model, Teksas Üniversitesi'nde A992 çeliğinden teşkil edilmiş bağ kirişlerinde yapılan deney sonuçları kullanılarak oluşturulmuştur (Arce, 2002).



$$\begin{Bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{6EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 \\ -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{6EI}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{Bmatrix}$$

(b)Uçlarında eğilme mafsalları olan rijit kiriş için düzeltilmiş rijitlik matrisi



Şekil 4.4 Çalışmada kullanılan Uang ve Richards'ın bağ kirişi eleman modeli (2004)

5. ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN İTME ANALİZLERİ

5.1 Yükleme Şekli

Boyutlandırılan çerçevelerin doğrusal olmayan itme analizlerinde kullanılmak üzere, yazılan bilgisayar programı yardımıyla DRAIN giriş dosyaları otomatik olarak hazırlanmıştır. Çerçeveler, hedef yer değiştirmeye ulaşıncaya kadar, yükleme kontrollü olarak taban kesme kuvveti arttırılmıştır. Hedef yer değiştirme, herhangi bir bağ kirişinin dönme kapasitesine ya da diğer bir deyişle, mafsalsız özelliğini yitirmesi durumuna ulaşması olarak belirlenmiştir (1.12).

Doğrusal olmayan itme analizlerinde dikkate alınan yük dağılımı, eşdeğer deprem yükü yöntemi ile tasarım sırasında kullanılan yük dağılımıdır (ASCE 7-05). İtme analizinde, her bir adımda taban kesme kuvvetindeki artım katlara şu şekilde dağıtılmıştır:

$$\Delta F_x = C_{vx} \Delta V \quad (5.1)$$

Bu ifadede, ΔF_x dikkate alınan kat için kat kuvvetindeki artım, C_{vx} taban kesme kuvvetini katlara dağıtma katsayısı ve ΔV taban kesme kuvvetindeki artımdır. Dağıtma katsayısı,

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (5.2)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada, h_i veya h_x dikkate alınan katın zeminden olan yüksekliğidir. w_i veya w_x ise dikkate alınan katın etkin ağırlığıdır. k ise yapı periyoduna bağlı bir katsayıdır ve değeri aşağıdaki gibidir:

$$T \leq 0.5 s \text{ ise } k = 1 \quad (5.3-a)$$

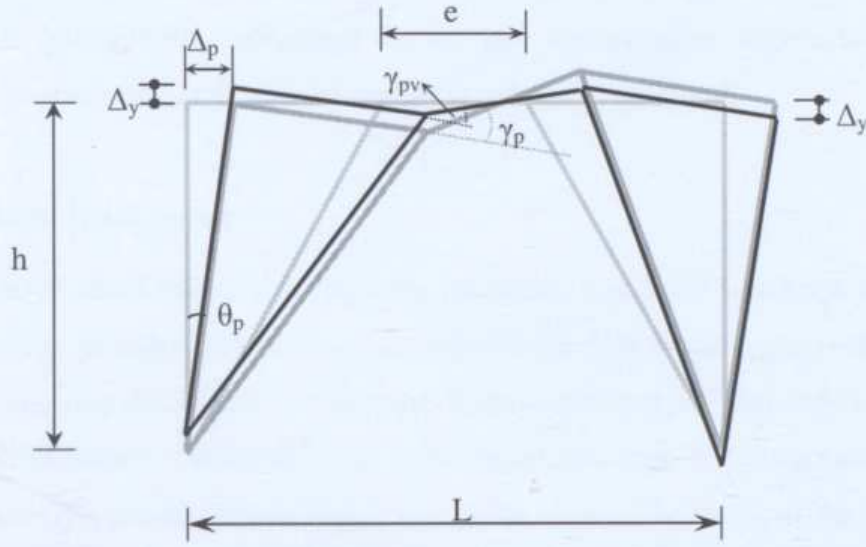
$$T \geq 2.5 s \text{ ise } k = 2 \quad (5.3-b)$$

$$0.5 < T < 2.5 \text{ ise } k = 0.5T + 0.75 \quad (5.3-c)$$

5.2 Bağ Kirişinin Plastik Dönmesi (Özhendekci ve Özhendekci, 2007)

Bir DÇÇ katı Şekil 1.7’de verilen rijit-plastik kat mekanizması varsayımına uygun olarak yer değiştirirse, bağ kirişi saat akrebinin tersi yönünde γ_p kadar dönecektir; bu açı AISC 2005’e uygun olarak (1.11) eşitliğiyle hesaplanabilir. Dikkat edilirse, (1.11) eşitliğinde özellikle çok

katlı yapılarda etkin olan, birikimli kolon ucu düşey yer değiştirmeleri dikkate alınmamaktadır. Aslında, bu düşey yer değiştirmeler bağ kirişinin saat akrebiyle aynı yönde dönmesine sebep olurlar ve dikkate alındıklarında γ_p açısını azaltıcı etkileri vardır (Şekil 5.1). Şekil 5.1’de, bir DÇÇ katının; yer değiştirmemiş hali, AISC şartnamesine uygun rijit-plastik kat mekanizması ve düşey yer değiştirmelerin de dikkate alındığı rijit-plastik kat mekanizması sırasıyla gri, koyu gri ve siyah çizgilerle gösterilmiştir. Davranışı mümkün olduğunca sade bir biçimde sergileyebilmek amacıyla bu kattaki kolonların ve çaprazların aksenal doğrultudaki boy değişimleri şekil üzerinde gösterilmemiştir.



Şekil 5.1 Kolon uçlarında birikimli düşey yer değiştirmelerin dikkate alınması durumunda rijit-plastik kat mekanizması

Kolon uçlarının düşey doğrultuda birikimli yer değiştirmelerinin dikkate alınması halinde bağ kirişi dönmesi şöyle hesaplanabilir:

$$\gamma_{pv} = \gamma_p - \frac{2\Delta y}{e} \quad (5.4)$$

Burada Δy elastik ötesi dinamik ya da statik analizin bir adımında, dikkate alınan kattaki bir kolon ucunun düşey yer değiştirmesinin mutlak değeridir (Şekil 5.1). 2 katsayısı ise sistem simetrikliğini dikkate alır.

Dikkat edilirse, bağ kirişinin plastik dönmesi şartnameye uygun biçimde γ_p kullanılarak hesaplandığı takdirde, γ_{pv} ile yapılacak hesaptan daha büyük sonuçlar vererek, çerçeve kapasitelerinin olduklarından daha az tahmin edilmesine neden olacaktır.

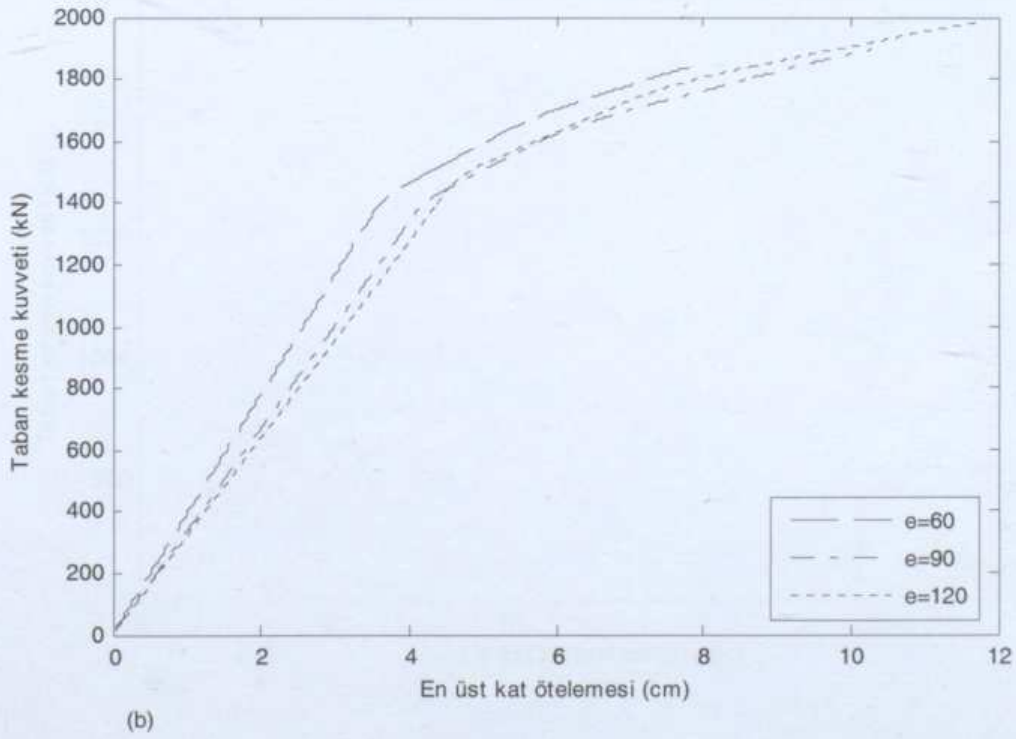
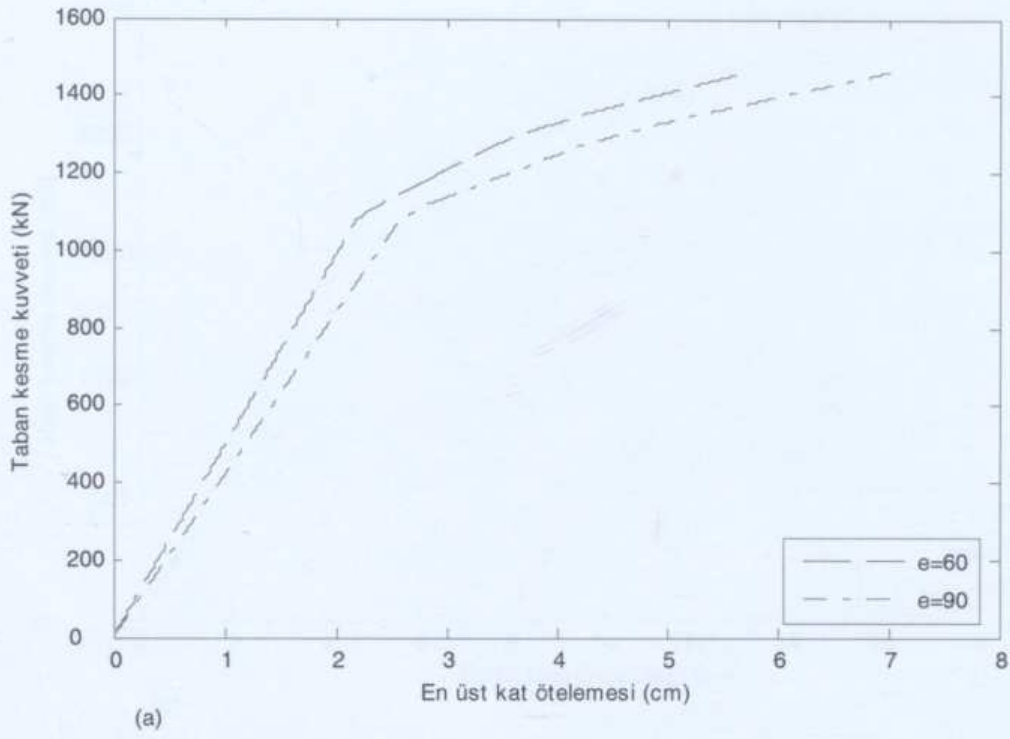
Bu tez çalışmasında elastik ötesi statik ve dinamik çözümlerde bağ kirişi dönmesi hesabı,

yukarıda (5.4) ifadesiyle verilen γ_{pv} esas alınarak yapılmıştır. Öte yandan, özellikle kesmede plastikleşen ve 120 cm uzunlukta bağ kirişli bazı çerçevelerde yapılan elastik ötesi sistem çözümlerinde bağ kirişleri henüz dönme kapasitelerine ulaşmadan, bazı çaprazlarda plastik mafsallar oluştuğu gözlenmiştir. Oysa kapasiteye dayalı tasarım uygulandığından çaprazlarda plastik mafsal oluşmaması beklenir. Çaprazlarda akmanın sebeplerinden birisi, tasarım sırasında bağ kirişi uçlarında oluşan kesit tesirlerinin diğer elemanlara hangi oranda paylaştırılacağı, elastik ötesi çözümler yerine elastik çerçeve analizleri kullanılarak belirlenmiş olmasıdır (Denk. 1.8). AISC 2005'de çaprazlarda plastikleşme oluşmayacağı öngörüsüyle yerel narinlik sınırlandırması mevcut değildir. Bu sebeple, elastik ötesi statik veya dinamik çözümlerde çaprazların hedef yer değiştirmeye ulaşmadan önce aktığı çerçevelerde, çaprazların aktığı an limit durum olarak kabul edilmiştir.

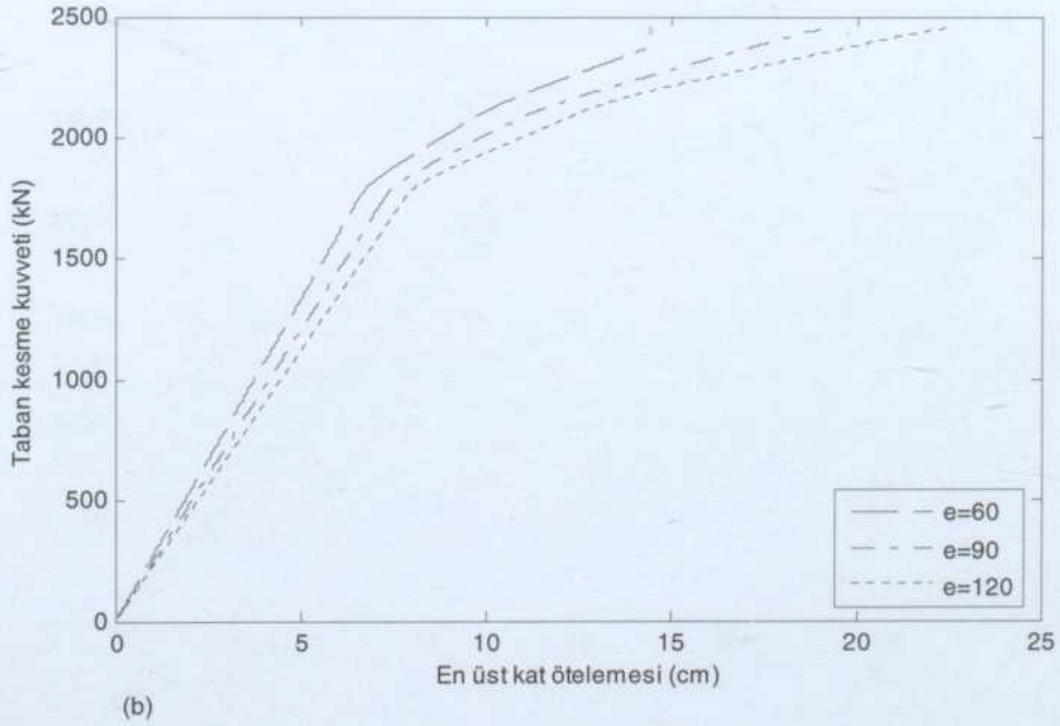
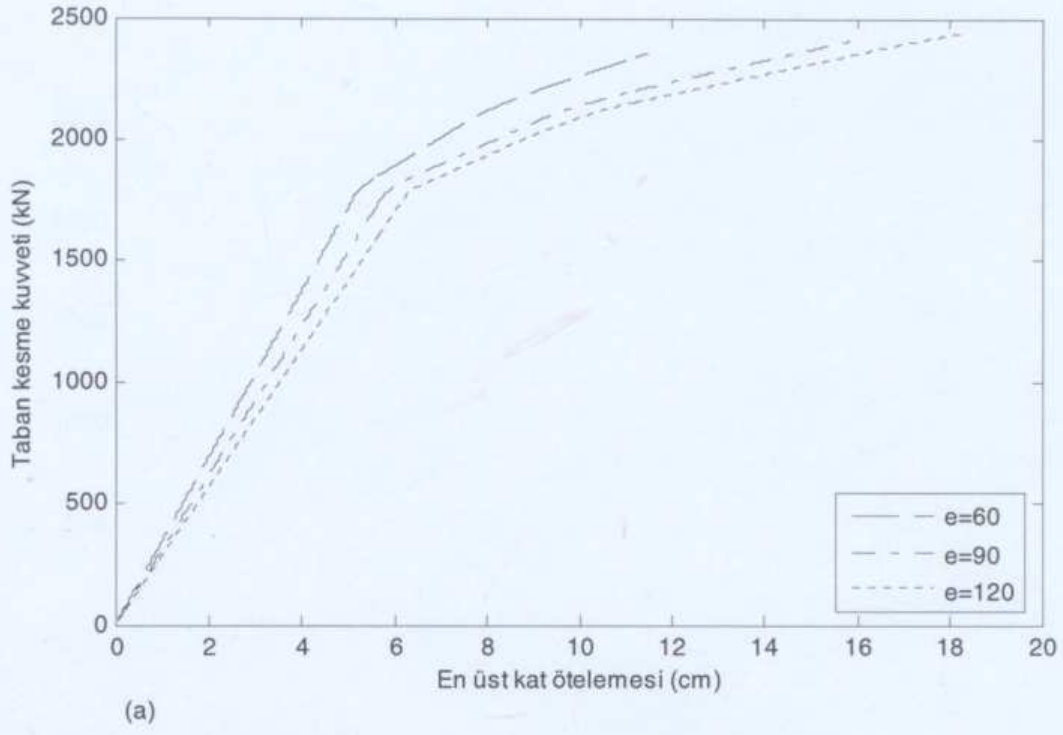
5.3 Sonuçların İrdelenmesi

Tüm çerçevelerde sünekliği en çok etkileyen parametre bağ kirişi uzunluğu olmuştur (Şekil 5.2-12). Kesmede plastikleşen ve eğilmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerde, bağ kirişi uzunluğunun artışıyla süneklik de artmaktadır. Fakat çaprazların akması nedeniyle, süneklikte artış olmayabilmektedir (Şekil 5.7(b)). Orta uzunlukta bağ kirişli çerçevelerde ise, e mesafesinin artışıyla plastik dönme kapasitesi (Denk. 1.12-c) ve süneklik azalmaktadır. Orta uzunlukta bağ kirişlerinde uzunluk 140 cm'ye yaklaştıkça, dönme kapasitesi de kesmede plastikleşen bağ kirişlerinin kapasitesi olan 0.08 radyana yaklaşır; uzunluk 220 cm'e yaklaştıkça da eğilmede plastikleşen bağ kirişlerinin kapasitesi olan 0.02 radyana yaklaşır. Süneklik değerleri; kesmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerde 2 ile 3, eğilmede plastikleşen bağ kirişli birkaç çerçevede 1.1 ile 1.4, orta uzunlukta bağ kirişli çerçevelerde ise 1.3 ile 2 aralığındadır.

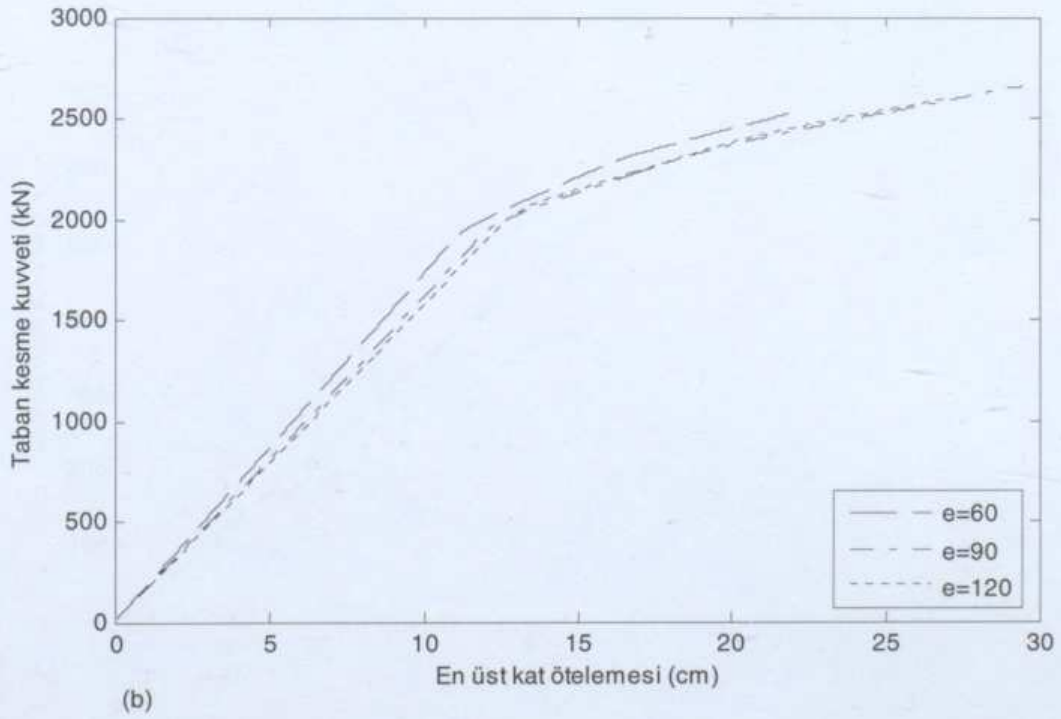
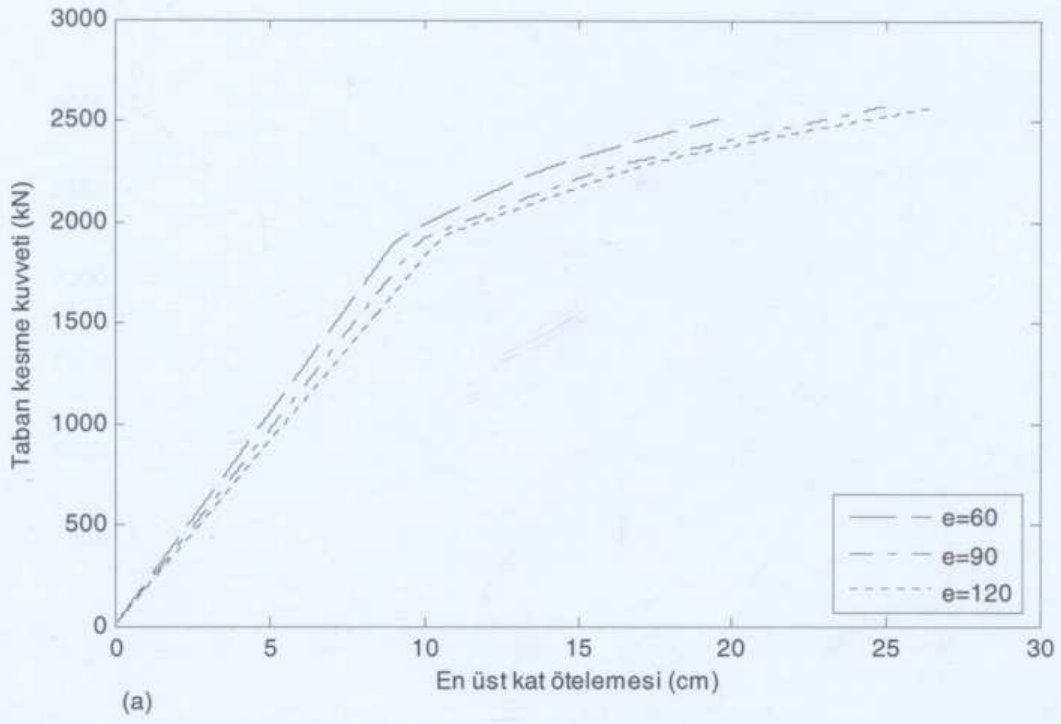
Periyot şartının belirleyici olduğu ve şartnamenin periyot üst sınırı sağlanacak şekilde tasarım kuvvetlerinin artırıldığı çerçevelerde, elastik rijitlik değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu durum, tasarım programının kullandığı artım miktarlarının yeterince uygun olduğunun bir göstergesidir. Ayrıca tasarım taban kesme kuvvetinin aynı ya da çok yakın olduğu çerçevelerde, bağ kirişi tipi ne olursa olsun, e mesafesinin azalışıyla elastik rijitlik de artmaktadır.



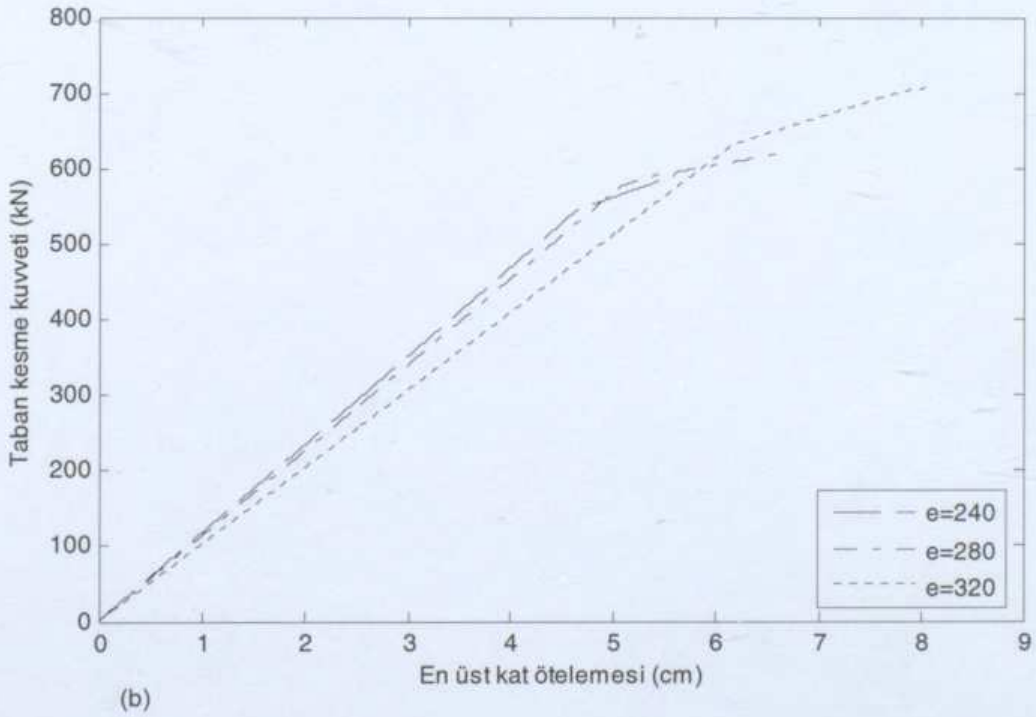
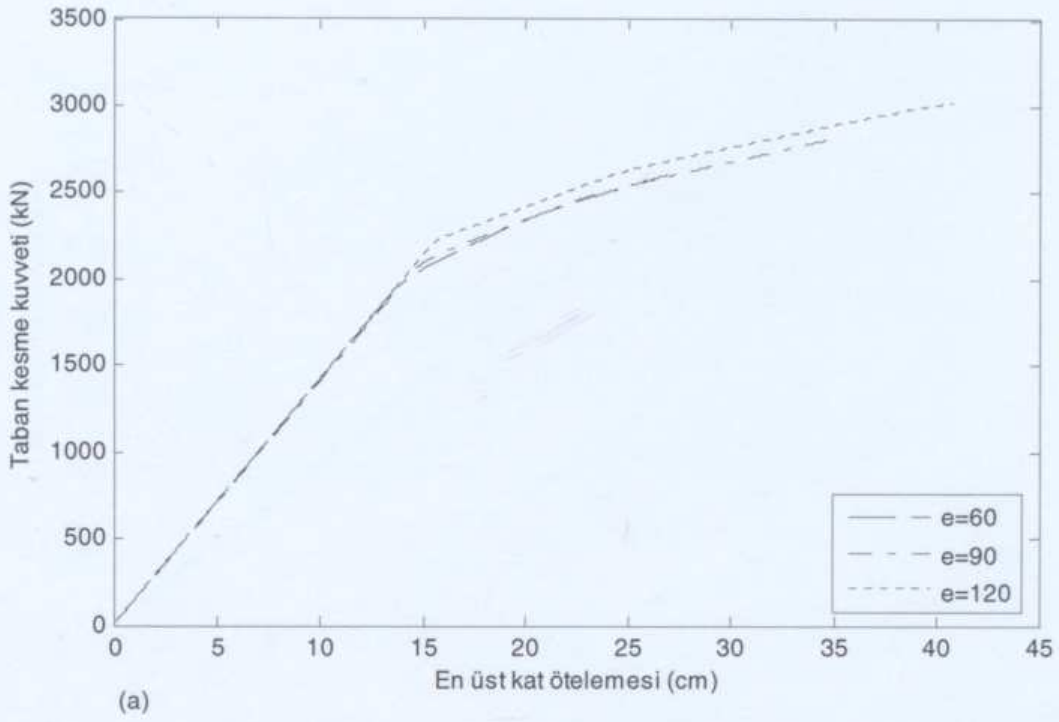
Şekil 5.2 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve kesmede plastikleşen bağ kirişli DÇÇ (a) 3 katlı (b) 4 katlı



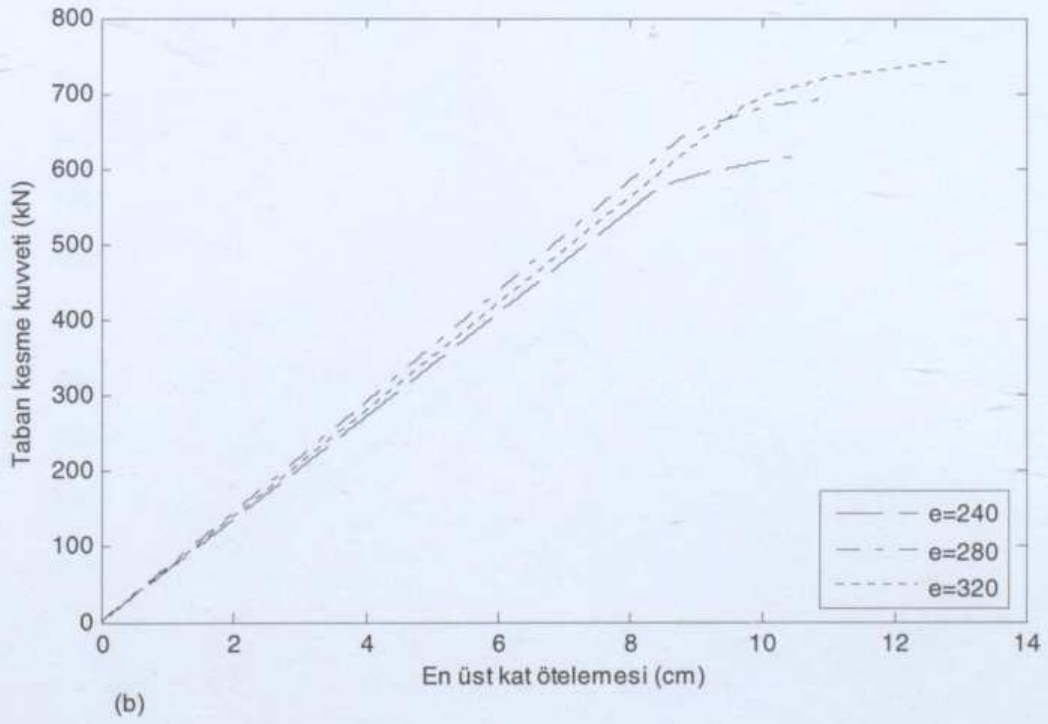
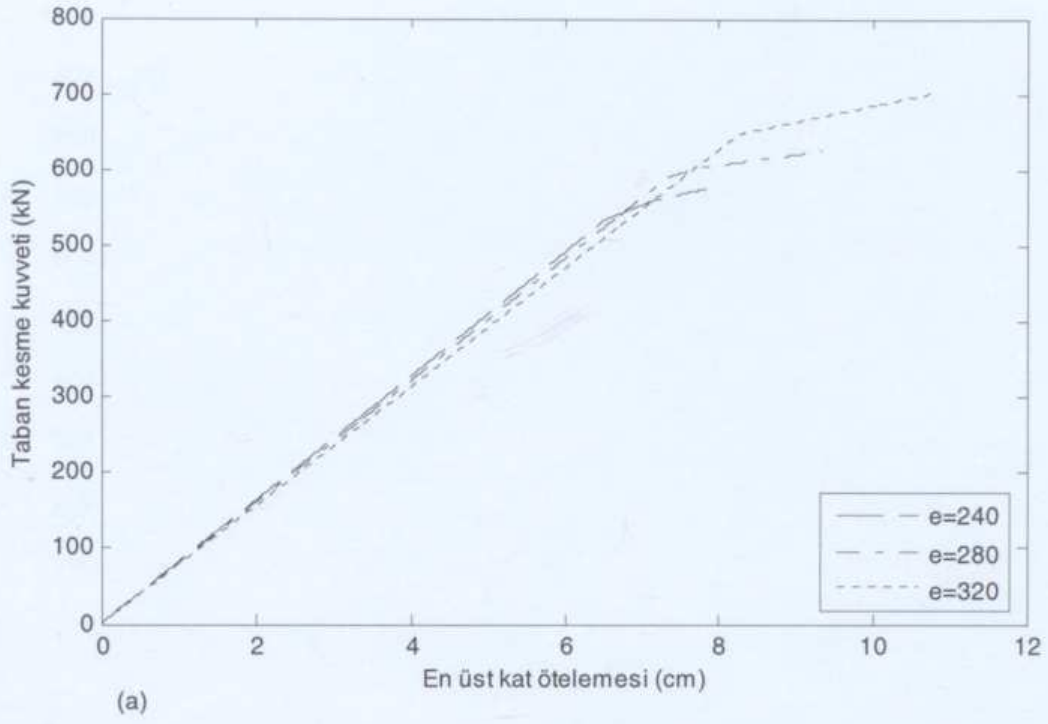
Şekil 5.3 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve kesmede plastikleşen bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 5 katlı (b) 6 katlı



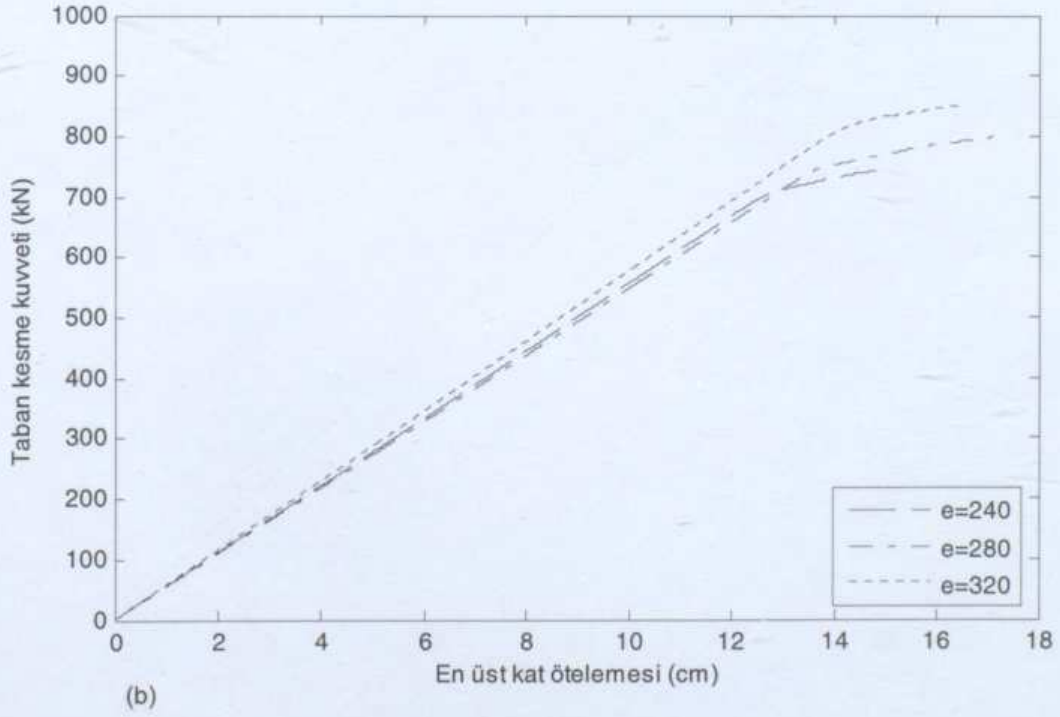
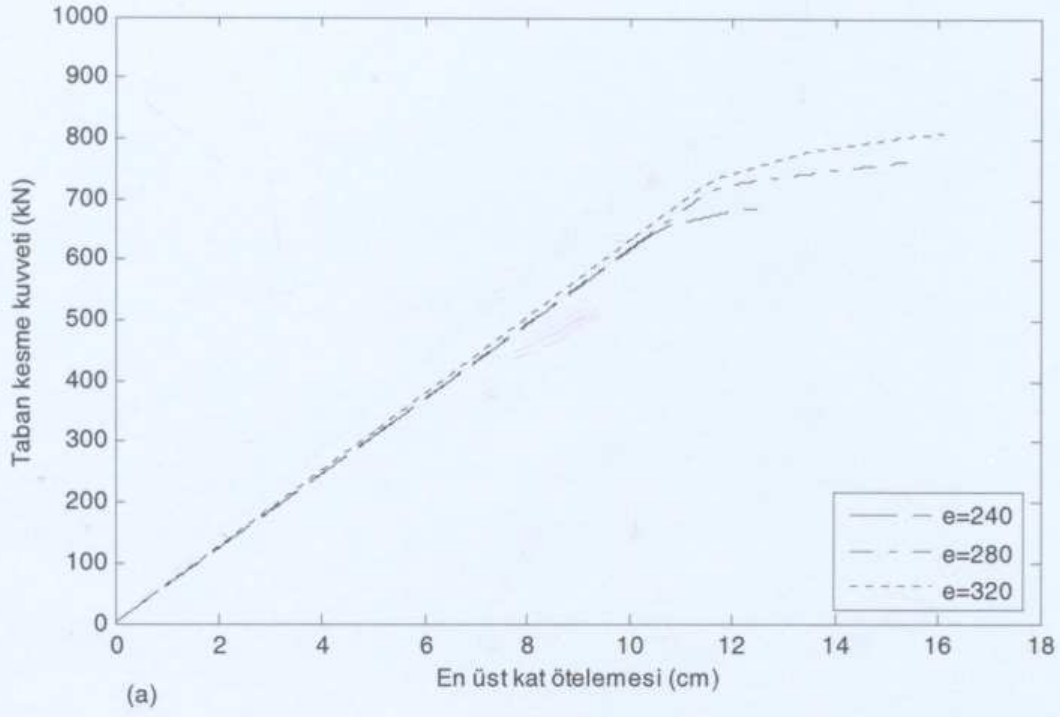
Şekil 5.4 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve kesmede plastikleşen bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 7 katlı (b) 8 katlı



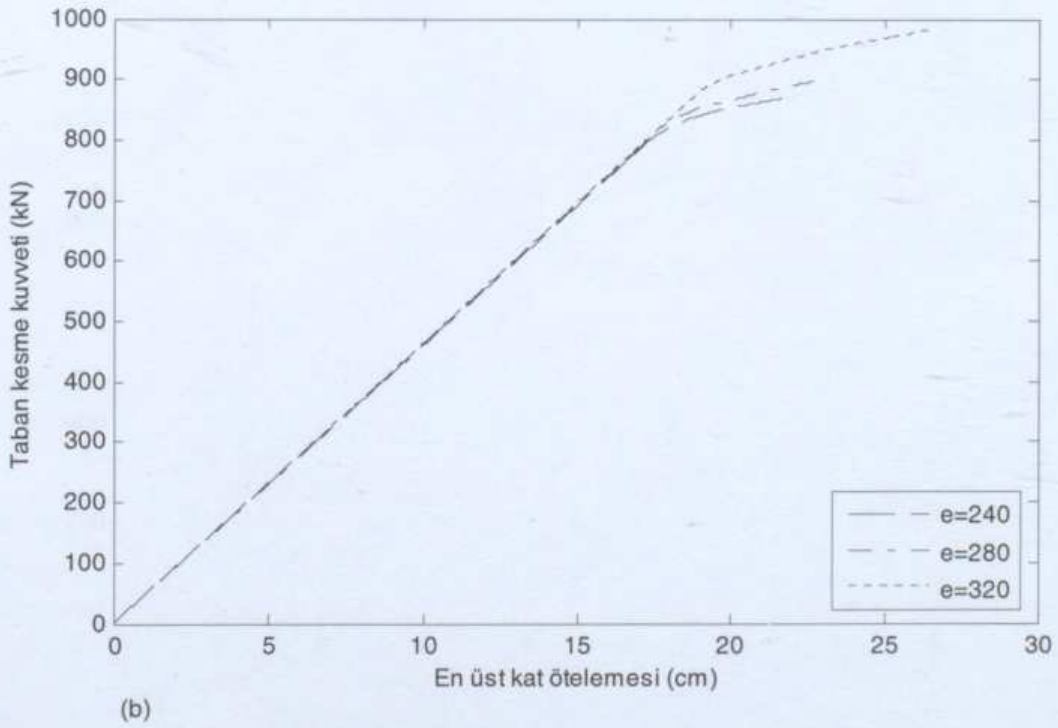
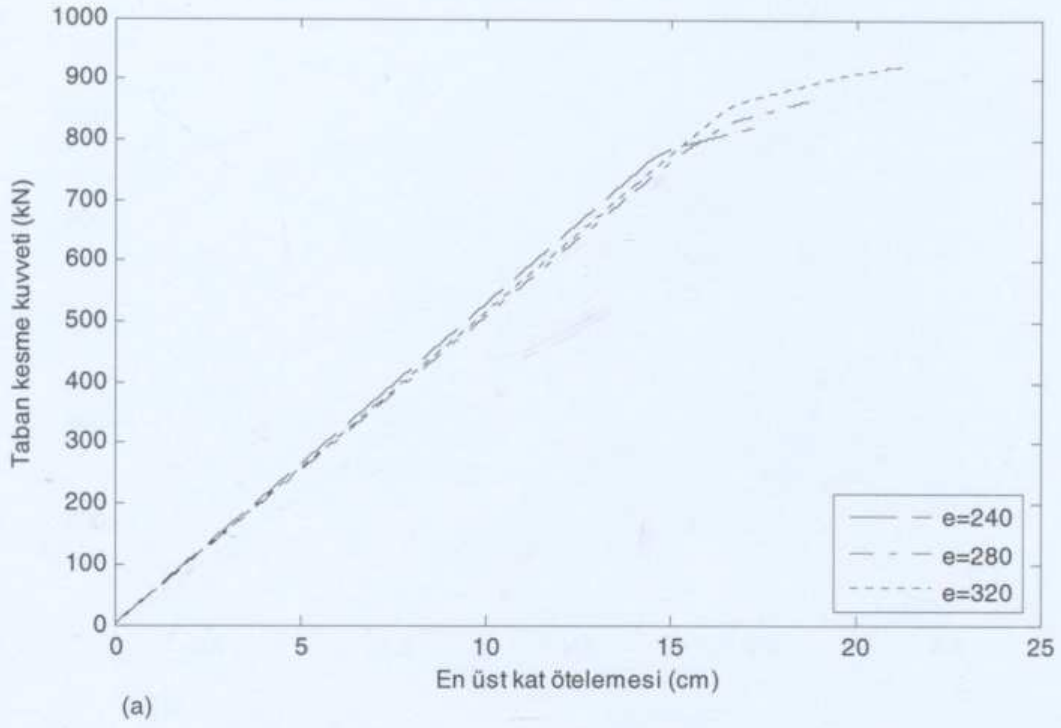
Şekil 5.5 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı DÇÇ'ler (a) kesmede plastikleşen bağ kirişli, 9 katlı (b) eğilmeye plastikleşen bağ kirişli, 3 katlı



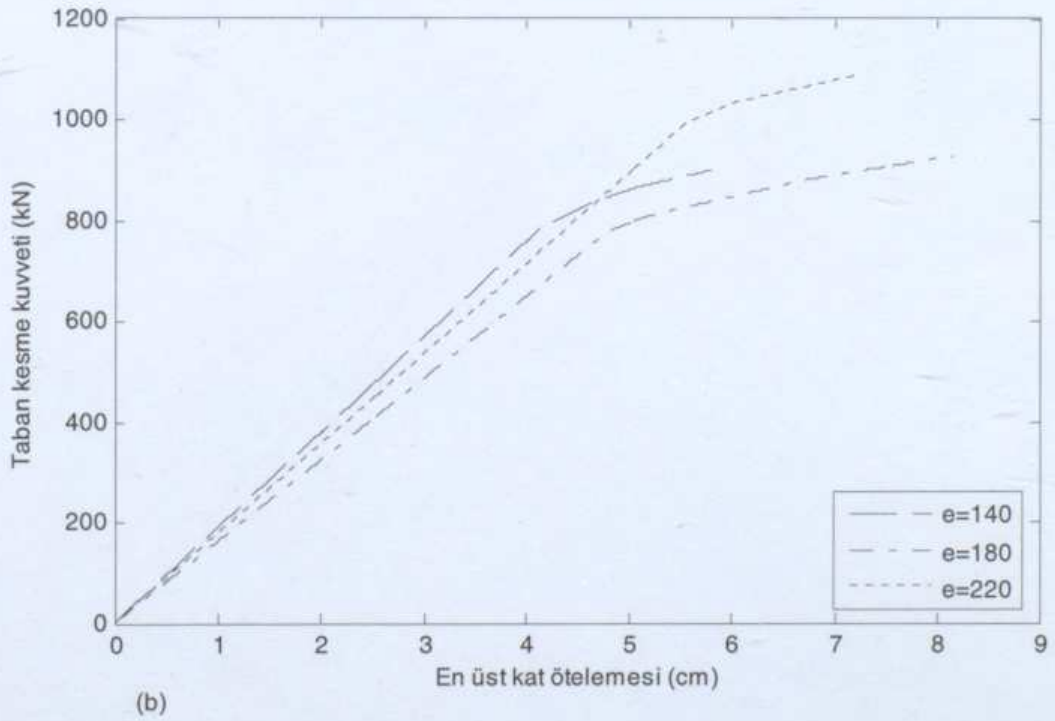
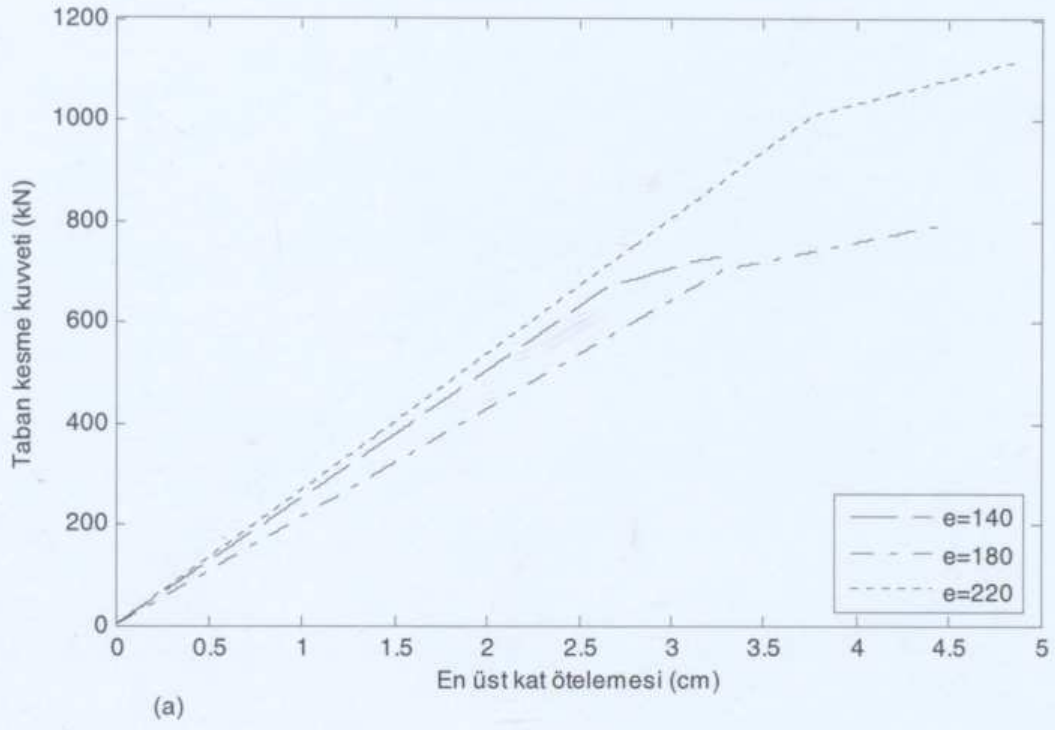
Şekil 5.6 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve eğilmede plastikleşen bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 4 katlı (b) 5 katlı



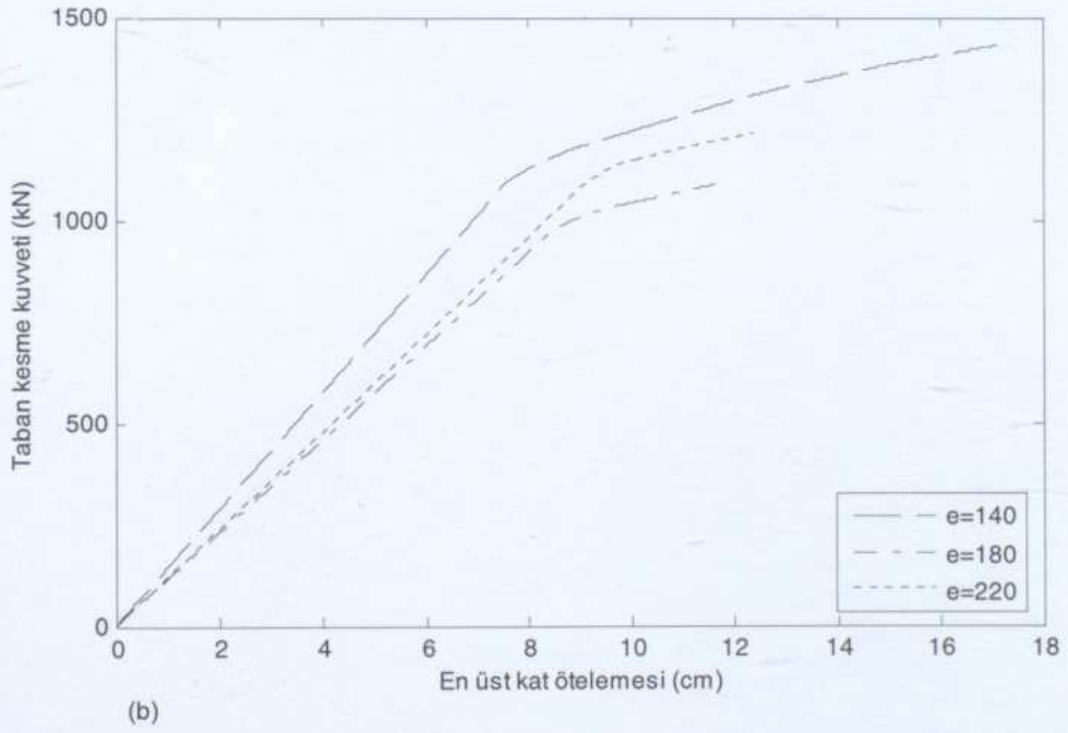
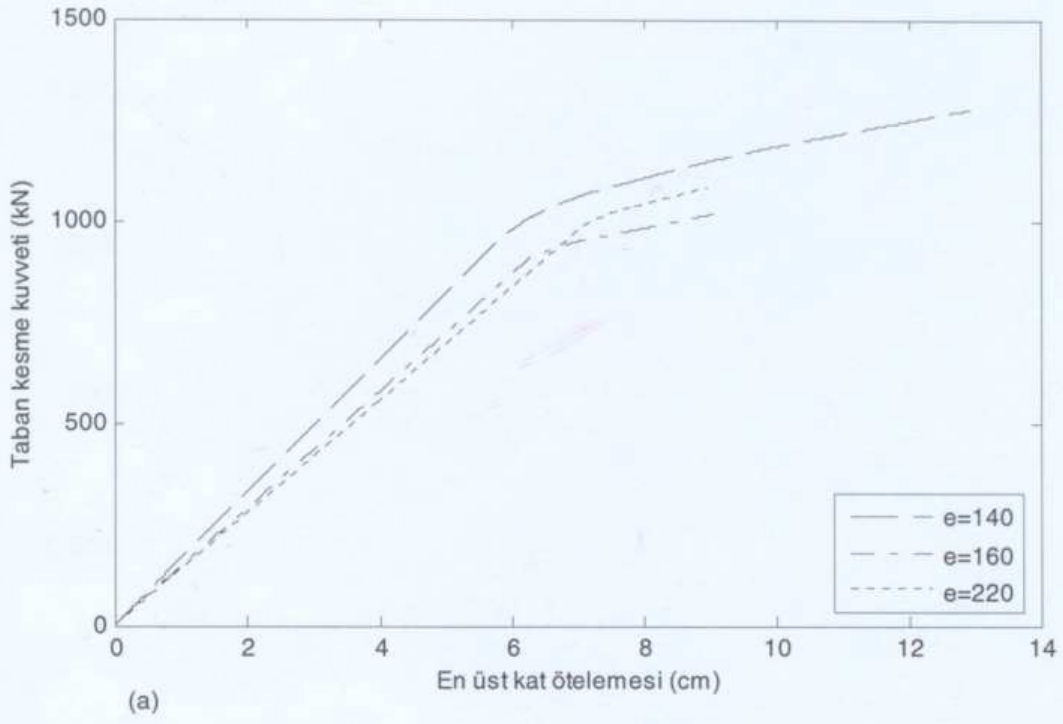
Şekil 5.7 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve eğilmede plastikleşen bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 6 katlı (b) 7 katlı



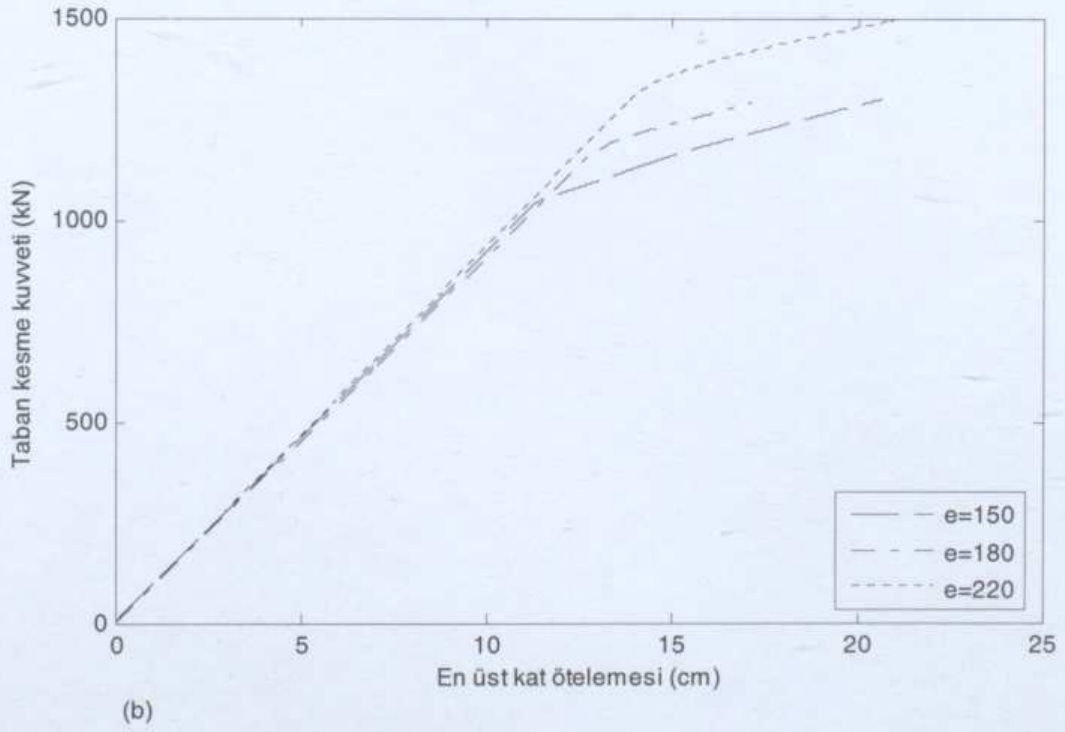
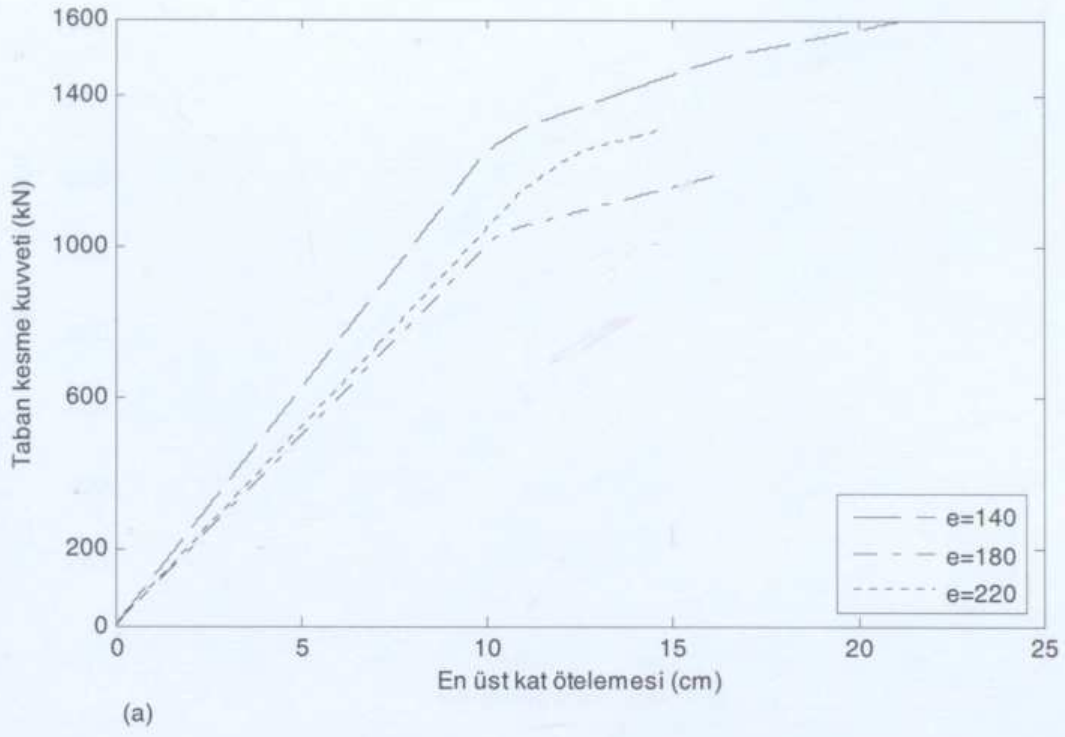
Şekil 5.8 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve eğilmede plastikleşen bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 8 katlı (b) 9 katlı



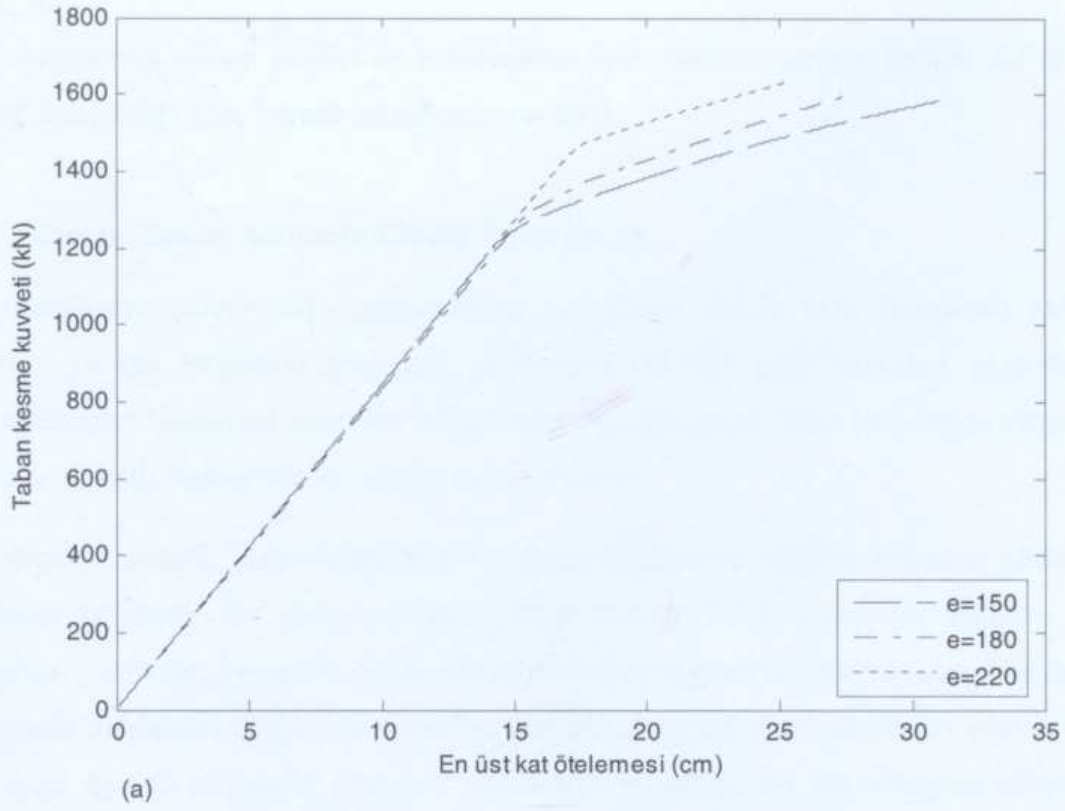
Şekil 5.9 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve orta uzunlukta bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 4 katlı



Şekil 5.10 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve orta uzunlukta bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 5 katlı
(b) 6 katlı



Şekil 5.11 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve orta uzunlukta bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 7 katlı
(b) 8 katlı



Şekil 5.12 Statik itme eğrileri: 8 m açıklıklı ve orta uzunlukta bağ kirişli 9 katlı DÇÇ'ler

6. ÖNERİLEN YÖNTEMLE R KATSAYILARININ BELİRLENMESİ

R katsayılarının sistem analizi ile belirlenmesi için önerilen yöntem Bölüm 2.3’de ayrıntılı olarak irdelendiği için, burada tekrarlanmayacaktır.

6.1 Zaman Tanım Alanında Elastik Ötesi Hesap

Boyutlandırılan çerçevelerin zaman tanım alanındaki elastik ötesi hesabında kullanılmak üzere, yazılan bilgisayar programı yardımıyla DRAIN giriş dosyaları otomatik olarak hazırlanmıştır. Çözümler sırasında sönüm oranı %2 alınmıştır. Tüm kiriş-kolon elemanlarında rijitlikle orantılı viskoz sönüm olduğu varsayılmıştır.

Önerilen yöntemde, çerçevedeki bağ kirişlerini hedeflenen dönme değerine götüren ölçek katsayısı belirlenir. Bu amaçla dikkate alınan deprem kaydı için ölçek katsayısı üzerinde iterasyon yapılarak, incelenen çerçeveye ait bağ kirişlerinden biri dönme kapasitesine belli bir toleransla ulaşıncaya kadar, zaman tanım alanındaki elastik ötesi sistem hesapları tekrarlanır. Bu işlem için de bilgisayar programı yazılmıştır. Program, her bir iterasyon adımında giriş dosyasını günceller ve DRAIN programını çağırır. Bir çerçevede bir deprem kaydı için ölçek katsayısını bulmak üzere iterasyon sayısı 40 ile sınırlandırılmıştır, bu sınır aşıldığında bu çerçeve ve bu deprem için makul çözüm bulunamadığı kabul edilmiştir.

6.2 Kullanılan Deprem Kayıtlarının Özellikleri

Model çerçevelerin zaman tanım alanındaki çözümleri için 80 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Deprem kayıtları, kullanılan tasarım spektrumunun (Şekil 3.2) ait olduğu coğrafi bölgede yer alan fay hatlarında gerçekleşen depremler arasından seçilmiştir. Kayıtların alındığı yerlere ait zemin cinsi tasarımla uyumlu olarak D (ASCE 7-05) [C (USGS)] dir. Sistem çözümlerinde kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

6.2.1 Deprem Özelliklerinin R Katsayılarına Etkileri

Odak uzaklığı, büyüklük ve a/v oranı gibi deprem özelliklerinin R katsayıları üzerindeki etkileri incelenmiş ve bazı çerçeveler için elde edilen ilişkiler Ek 2’de grafik olarak sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, tez kapsamında yapılan bir çalışmada da elde edildiği gibi deprem özellikleri ve R katsayıları arasında düzenli bir ilişkiye rastlanmamıştır (Özhendekci, Özhendekci ve Öztürk, 2006). Öte yandan, a/v oranı ile R katsayıları arasında düzenli bir ilişki olmamakla birlikte, bazı çerçeveler için bir eğilimden söz edilebilir. Dokuz katlı bazı çerçevelerde $a/v < 2$ durumunda, a/v oranının artışıyla R katsayısı azalma eğilimi

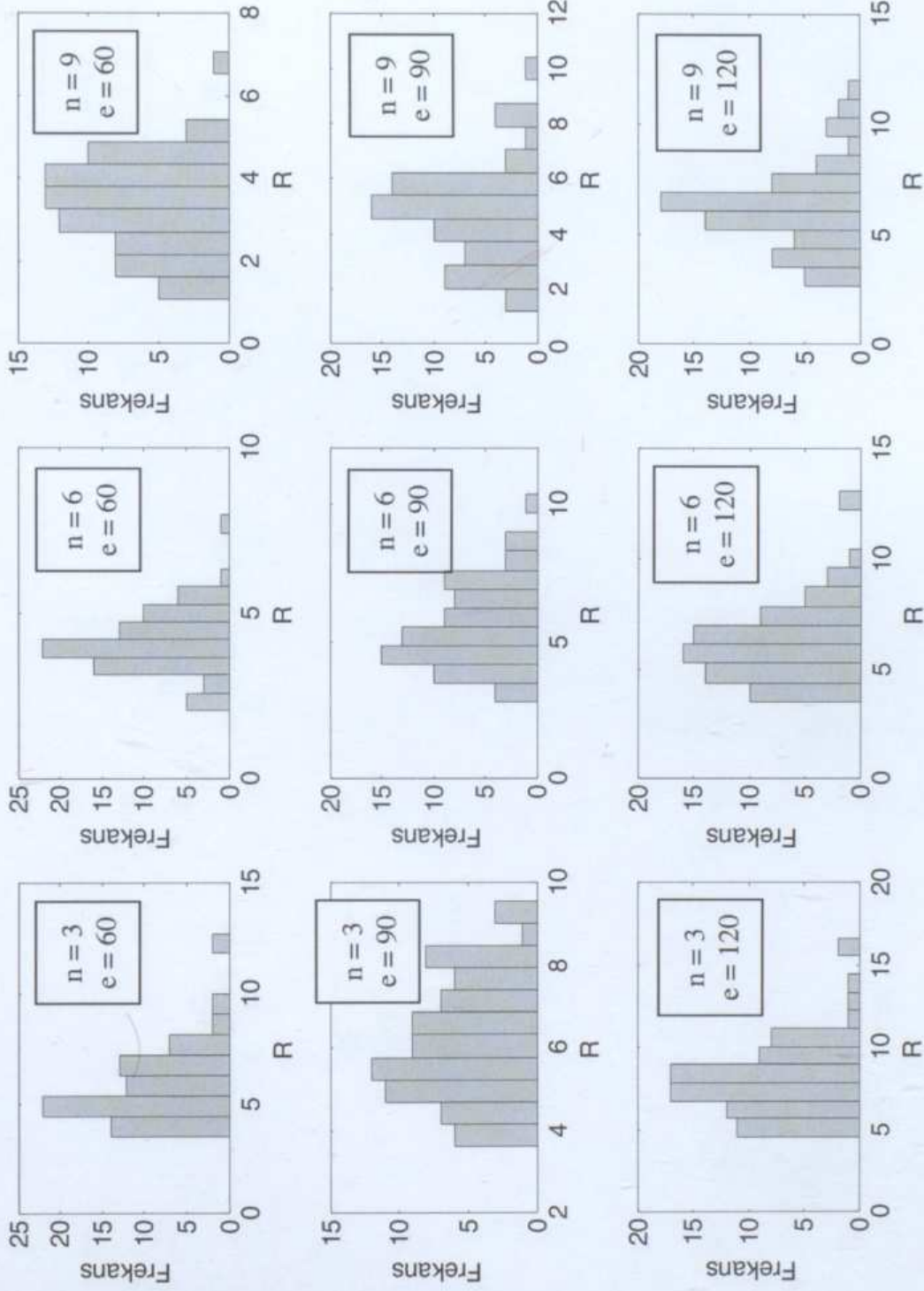
göstermiştir (Şekil Ek 2.3, 2.6, 2.12, 2.15, 2.18, 2.24, 2.27). Üç katlı dört adet çerçeve için ise $a/v < 2$ durumunda, a/v oranının artışıyla R katsayısı artış eğilimi göstermiştir (Şekil Ek 2.1, 2.4, 2.7, 2.22). Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda elde edilen bulgular da burada elde edilen sonuçlarla uyushmaktadır. Miranda (1993(a), (b)) depremin odak uzaklığı ve büyüklüğünün R_{μ} katsayısı üzerinde dikkate değer bir etkisi olmadığını ifade etmiştir. Iervolino ve Cornell (2005) ise, yapıların elastik ötesi zaman tanım alanındaki çözümleri için belirli bir büyüklük-uzaklık senaryosuyla deprem kaydı seçmenin ve bu kayıtları tüm yapılar için ortak bir seviyeye kadar ölçeklendirmenin sistem tepkileri üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını ifade etmişlerdir.

Deprem özellikleri ve R katsayıları arasında belirleyici bir ilişki bulunmadığı için, R katsayılarının histogramları verilmiştir (Şekil 6.1-3).

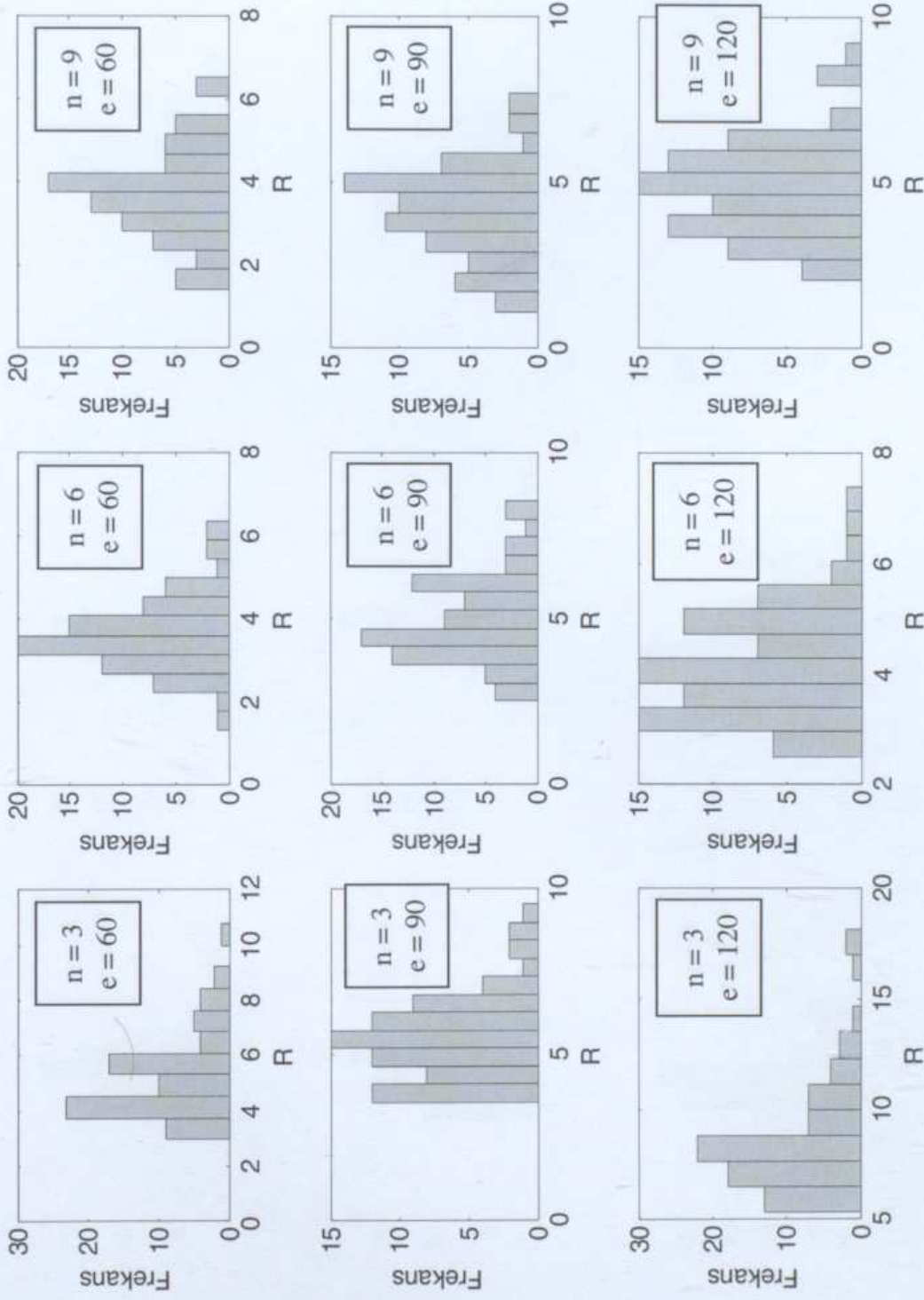
Çizelge 6.1 Sistem çözümlerinde kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri

Deprem kodu	Deprem kaydı	Depremin büyüklüğü (M)	Deprem odağına uzaklık (km)	Depremin a/v oranı
Dep01	Morgan Hill 1984/04/24 21:15	6.2	29.4	0.64
Dep02	Morgan Hill 1984/04/24 21:15	6.2	29.4	0.57
Dep03	Lytle Creek 1970/09/12 14:30	5.4	32.4	2.10
Dep04	Lytle Creek 1970/09/12 14:30	5.4	32.4	2.96
Dep05	Morgan Hill 1984/04/24 21:15	6.2	14.6	1.74
Dep06	Coalinga 1983/05/02 23:42	6.4	47.3	1.36
Dep07	Coalinga 1983/05/02 23:42	6.4	47.3	1.31
Dep08	Coalinga 1983/05/02 23:42	6.4	50.7	1.14
Dep09	Coalinga 1983/05/02 23:42	6.4	50.7	1.26
Dep10	Morgan Hill 1984/04/24 21:15	6.2	32.5	0.96
Dep11	Morgan Hill 1984/04/24 21:15	6.2	32.5	0.78
Dep12	Coyote Lake 1979/08/06 17:05	5.7	31.2	1.79
Dep13	Coyote Lake 1979/08/06 17:05	5.7	31.2	1.05
Dep14	Morgan Hill 1984/04/24 21:15	6.2	64.4	0.87
Dep15	Morgan Hill 1984/04/24 21:15	6.2	64.4	0.70
Dep16	Morgan Hill 1984/04/24 21:15	6.2	71.2	1.48
Dep17	Morgan Hill 1984/04/24 21:15	6.2	71.2	1.78
Dep18	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	57.4	1.24
Dep19	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	57.4	1.20
Dep20	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	27	0.66
Dep21	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	27	0.91
Dep22	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	24.3	1.37
Dep23	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	24.3	1.95
Dep24	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	28.2	0.64
Dep25	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	28.2	0.48
Dep26	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	31.6	0.76
Dep27	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	64.4	0.93
Dep28	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	64.4	1.18
Dep29	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	32.6	0.85
Dep30	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	32.6	0.71
Dep31	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	36.3	0.52
Dep32	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	36.3	0.95
Dep33	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	28.8	0.56
Dep34	Loma Prieta 1989/10/18 00:05	6.9	28.8	0.58
Dep35	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	40.7	1.37
Dep36	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	40.7	2.11
Dep37	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	49.6	1.29
Dep38	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	49.6	1.94
Dep39	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	53	1.09
Dep40	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	53	1.72
Dep41	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	30.9	2.42
Dep42	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	30.9	1.41
Dep43	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	15.8	1.11
Dep44	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	15.8	0.69
Dep45	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	47.6	1.16
Dep46	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	47.6	2.06
Dep47	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	47.4	1.26

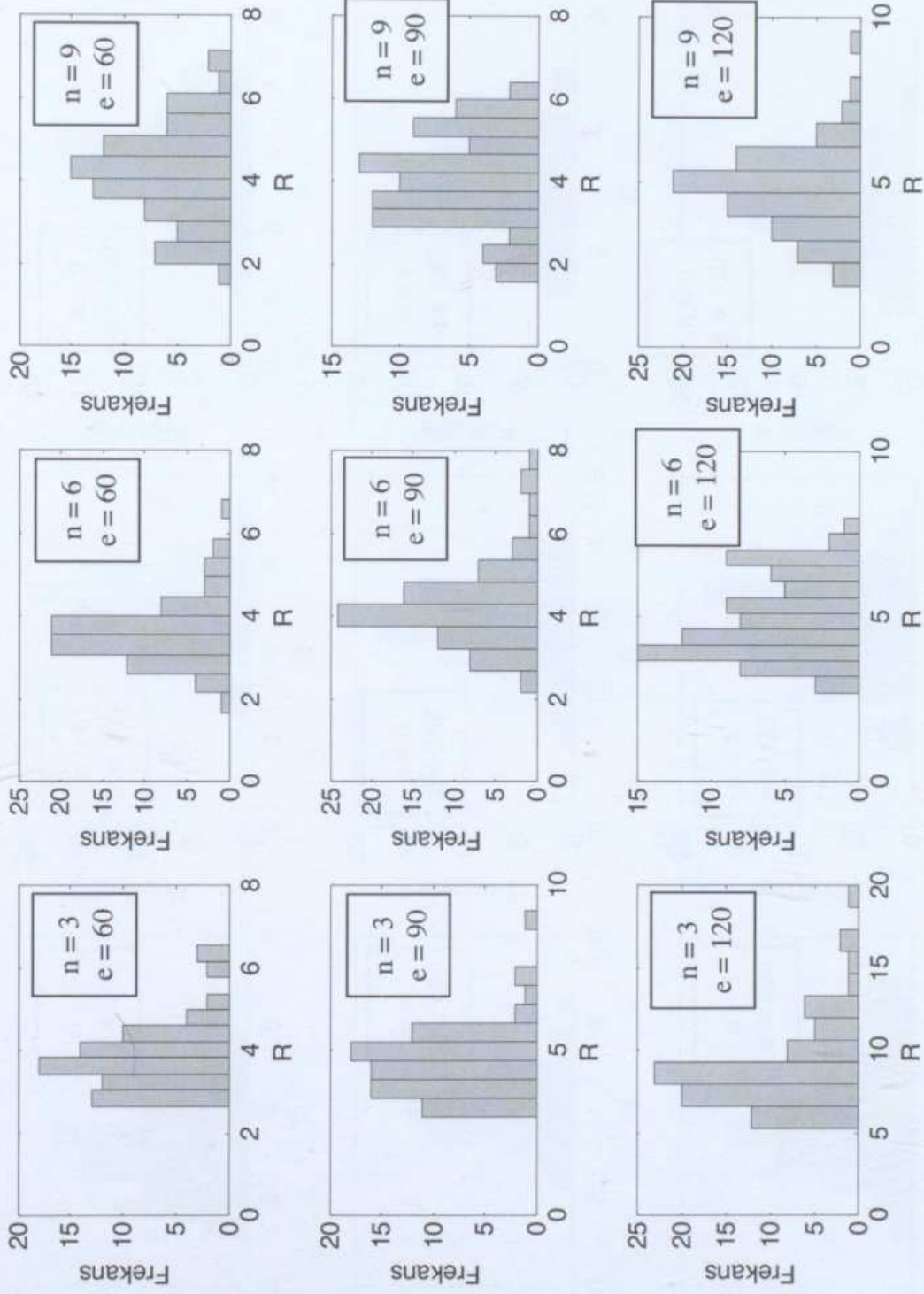
Deprem kodu	Deprem kaydı	Deprem büyüklüğü (M)	Deprem odağına uzaklık (km)	Deprem a/v oranı
Dep48	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	47.4	1.84
Dep49	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	29.5	1.51
Dep50	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	29.5	0.92
Dep51	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	36.9	1.62
Dep52	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	36.9	1.30
Dep53	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	25.5	1.27
Dep54	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	25.5	1.31
Dep55	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	46.6	1.32
Dep56	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	46.6	0.88
Dep57	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	39.3	1.30
Dep58	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	39.3	1.52
Dep59	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	71.1	1.39
Dep60	Northridge 1994/01/17 12:31	6.7	15.8	0.69
Dep61	N Palm Springs 1986/07/08 09:20	6.0	43.3	2.96
Dep62	N Palm Springs 1986/07/08 09:20	6.0	43.3	2.72
Dep63	N Palm Springs 1986/07/08 09:20	6.0	39.6	2.23
Dep64	N Palm Springs 1986/07/08 09:20	6.0	39.6	1.44
Dep65	N Palm Springs 1986/07/08 09:20	6.0	45.7	1.00
Dep66	N Palm Springs 1986/07/08 09:20	6.0	45.7	1.55
Dep67	N Palm Springs 1986/07/08 09:20	6.0	16.6	1.28
Dep68	N Palm Springs 1986/07/08 09:20	6.0	16.6	1.54
Dep69	N Palm Springs 1986/07/08 09:20	6.0	73.2	1.76
Dep70	N Palm Springs 1986/07/08 09:20	6.0	73.2	2.14
Dep71	Point Mugu 1973/02/21 14:45	5.8	25	0.75
Dep72	Point Mugu 1973/02/21 14:45	5.8	25	1.81
Dep73	San Fernando 1971/02/09 14:00	6.6	48.1	1.06
Dep74	San Fernando 1971/02/09 14:00	6.6	48.1	1.54
Dep75	San Fernando 1971/02/09 14:00	6.6	21.2	1.11
Dep76	San Fernando 1971/02/09 14:00	6.6	21.2	1.17
Dep77	San Fernando 1971/02/09 14:00	6.6	63	0.44
Dep78	San Fernando 1971/02/09 14:00	6.6	21.2	0.65
Dep79	San Fernando 1971/02/09 14:00	6.6	69.2	0.30
Dep80	San Fernando 1971/02/09 14:00	6.6	69.2	0.42



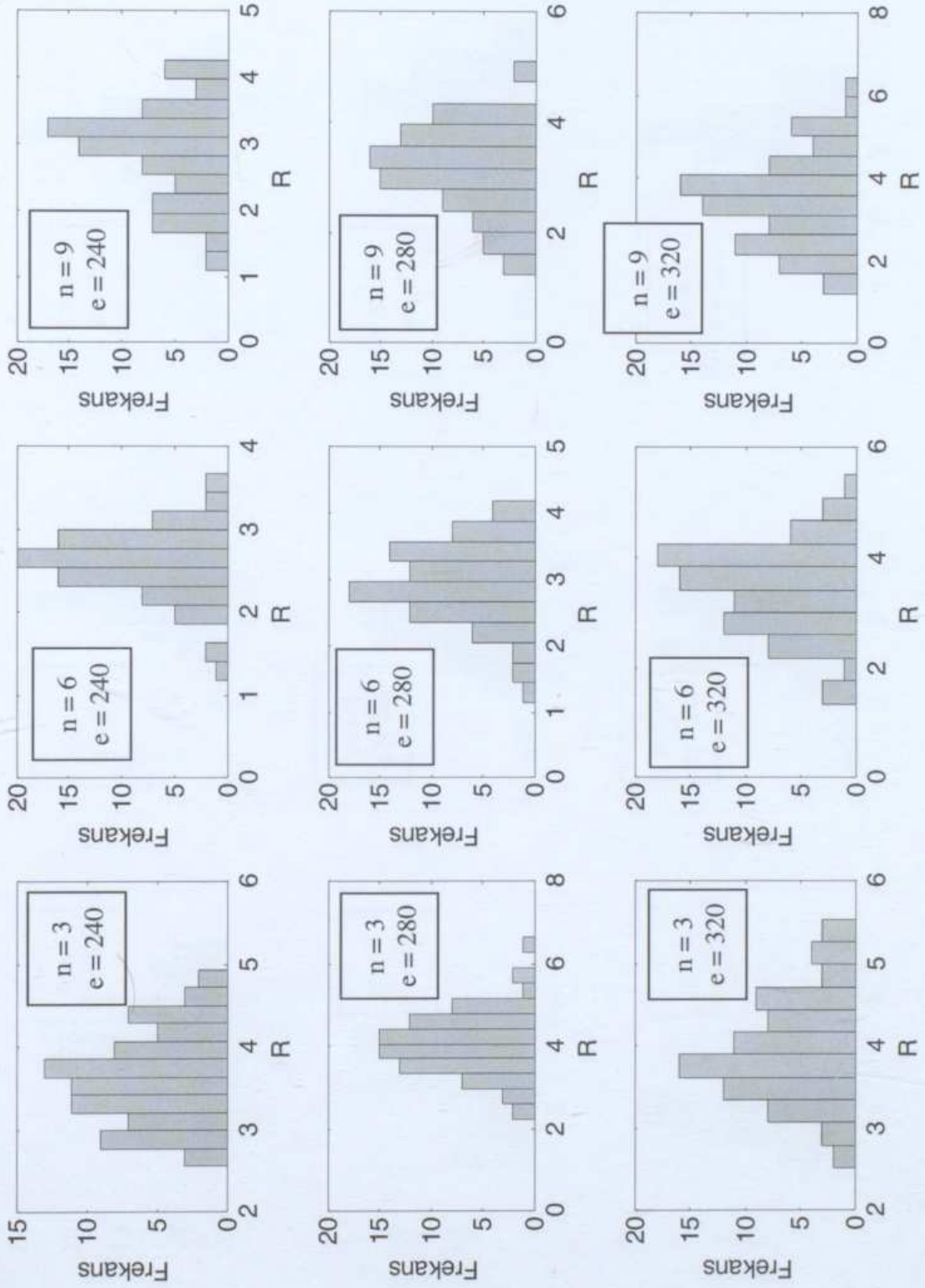
Şekil 6.1 Kesmede plastikleşen bağ kirişli ve 8 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı)



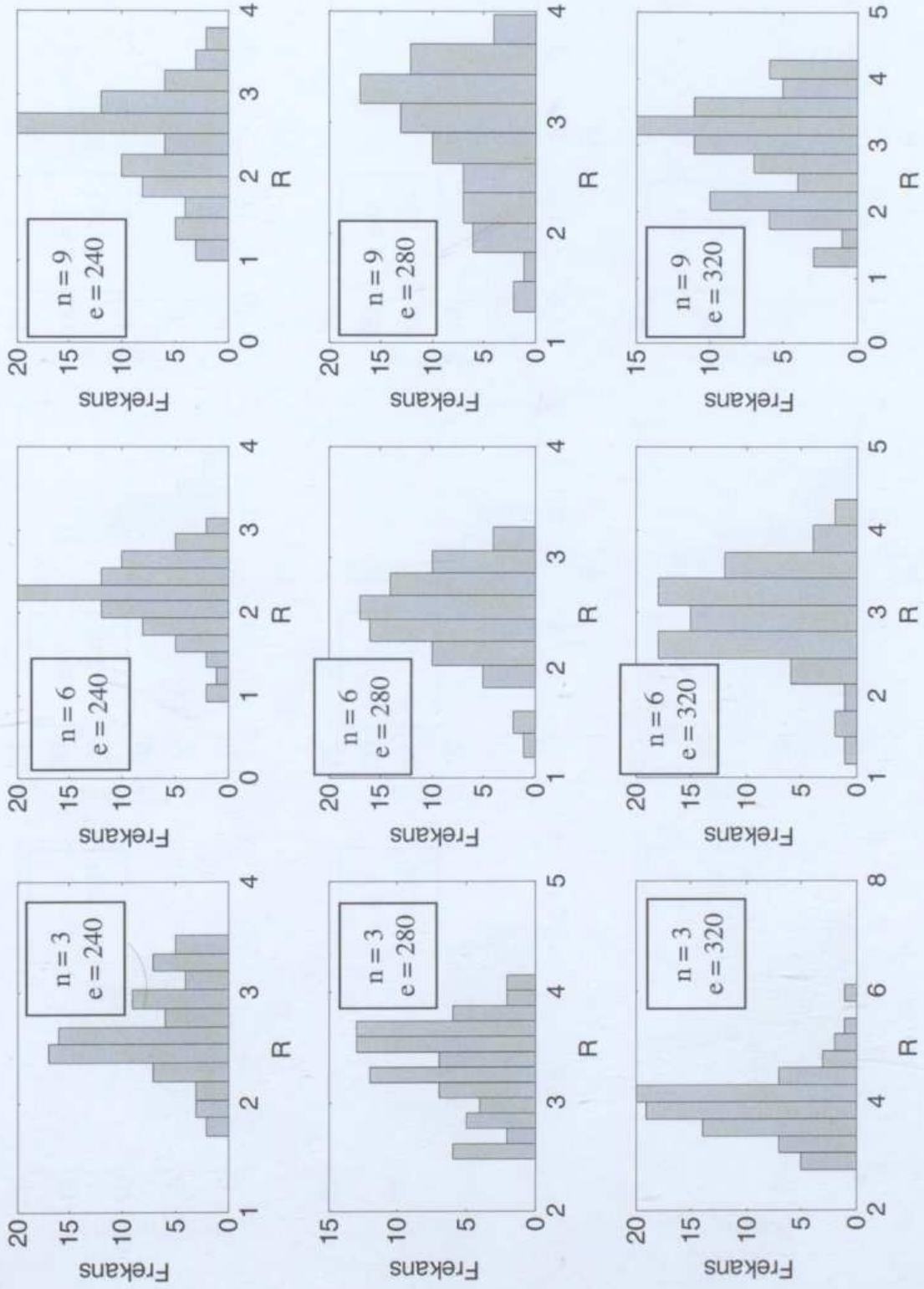
Şekil 6.2 Kesmede plastikleşen bağ kirişli ve 9 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı)



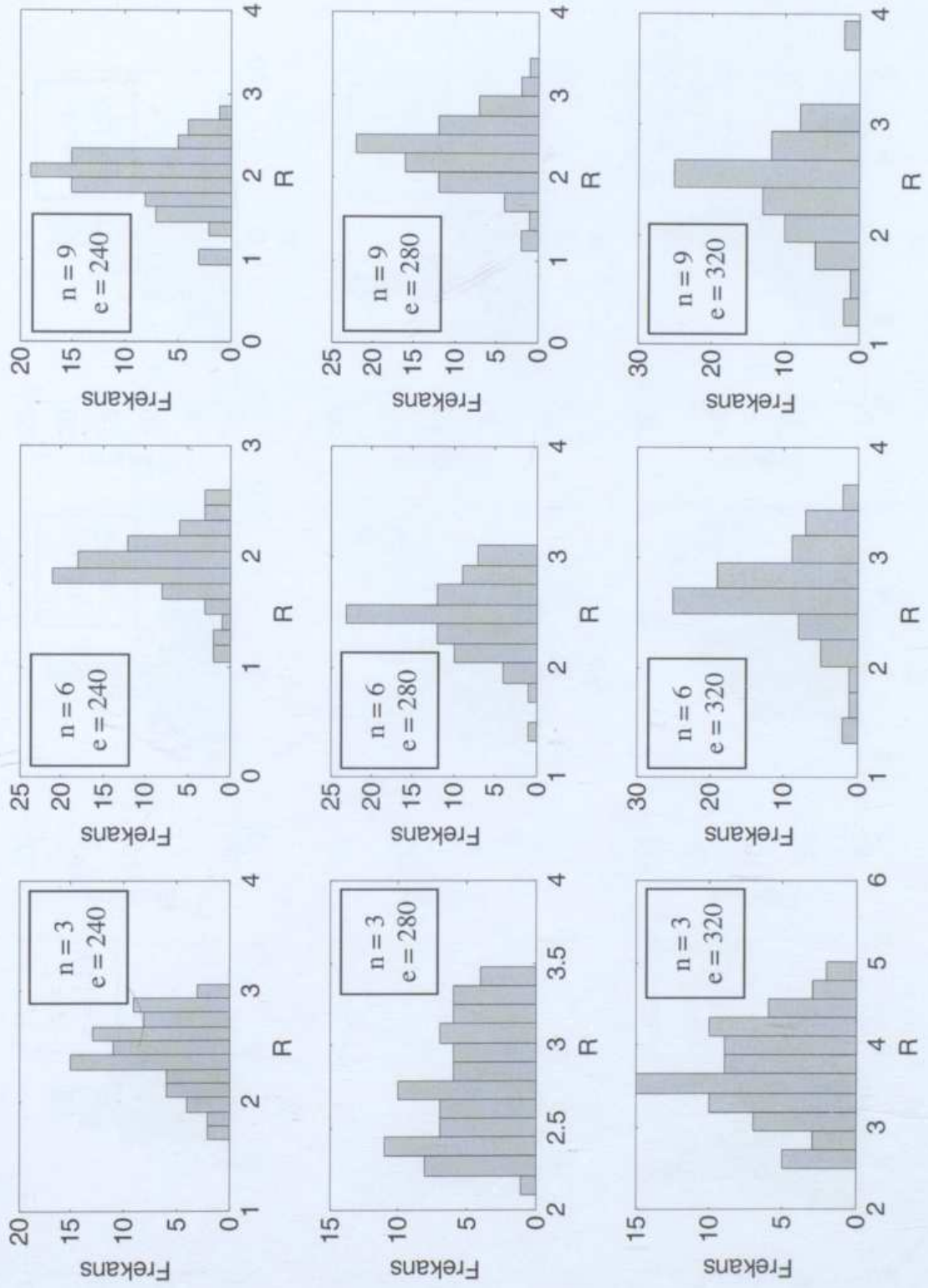
Şekil 6.3 Kesmede plastikleşen bağ kirişli ve 10 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı)



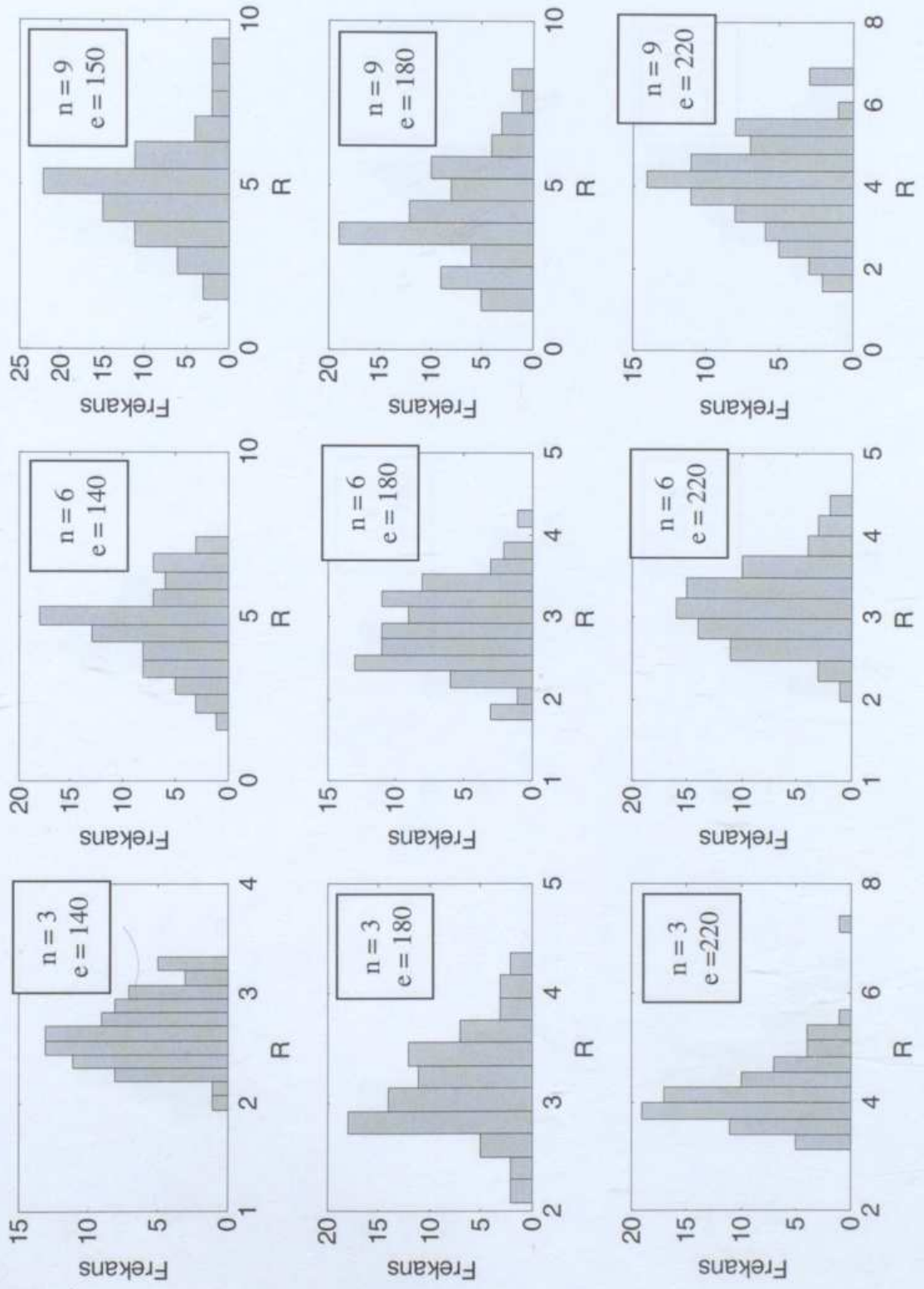
Şekil 6.4 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli ve 8 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı)



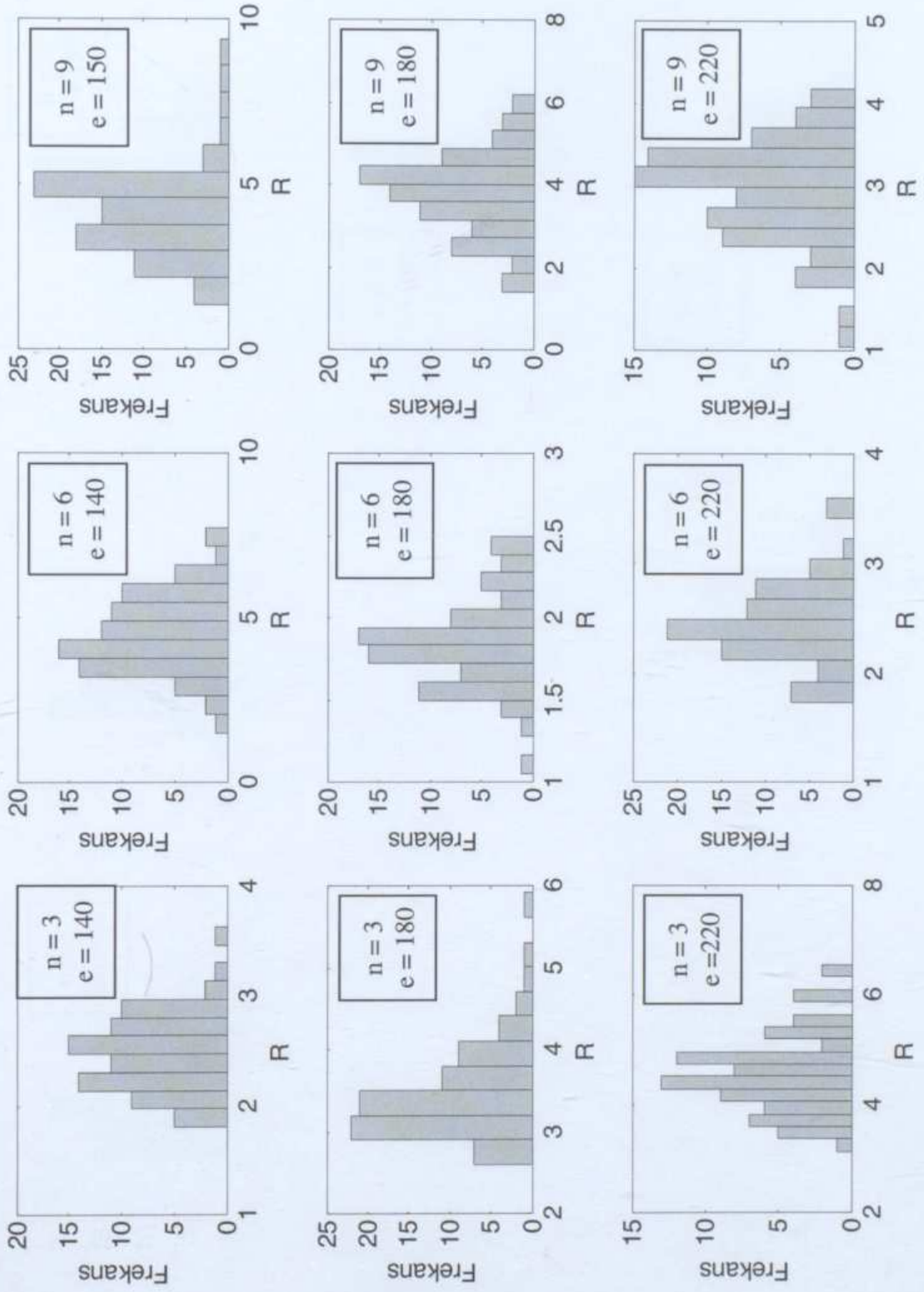
Şekil 6.5 Eğilimde plastikleşen ve 9 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogram (n:kat sayısı)



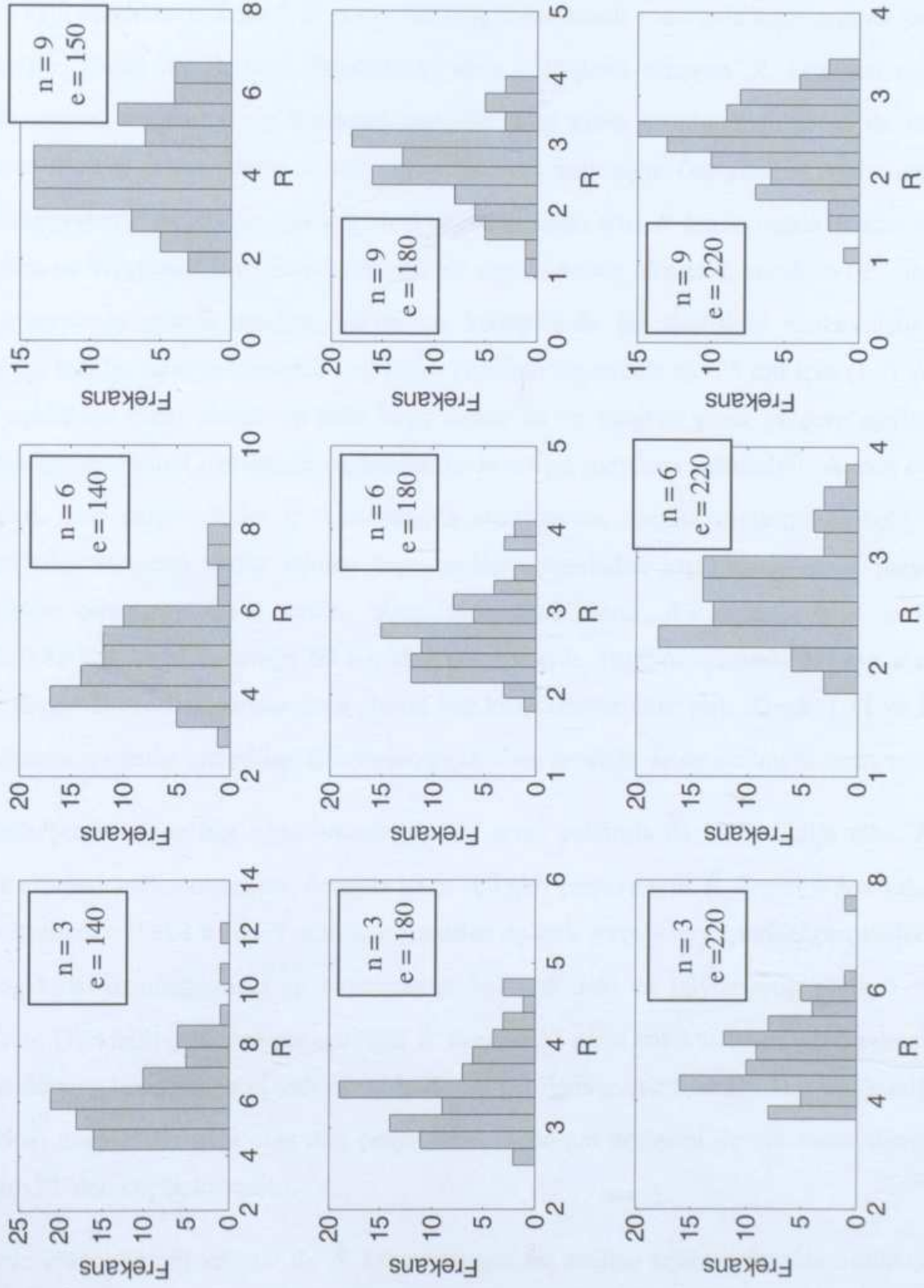
Şekil 6.6 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli ve 10 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı)



Şekil 6.7 Orta uzunlukta bağ kirişli ve 8 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı)



Şekil 6.8 Orta uzunlukta bağ kirişli ve 9 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n:kat sayısı)



Şekil 6.9 Orta uzunlukta bağ kirişli ve 10 m açıklıklı çerçevelerin R katsayılarına ait histogramlar (n :kat sayısı)

6.3 Kesmede Plastikleşen Bağ Kirişleri İçeren Çerçevelerde $\bar{R}$ Katsayıları

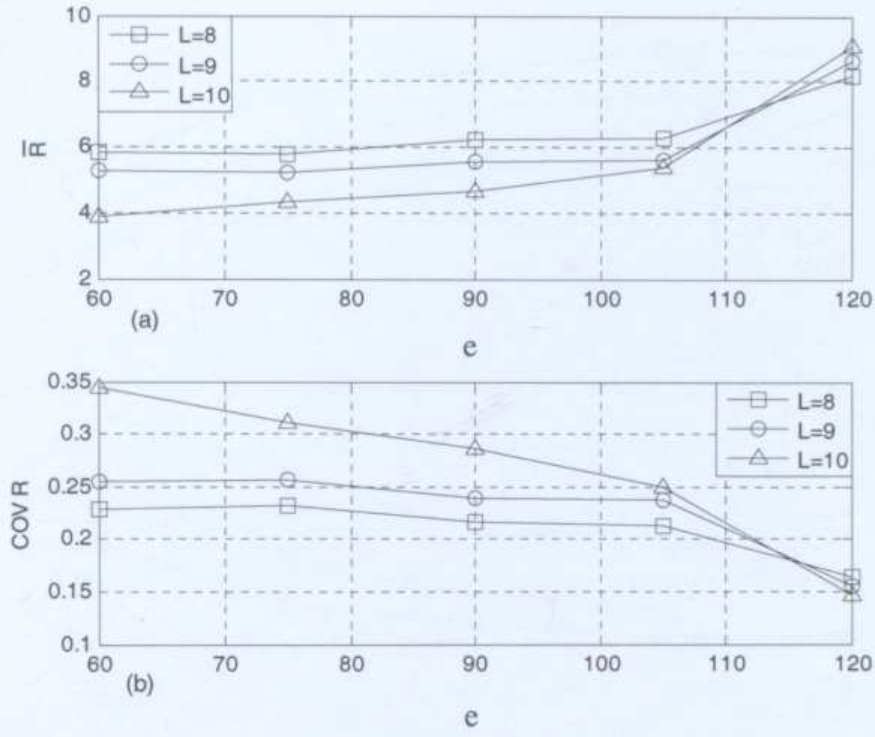
Kesmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerde önerilen yöntemle elde edilen ortalama $\bar{R}$ katsayıları ve $\bar{R}$ katsayılarına ait varyasyon katsayıları (COV_R) aynı yükseklikteki (Şekil 6.10-16) ve aynı açıklıktaki (Şekil 6.17-6.19) tüm çerçeveler kendi aralarında kıyaslanacak şekilde verilmiştir. Genel olarak tüm çerçevelerde kiriş açıklığının artışıyla $\bar{R}$ katsayısı düzenli olarak azalmış ve varyasyon katsayısı artmıştır. Bağ kirişi uzunluğunun artışı ile ise $\bar{R}$ katsayısı düzenli olarak artmış ve varyasyon katsayısı azalmıştır. Öte yandan, özel olarak üç katlı çerçevelerde, $e < 105$ cm için bağ kirişi uzunluğundaki artış $\bar{R}$ katsayısında dikkate değer bir artışa ve varyasyon katsayısında önemli bir düşüşe neden olmamış, ancak $e > 105$ cm için $\bar{R}$ katsayısında yüksek artışlar, varyasyon katsayısında ise düşüşlere rastlanmıştır. Bu durumun sebebi, tasarım sırasında bağ kirişi kesitinin seçiminde $e > 105$ cm için (1.5) yerine (1.2) eşitliğinin etkin olması ve buna bağlı olarak da bu bölgede gerek çerçeve ağırlığı ve gerekse çerçeve yanal rijitliğinde olağandan fazla artışın meydana gelmesidir. Ayrıca $e = 120$ cm olan bazı çerçevelerde $\bar{R}$ katsayısında artış yerine azalma olmasının sebebi, bağ kirişlerinden birisinin henüz dönme kapasitesine ulaşmadan çaprazlarda akma meydana gelmesiyle çerçevenin limit duruma ulaşmasıdır. Özel olarak, dokuz katlı, 9 m ve 10 m açıklıklı ve bağ kirişi uzunluğu 60 cm olan çerçevelerde, tasarım sırasında çerçeve tasarım taban kesme kuvvetleri, şartnamenin plastik bağ kirişi dönme sınır şartı (Denk. 1.11 ve 1.12-a) sağlanıncaya kadar arttırıldığı için, başlangıçta e 'nin artışıyla $\bar{R}$ 'de azalmaya rastlanır.

Üç katlı çerçevelerde bağ kirişi uzunluğundaki artış, yukarıda da bahsedildiği gibi, $\bar{R}$ 'de büyük artışlara neden olmuştur; örneğin 10 m açıklıklı çerçeve için $\bar{R}$ değeri 4'den yaklaşık 9'a yükselmiştir (Şekil 6.10). Yukarıda bahsedilen üç katlı çerçeveler dışındaki çerçeveler için ise bağ kirişi uzunluğundaki en büyük artışa bağlı $\bar{R}$ 'deki en büyük artış yaklaşık "2.5" olmuştur. Dört katlı çerçevelerde açıklığın $\bar{R}$ üzerindeki etkisi çok küçüktür; çözüm dosyaları incelendiğinde buna neden olacak özel bir durum görülememiştir (Şekil 6.11). Yüksekliği ve bağ kirişi uzunlukları aynı olan tüm çerçevelerde açıklığın değişimi ile $\bar{R}$ katsayılarındaki değişim "2"den küçük kalmıştır.

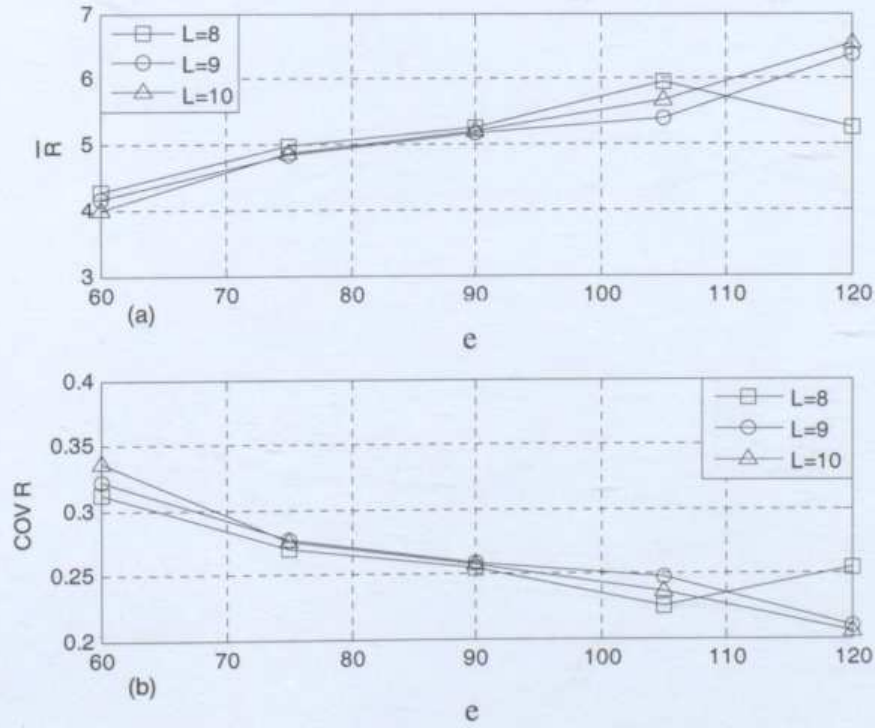
Çerçeve yüksekliğinin artması ile $\bar{R}$ katsayılarında bir azalma eğilimi olmakla birlikte, 120 cm'lik bağ kirişli çerçeveler dışındaki çerçevelerde bu azalma 2'den küçüktür (Şek. 6.17-19).

60 cm bağ kirişli çerçevelerde varyasyon katsayısının en büyük değeri 0.43 iken, diğer tüm çerçeveler için 8 m açıklıklılarda $0.2 < COV_R < 0.3$; 9 m açıklıklılarda $0.2 < COV_R < 0.35$; 10 m

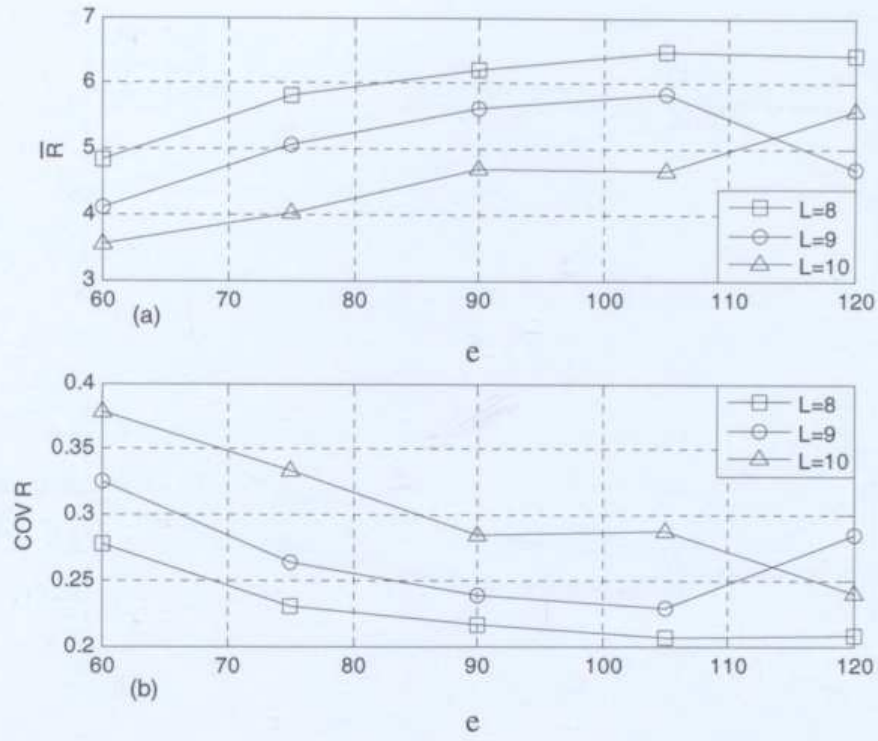
açıklıklılarda ise $0.2 < COV_R < 0.4$ dır. Genellikle bağ kirişi uzunluğunun, $\bar{R}$ katsayısı ve varyasyon katsayısı üzerindeki etkisi, açıklığın etkisinden daha fazladır. $\bar{R}$ katsayılarının artışıyla varyasyon katsayılarının azalma eğiliminde olduğu da söylenebilir.



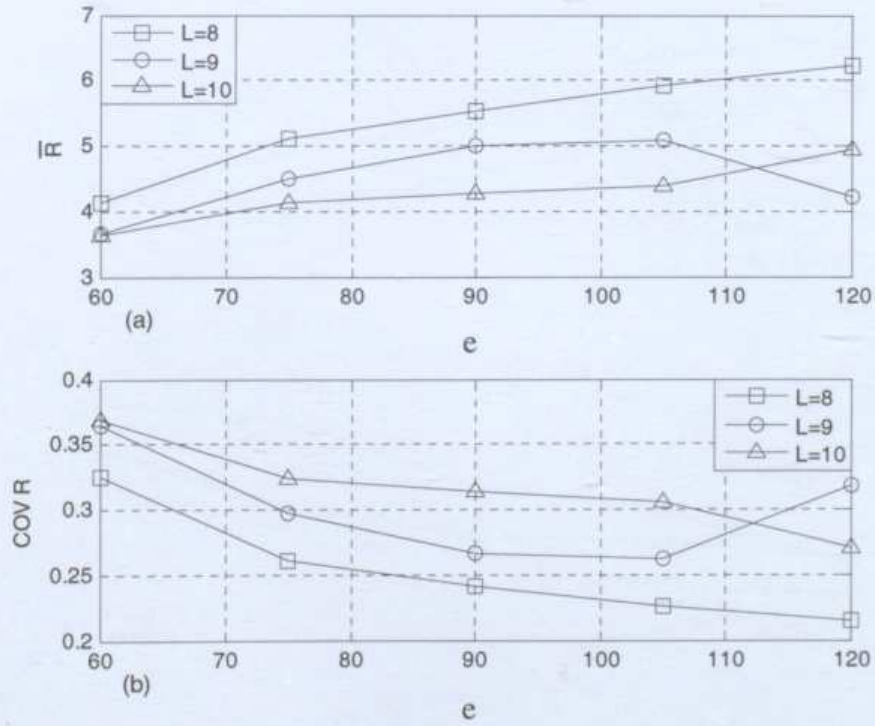
Şekil 6.10 Kesmede plastikleşen bağ kirişli 3 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



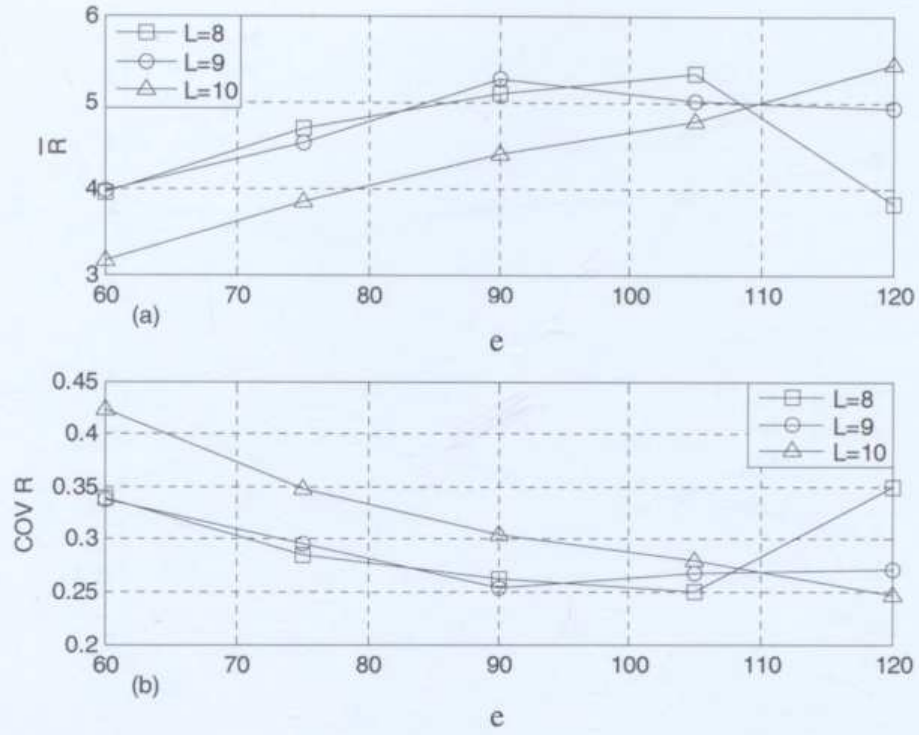
Şekil 6.11 Kesmede plastikleşen bağ kirişli 4 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



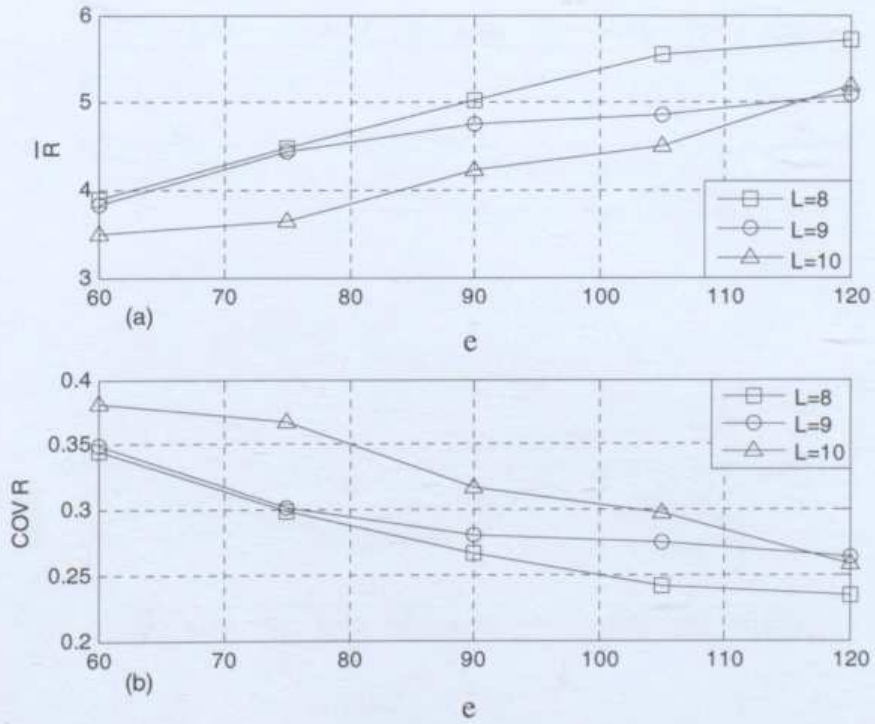
Şekil 6.12 Kesmede plastikleşen bağ kirişli 5 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



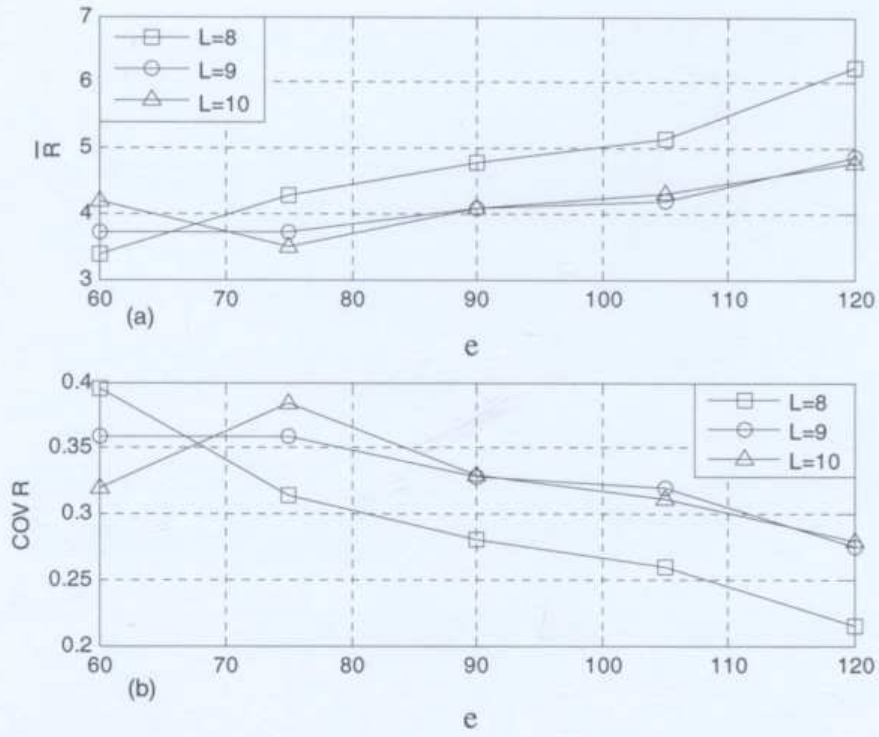
Şekil 6.13 Kesmede plastikleşen bağ kirişli 6 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



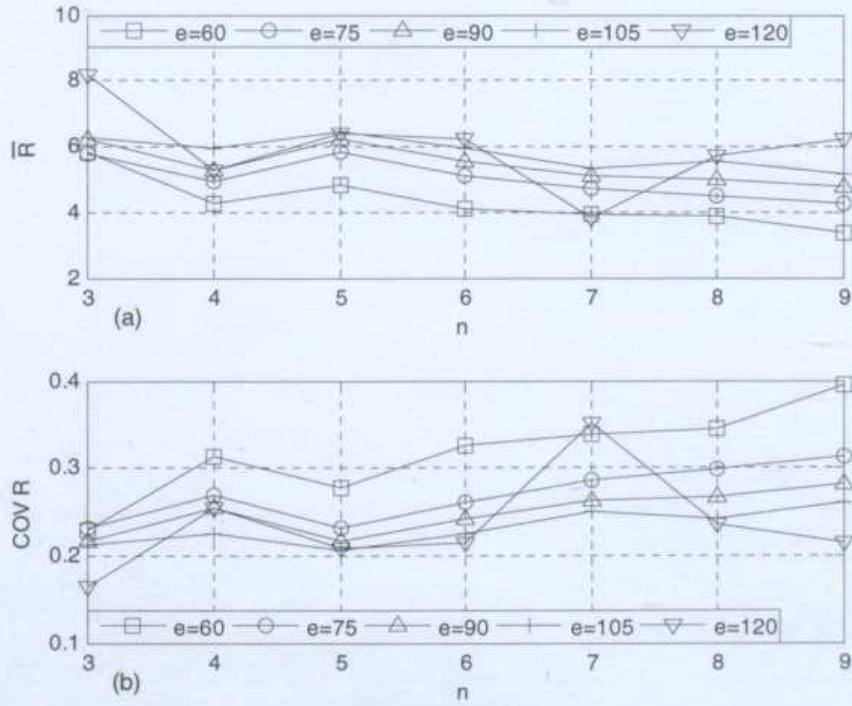
Şekil 6.14 Kesmede plastikleşen bağ kirişli 7 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



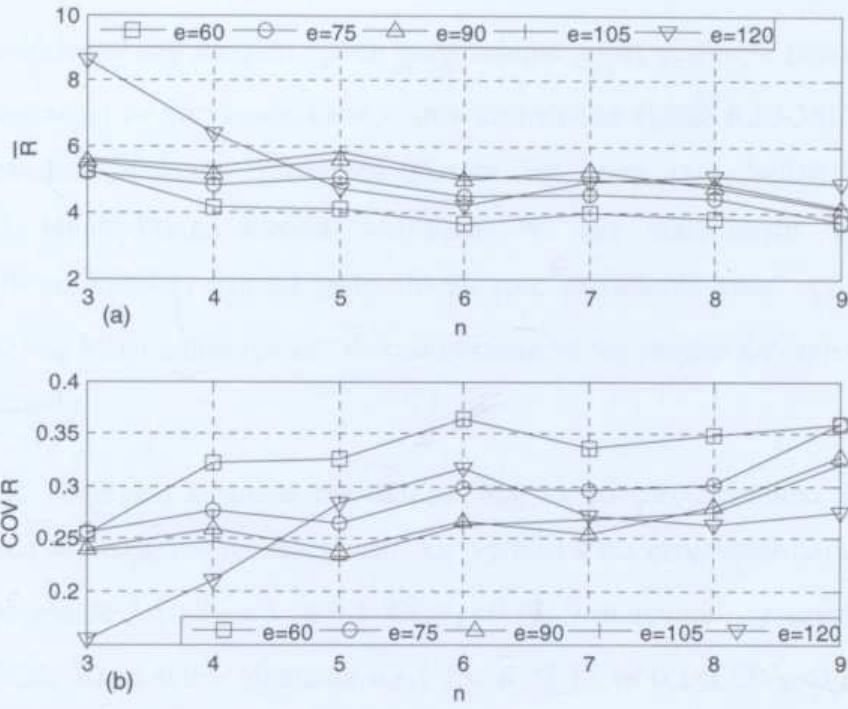
Şekil 6.15 Kesmede plastikleşen bağ kirişli 8 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



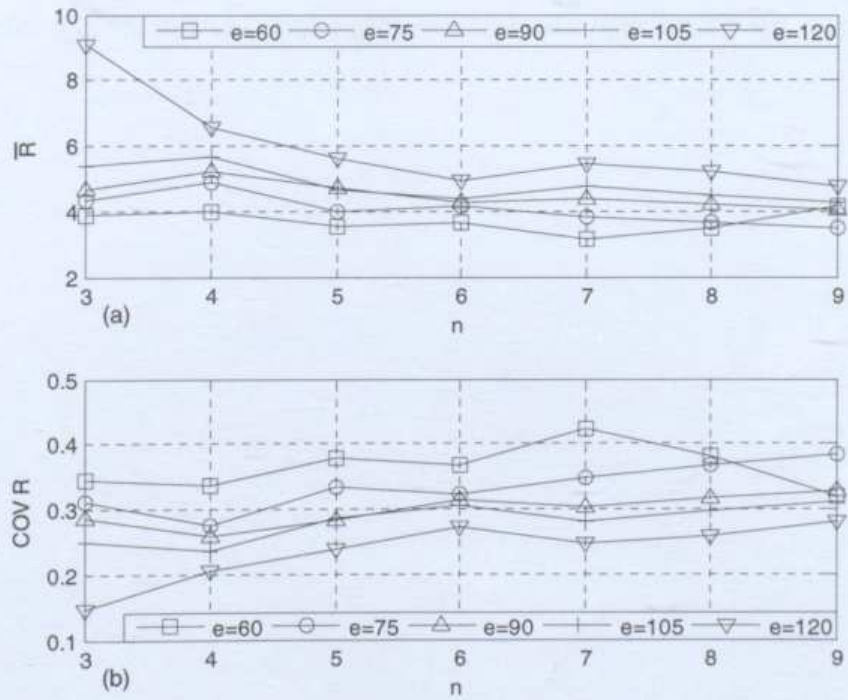
Şekil 6.16 Kesmede plastikleşen bağ kirişli 9 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



Şekil 6.17 Kesmede plastikleşen bağ kirişli ve 8 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



Şekil 6.18 Kesmede plastikleşen bağ kirişli ve 9 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



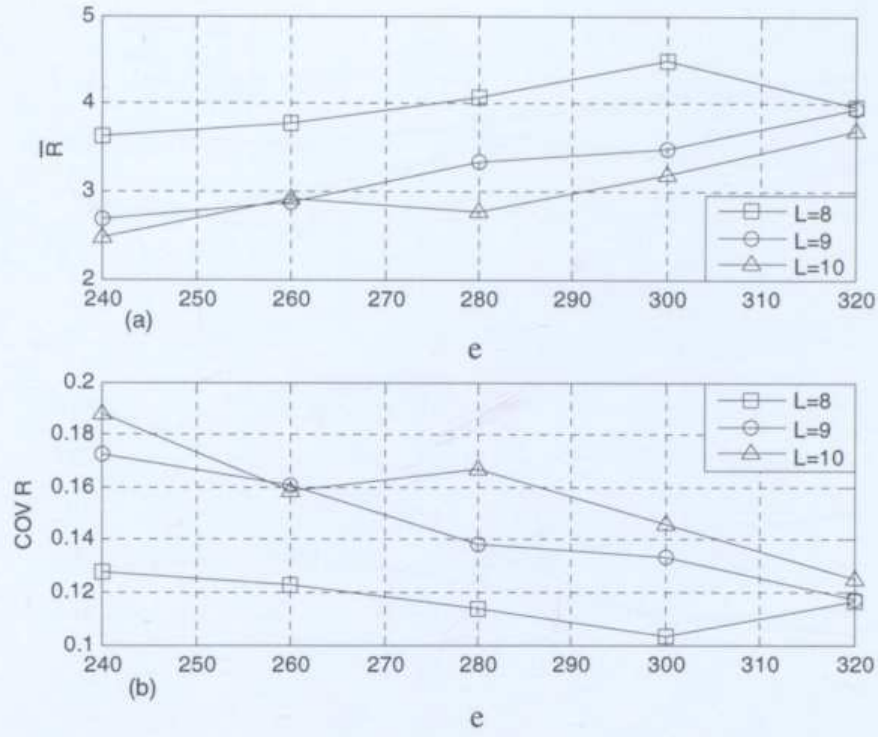
Şekil 6.19 Kesmede plastikleşen bağ kirişli ve 10 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları

6.4 Eğilmede Plastikleşen Bağ Kirişleri İçeren Çerçevelerde $\bar{R}$ Katsayıları

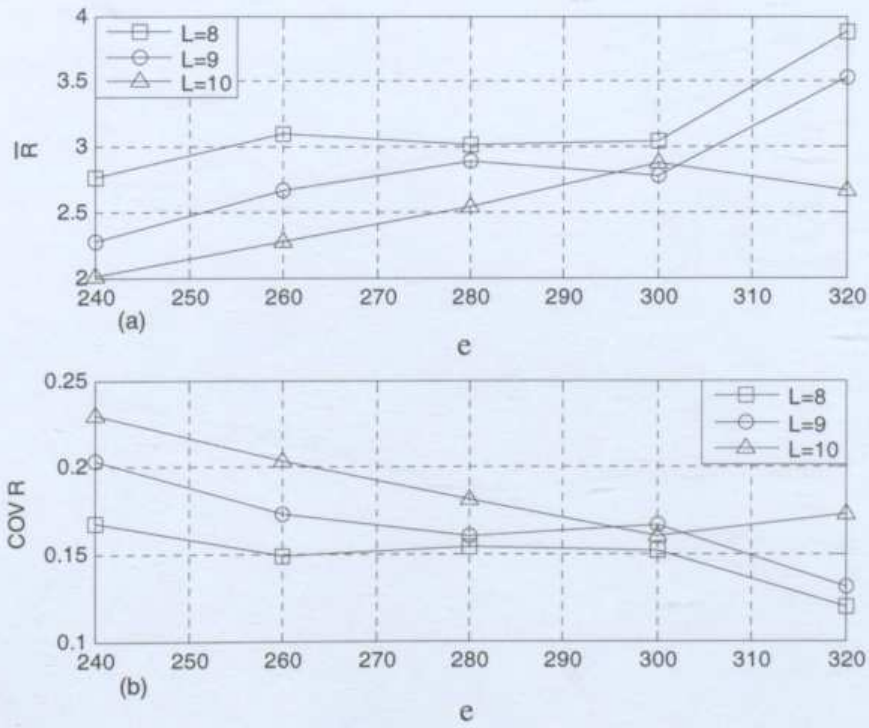
Eğilmede plastikleşen bağ kirişleri içeren çerçevelerde genel eğilim; e mesafesinin artışıyla, $\bar{R}$ katsayısının artışı ve varyasyon katsayısının azalmasıdır (Şekil 6.20-26). Öte yandan çok sayıda çerçevede, tasarımlar esnasında periyot üst sınır şartı belirleyici olduğu için (Denk.(1.13)), taban kesme kuvveti arttırılarak bu şart sağlanmıştır. Bu artışlar kimi çerçeveler için az, kimileri için ise fazla olduğu için, grafiklerde genel eğilim artış olmakla birlikte, artan bağ kirişi uzunluğu ile $\bar{R}$ katsayısında ve varyasyon katsayısında iniş çıkışlar gözlenebilmektedir.

Elde edilen $\bar{R}$ değerleri, kesmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerdeki $\bar{R}$ katsayıları ile kıyaslandığında oldukça küçük değerlerdir. Üç ve dört katlı çerçeveler hariç diğer tüm 8 m açıklıklı çerçevelerde $2.5 < \bar{R} < 3.5$ ve $0.1 < COV_R < 0.18$; 9 m açıklıklı çerçevelerde $2 < \bar{R} < 3$ ve $0.1 < COV_R < 0.24$; 10 m açıklıklı olanlarda ise $1.75 < \bar{R} < 2.75$ ve $0.1 < COV_R < 0.25$ aralıkları elde edilmiştir (Şekil 6.27-30). Eğilmede plastikleşen kirişlerde bağ kirişinin dönme kapasitesi 0.02 radyan ile sınırlı olduğundan; $\bar{R}$ katsayılarının küçük çıkması beklenen bir durum olmakla birlikte, elde edilen sonuçların oldukça düşük oluşu dikkat çekicidir.

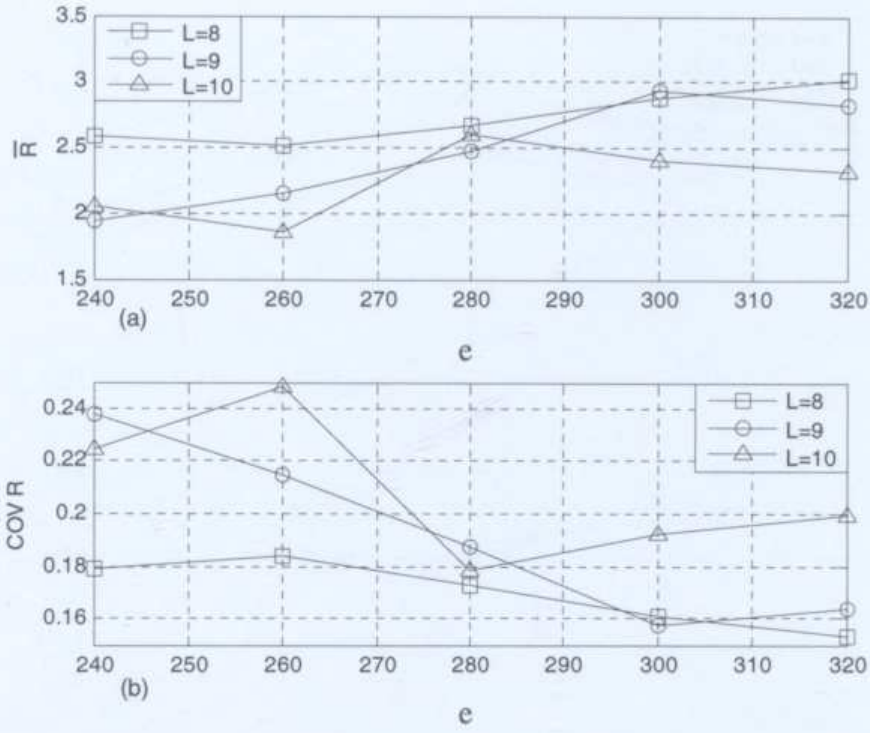
Beş ve üstü kat adetleri için $\bar{R}$ katsayılarında belirgin bir azalış olmamakta; 8 m açıklığa sahip çerçeveler için ise iniş ve çıkışlar görülebilmektedir (Şekil 6.27-30).



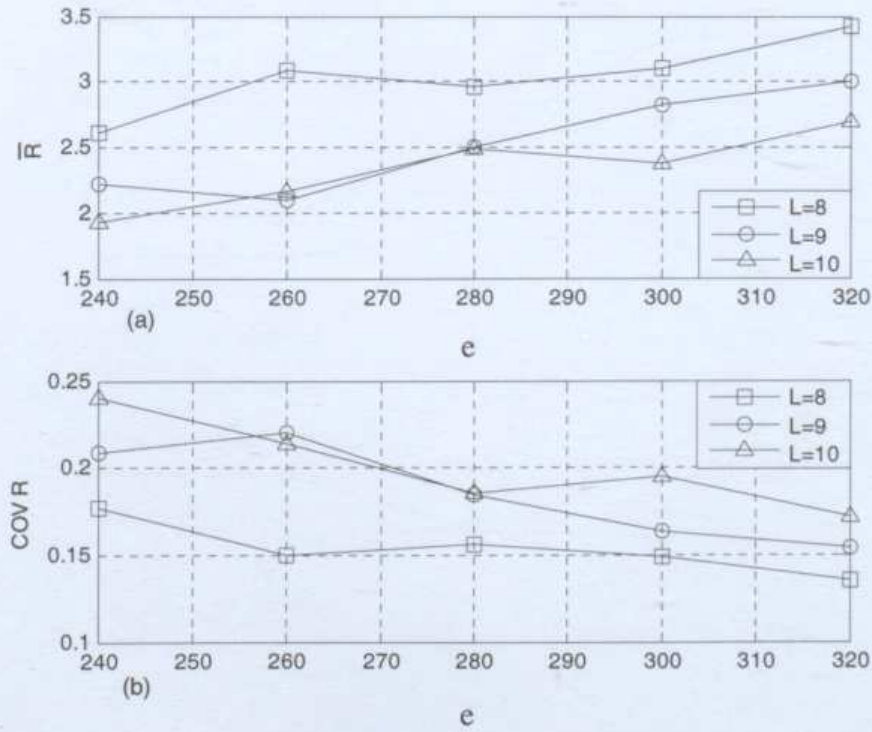
Şekil 6.20 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli 3 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



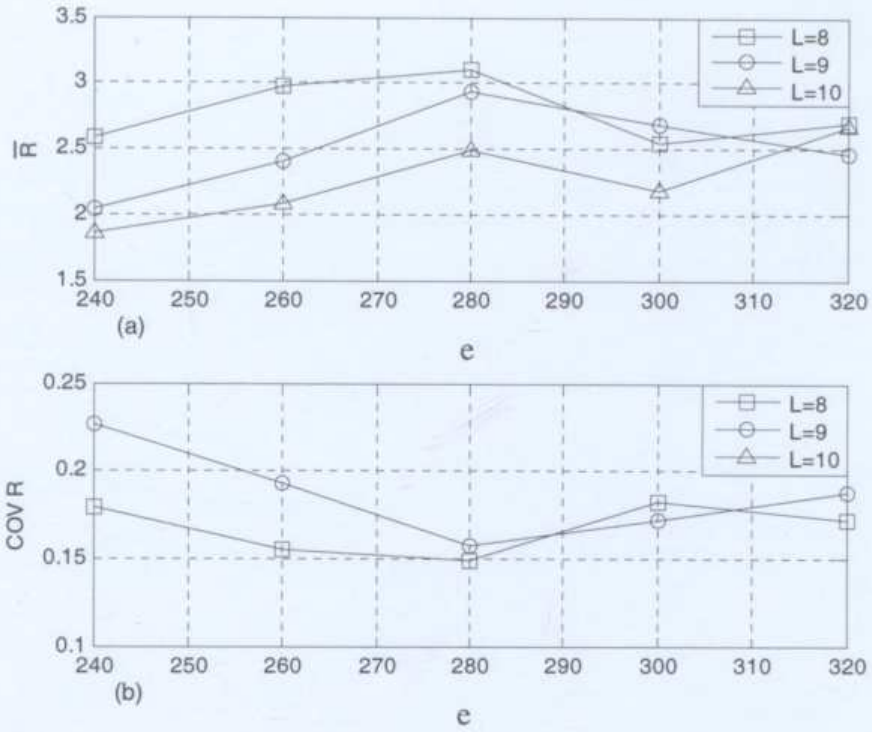
Şekil 6.21 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli 4 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



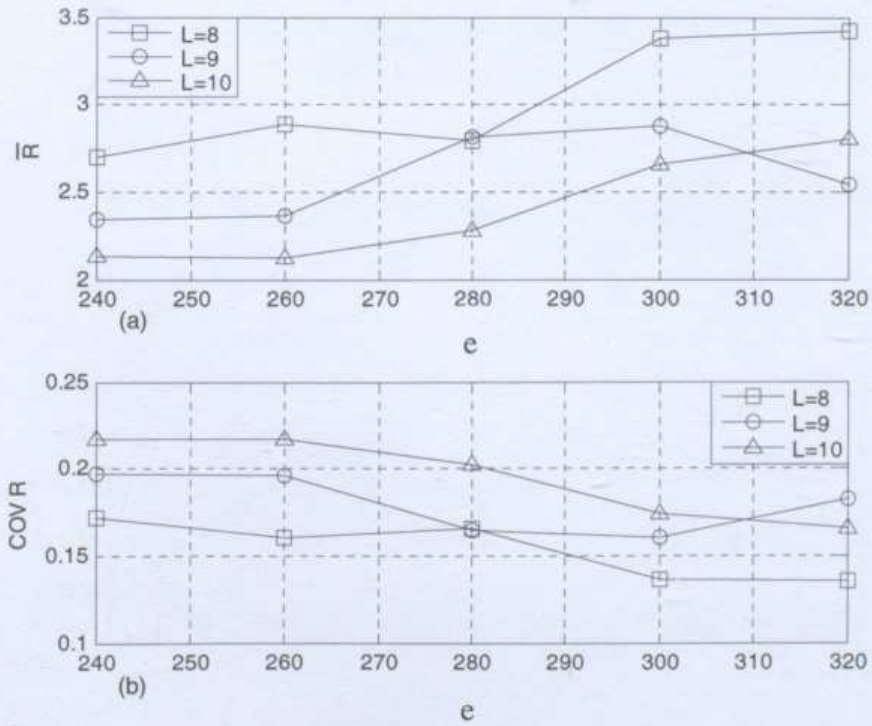
Şekil 6.22 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli 5 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



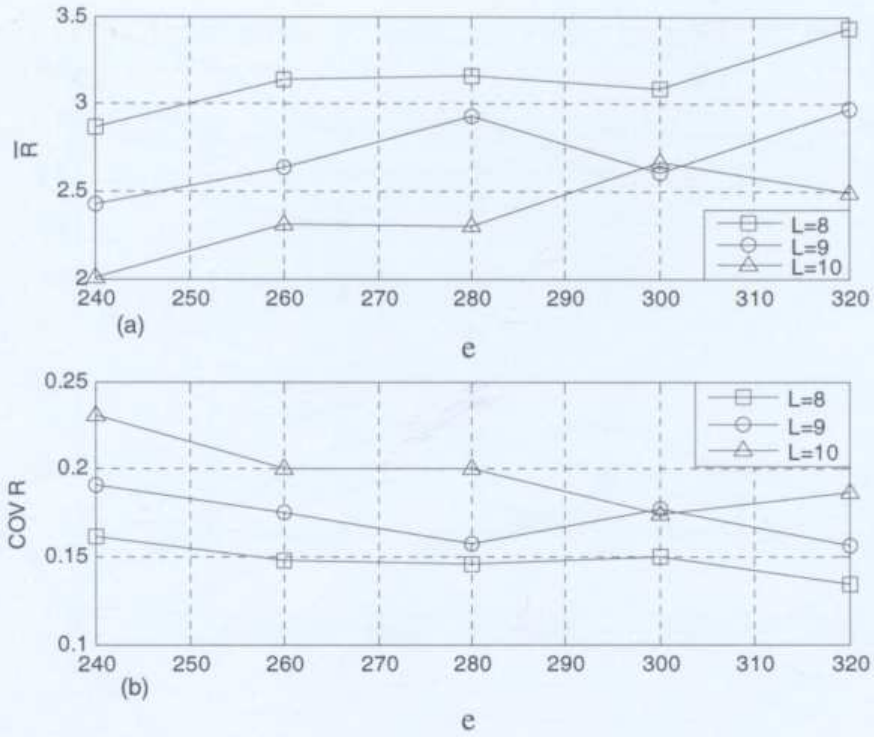
Şekil 6.23 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli 6 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



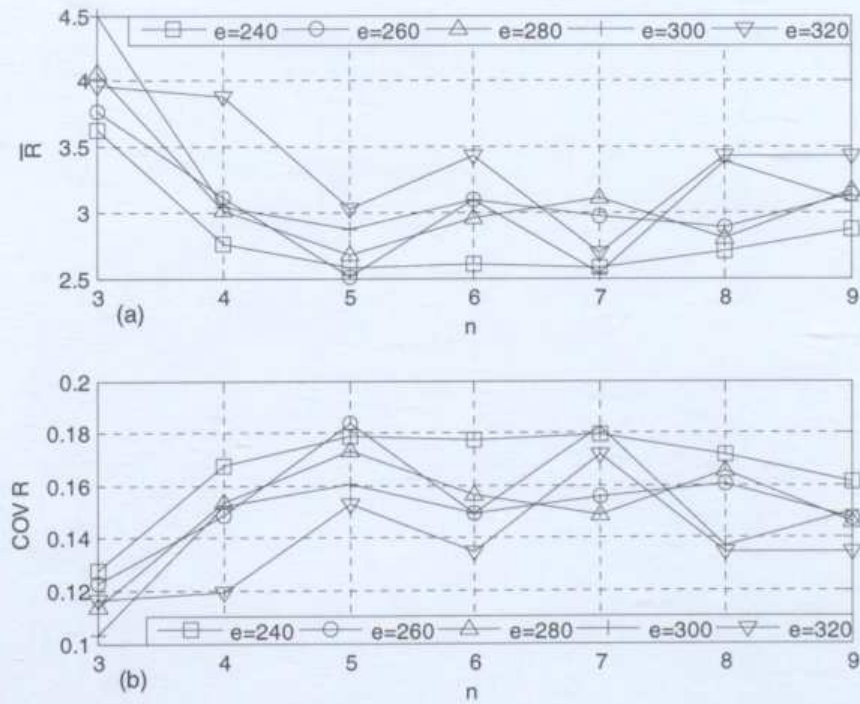
Şekil 6.24 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli 7 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



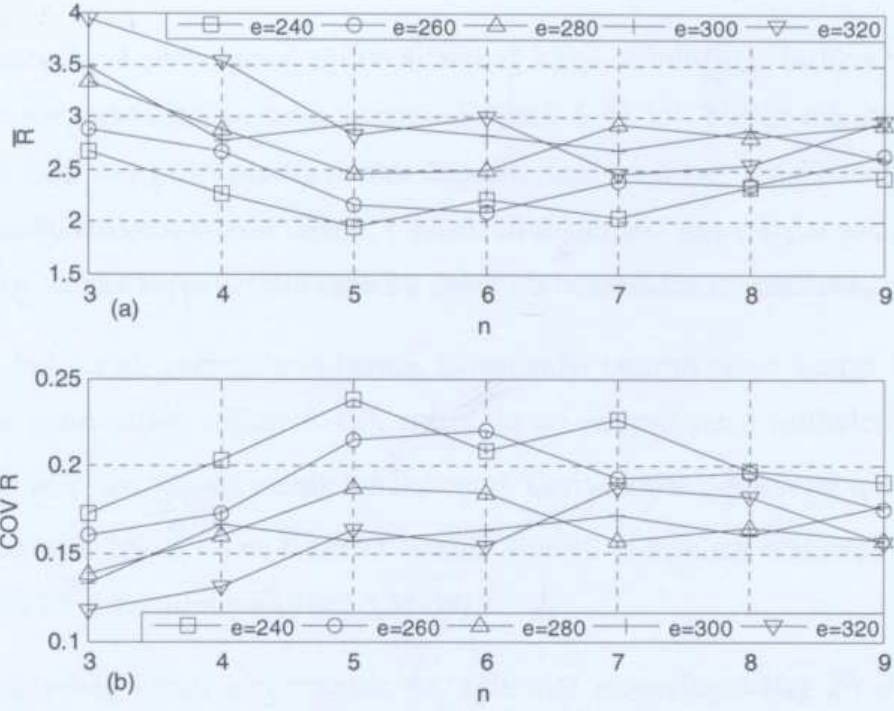
Şekil 6.25 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli 8 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



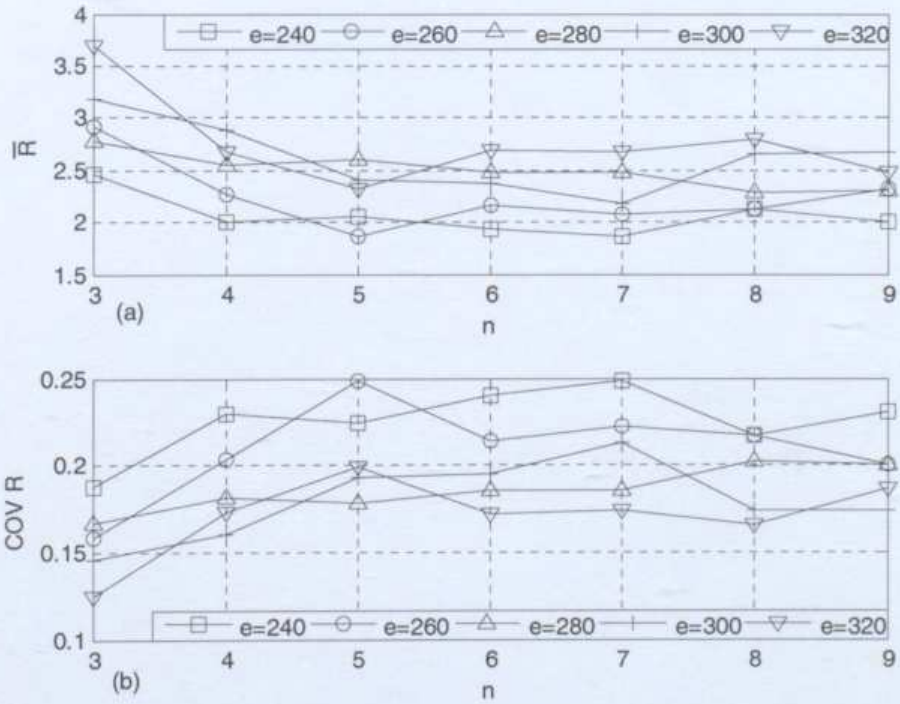
Şekil 6.26 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli 9 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



Şekil 6.27 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli ve 8 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



Şekil 6.28 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli ve 9 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



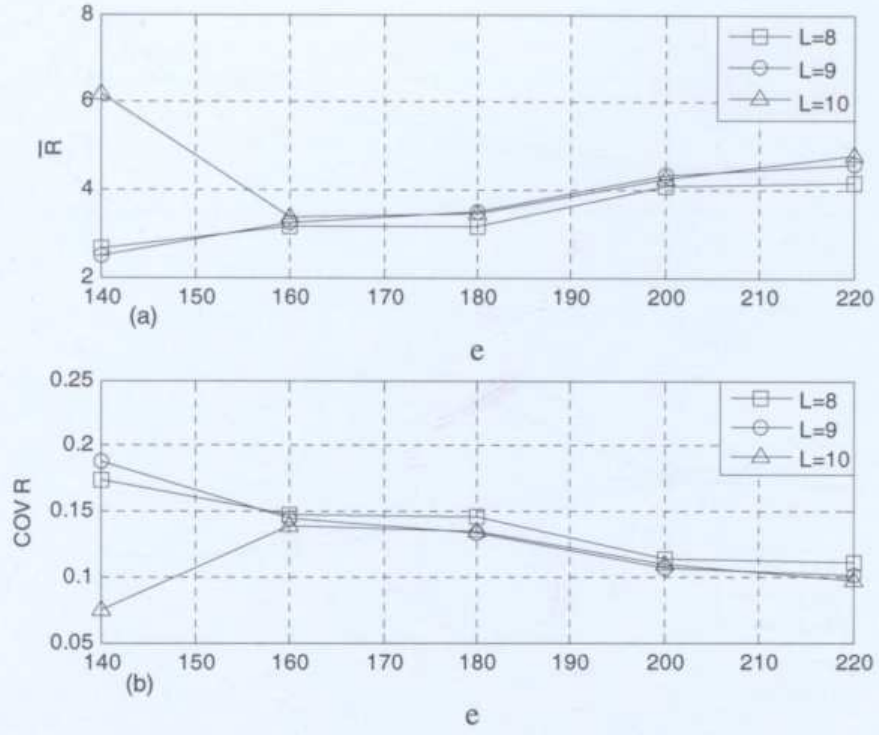
Şekil 6.29 Eğilmede plastikleşen bağ kirişli ve 10 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları

6.5 Orta Uzunlukta Bağ Kirişleri İçeren erevelerde R Katsayıları

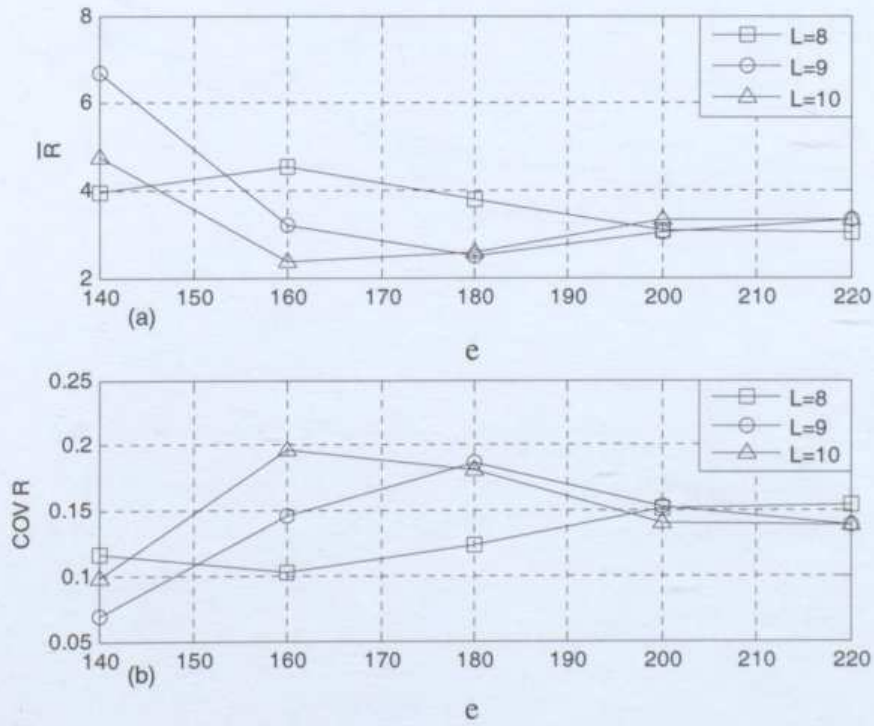
Üç katlı çerçeveler dışında, genel eğilim artan bağ kirişi uzunluğuyla birlikte $\bar{R}$ katsayısının azalması ve varyasyon katsayısının artmasıdır (şekil 6.30-36). Neden olarak; daha önce de bahsedildiği gibi, bağ kirişi plastik dönme kapasitesinin artan bağ kirişi uzunluğuyla birlikte azalması olduğu anlaşılmaktadır (Denk. 1.12-c). Grafiklerdeki iniş ıkışlar ise, tüm çerçeveler için bağ kirişi dönme kapasitesinin sabit bir değer olmamasından kaynaklanmaktadır.

140 cm'lik bağ kirişli çerçevelerin hemen tamamında, tasarım taban kesme kuvvetleri bağ kirişi dönme sınırı şartını sağlamak için arttırılmış ve ereve yanal rijitlikleri arttığı için de $\bar{R}$ katsayıları nispeten yüksek olarak bulunmuştur. Geriye kalan çerçeveler için; 8 m açıklıklı olanlarda yaklaşık $2.5 < \bar{R} < 4$ ve $0.1 < COV_R < 0.2$; 9 ve 10 m açıklıklı olanlarda ise $2 < \bar{R} < 4$ ve $0.1 < COV_R < 0.25$ elde edilmiştir (şekil 6.37-39).

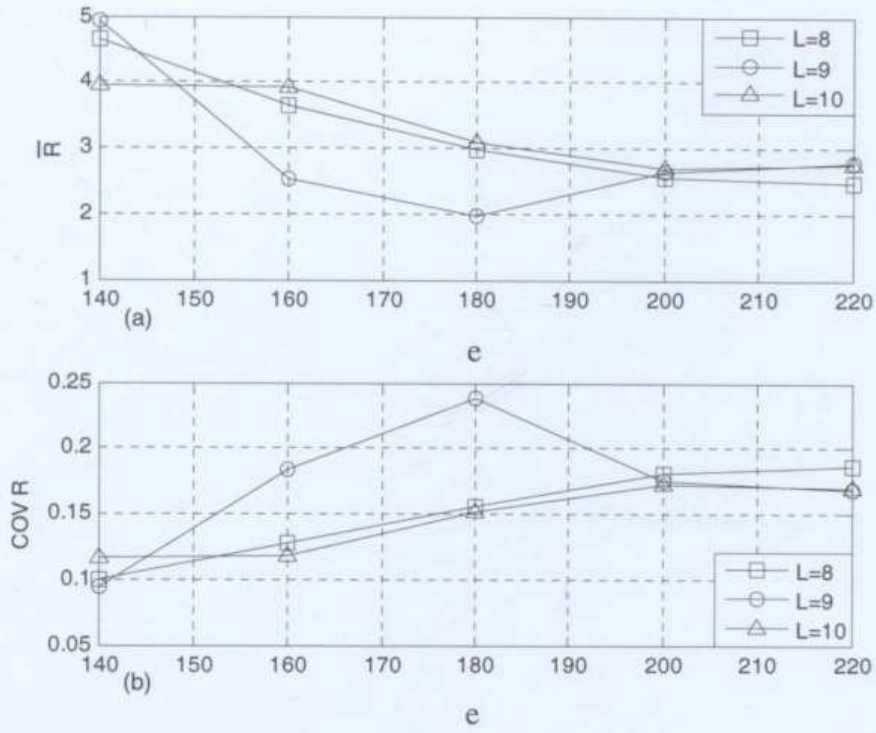
Orta uzunlukta bağ kirişli çerçevelerde de, eğilmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerde olduğu gibi, kat adedinin beş ve üstü olduğu durumlarda $\bar{R}$ katsayılarında belirgin bir azalışa rastlanmamıştır (şekil 6.37-39).



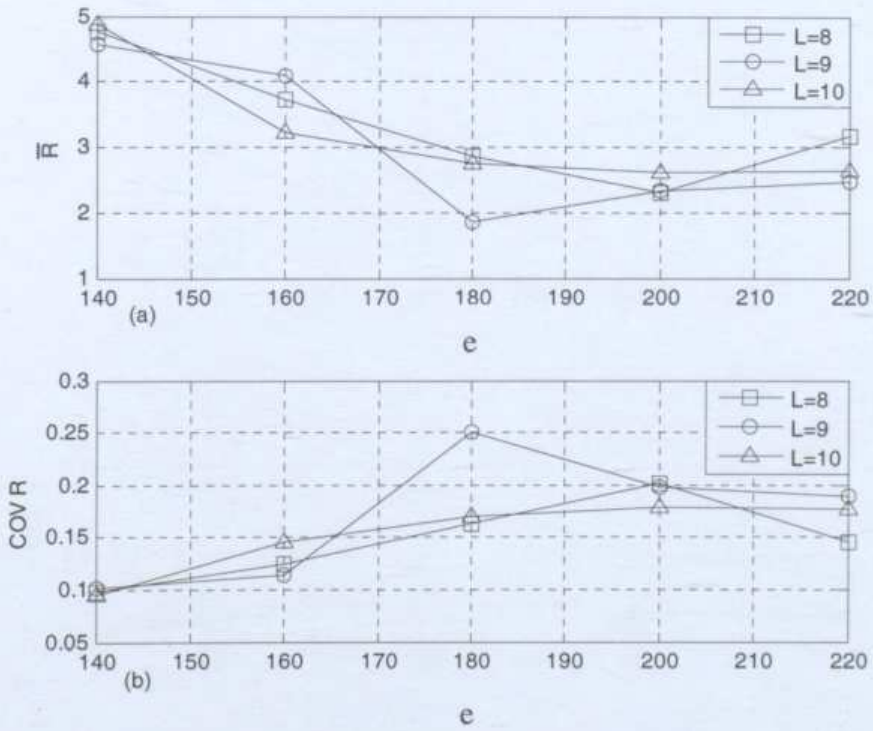
Şekil 6.30 Orta uzunlukta bağ kirişli 3 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



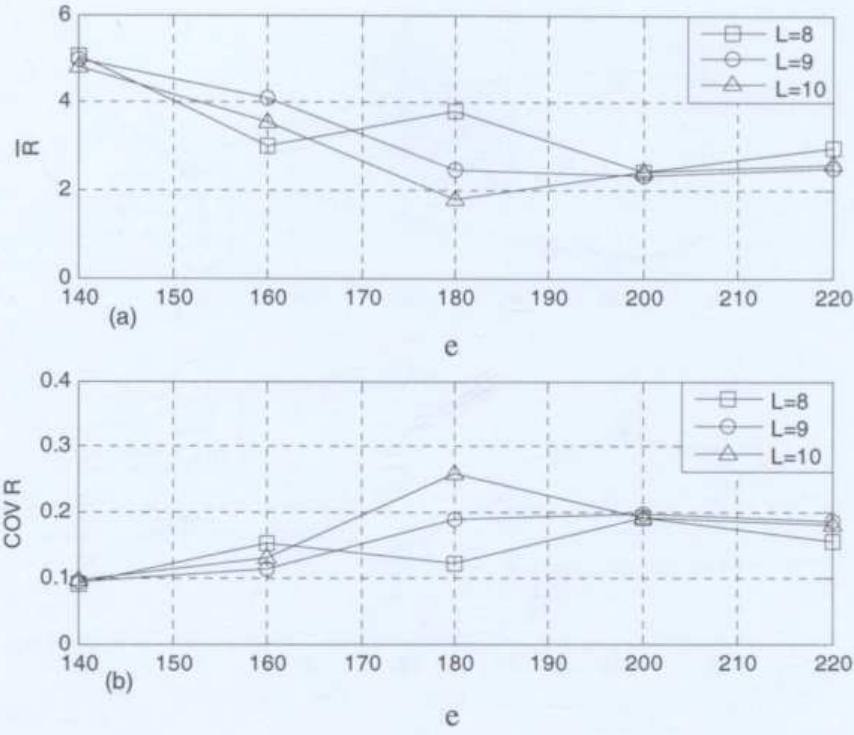
Şekil 6.31 Orta uzunlukta bağ kirişli 4 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



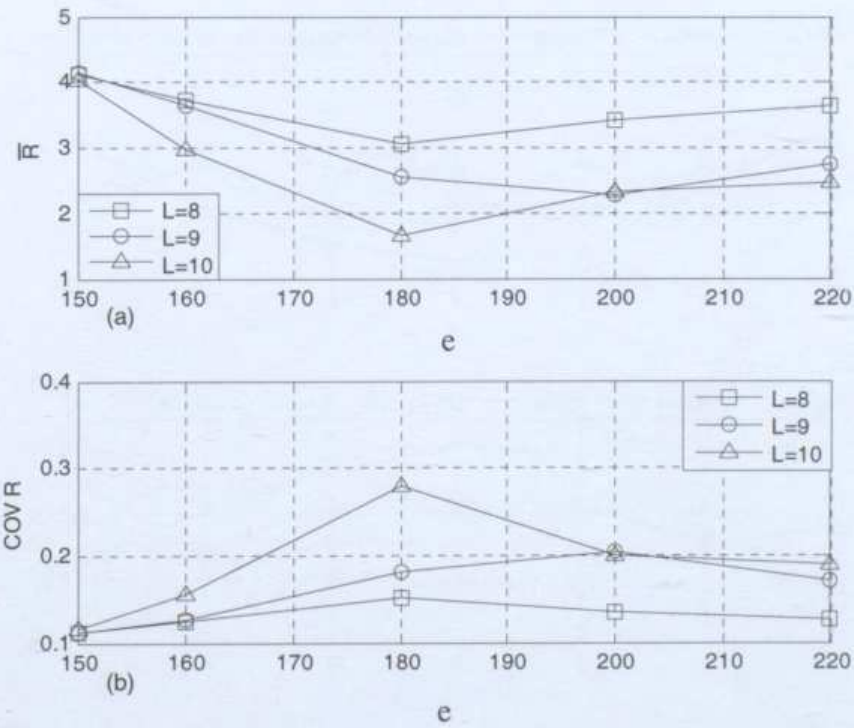
Şekil 6.32 Orta uzunlukta bağ kirişli 5 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



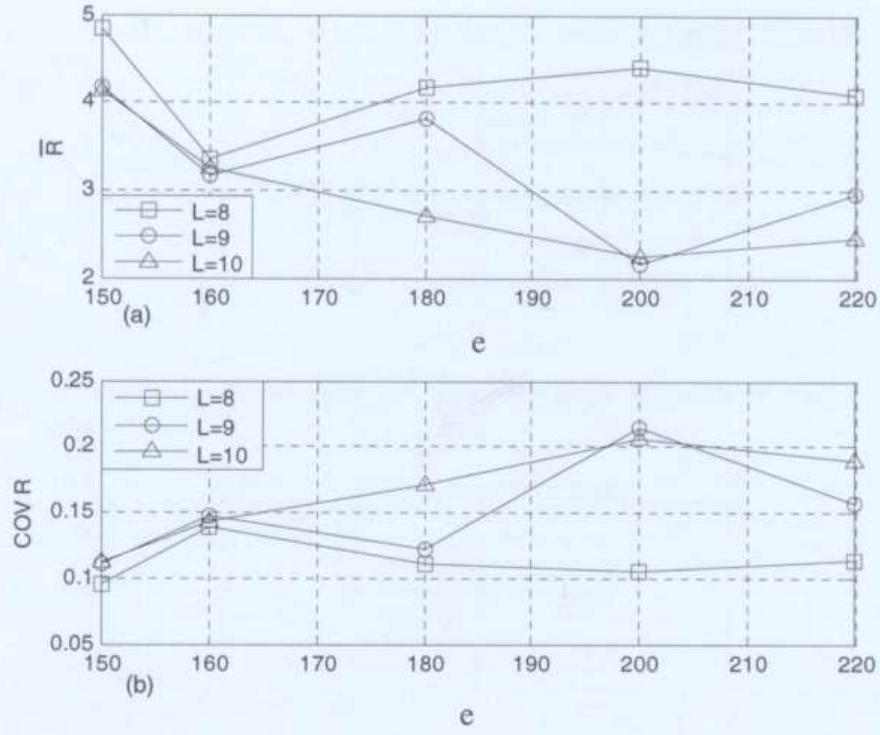
Şekil 6.33 Orta uzunlukta bağ kirişli 6 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



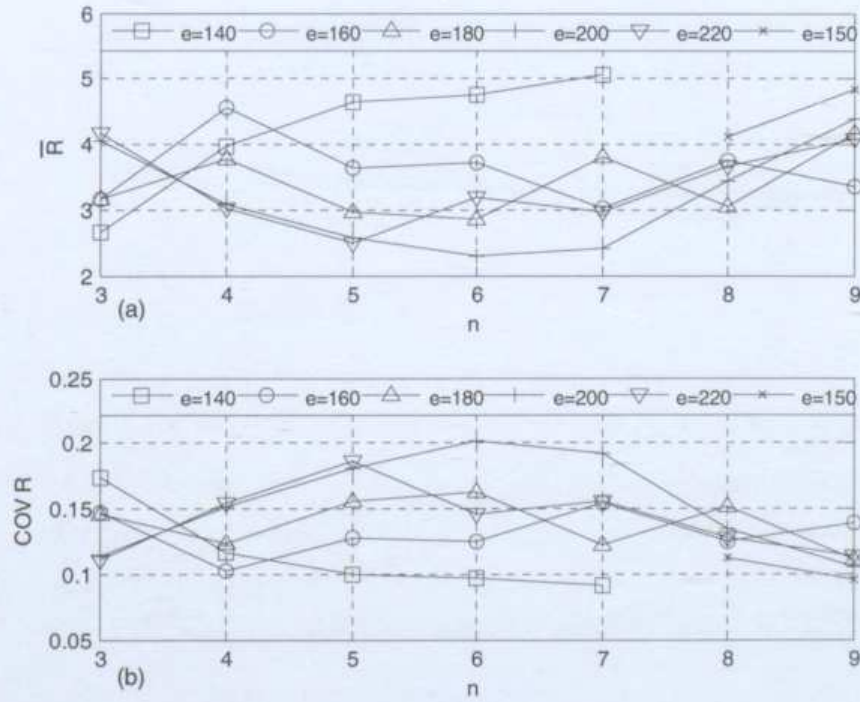
Şekil 6.34 Orta uzunlukta bağ kirişli 7 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



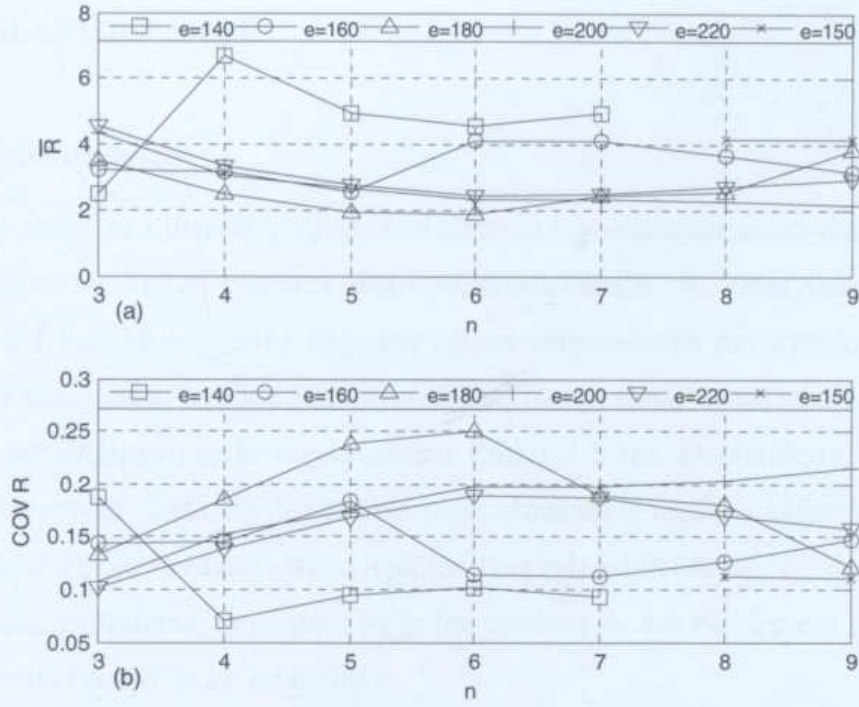
Şekil 6.35 Orta uzunlukta bağ kirişli 8 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



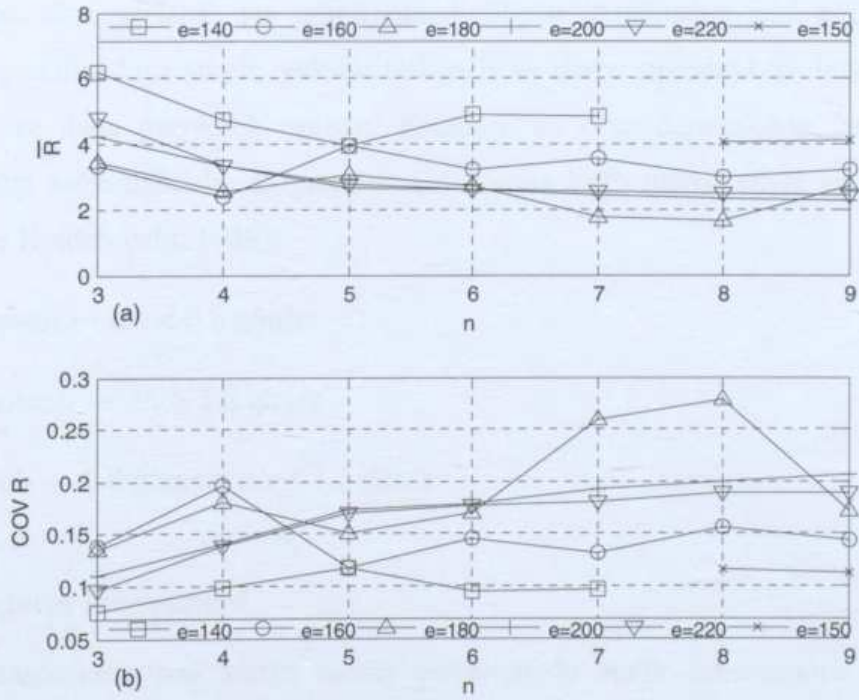
Şekil 6.36 Orta uzunlukta bağ kirişli 9 katlı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



Şekil 6.37 Orta uzunlukta bağ kirişli ve 8 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



Şekil 6.38 Orta uzunlukta bağ kirişli ve 9 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları



Şekil 6.39 Orta uzunlukta bağ kirişli ve 10 m açıklıklı DÇÇ'lerin (a) ortalama R katsayıları, (b) R katsayılarının varyasyon katsayıları

7. ELASTİK ÖTESİ STATİK VE DİNAMİK ANALİZLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

7.1 Kullanılan Yöntem

Elastik ötesi statik ve dinamik çerçeve analizlerinin kıyaslanması amacıyla, maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı araştırılmıştır. R katsayılarının incelenmesi sırasında hedef bağ kirişi dönme değerine ulaşan çerçevelerde, her kattaki maksimum yer değiştirmeler belirlenmiştir. Elde edilen yer değiştirmeler, elastik ötesi statik itme analizinden elde edilen yer değiştirmelerle kıyaslanmıştır (Şekil 7.1-18). Depremlerin “ivme/hız” (a/v) oranı ile R katsayıları arasında düzgün bir ilişki olmamakla birlikte, eğilimler tespit edildiği için (Bölüm 6.2.1), a/v oranının sistem tepkileri üzerinde etkili olabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle verilen grafiklerde, depremler üç gruba ayrılmış ve her bir deprem grubu için sistem çözümleri, statik çözüm ile kıyaslanmıştır.

7.2 Depremlerin a/v Oranına Göre Sınıflandırılması

Yapılan sismolojik çalışmalara göre deprem odağından uzaklaştıkça depremin hızı, ivmesine göre daha yavaş azalır. Bunun sonucu olarak, deprem odağına (faya) yakın yerlerde a/v oranı yüksek, uzak olan yerlerde ise görece olarak düşük olmaktadır. a/v ’nin yüksek olduğu durumda depremler kısa süreli, yüksek frekanslı ve darbe tipindeyken; tersi durumda daha uzun süreli ve daha periyodik tiptedir. Kısacası, bu oran depremlerin frekans özellikleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Depremler a/v oranına bağlı olarak şöyle sınıflandırılabilirler (Zhu, Tso ve Heidebrecht, 1989):

$$\text{Düşük } a/v \text{ oranlı} \rightarrow a/v < 0.8 \text{ g/m/s} \quad (7.1)$$

$$\text{Yüksek } a/v \text{ oranlı} \rightarrow a/v > 1.2 \text{ g/m/s} \quad (7.2)$$

$$\text{Orta } a/v \text{ oranlı} \rightarrow 0.8 \text{ g/m/s} \leq a/v \leq 1.2 \text{ g/m/s} \quad (7.3)$$

7.3 Sonuçların İrdelenmesi

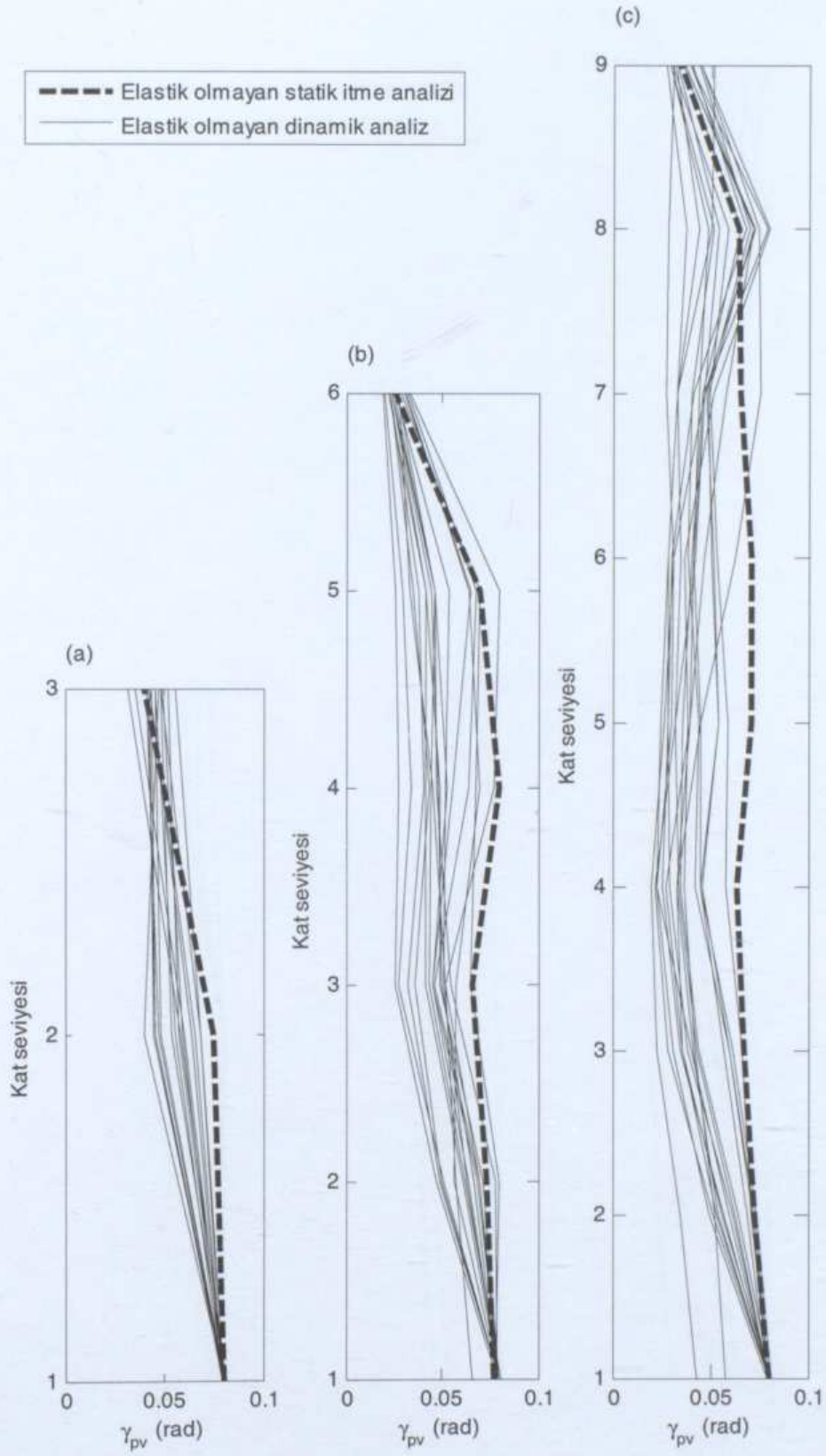
Kesmede plastikleşen bağ kirişli model çerçevelerde statik itme analizi ile elde edilen maksimum bağ kirişi dönmeleri, en üst katlardaki bağ kirişleri haricinde düşük a/v oranlı deprem çözümleri ile elde edilen maksimum bağ kirişi dönmeleri için bir üst sınır oluşturmaktadır (Şekil 7.1 ve 7.4). Elde edilen bu sonuç, yapıların elastik ötesi yer değiştirmelerinin üst sınırının öngörülmesi gerektiği durumlarda faydalı olabilir. Öte yandan

bu oranın artışıyla birlikte, pek çok deprem kaydı için bağ kirişi dönmeleri, itme analizinin sağladığı değerlerden daha büyük olmuştur (Şekil 7.2, 7.3, 7.5, 7.6). Darbe (*impact*) tipi yüklemelerde, kesmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerin üst katlarındaki yer değiştirmelerin daha az olduğu ve artan a/v oranıyla birlikte üst katlarda yer değiştirmelerin de arttığı sonucuna varılabilir.

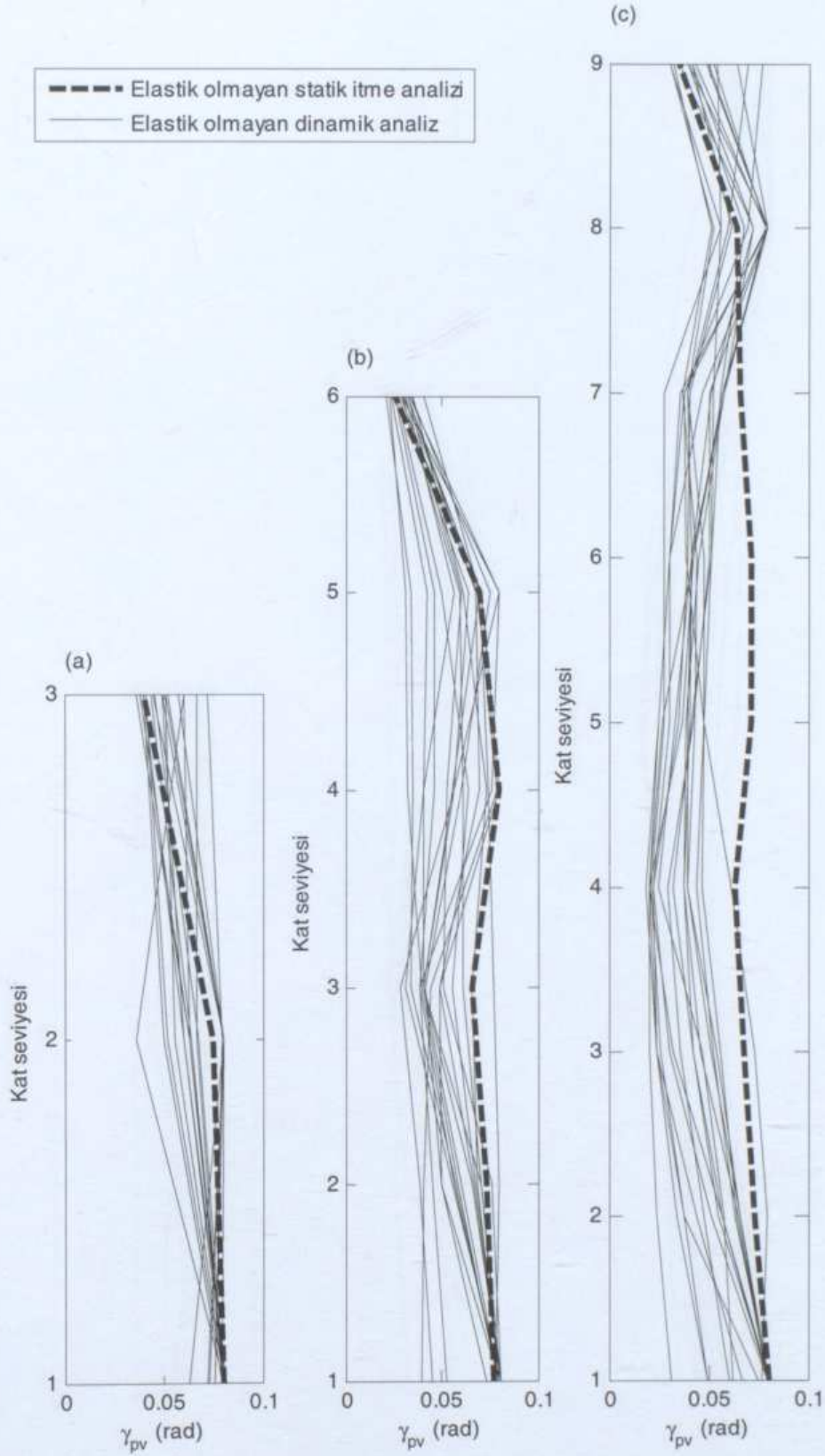
Eğilmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerde, a/v oranı ile çerçeve yer değiştirmeleri arasında dikkate değer bir ilişki bulunmamaktadır. Bu gruptaki üç katlı çerçevelerin tamamında, diğer çerçevelerin ise birinci katlarında ve yüksekliklerinin üstten yaklaşık 1/3'üne kadarlık kısımlarında, statik itme analizi ile elde edilen dönmeler bir üst sınır oluşturmamakla birlikte; çerçevelerin geriye kalan kısımlarında dinamik yüklemelerde oluşacak maksimum dönmeler için emniyetli tahminler üretmektedir (Şekil 7.7-12).

Orta uzunlukta bağ kirişi içeren çerçevelerde de yine a/v oranı ile çerçeve yer değiştirmeleri arasında dikkate değer bir ilişki bulunmamaktadır. Bu gruptaki çerçevelerde bağ kirişlerinin dönme kapasiteleri değişken olduğundan sonuçlar da çok düzenli olmamıştır. Bu gruptaki üç katlı çerçevelerde, dinamik çözümlerle elde edilen maksimum dönmeler daha büyük olmuştur (Şekil 7.13(a)-18(a)). Dönme kapasitesi nispeten büyük olan çerçevelerin, yüksekliklerinin aşağıdan itibaren yaklaşık 2/3'üne kadarlık kısımlarında, statik çözümlerle elde edilen dönmeler güvenli bir üst sınır oluşturmaktadır (Şekil 7.13.(b),(c)-7.15.(b),(c)). Dönme kapasitesi küçük olan çerçevelerde statik çözümler çoğunlukla güvensiz bölgede kalmaktadır (Şekil 7.16.(b),(c)-7.18.(b),(c)).

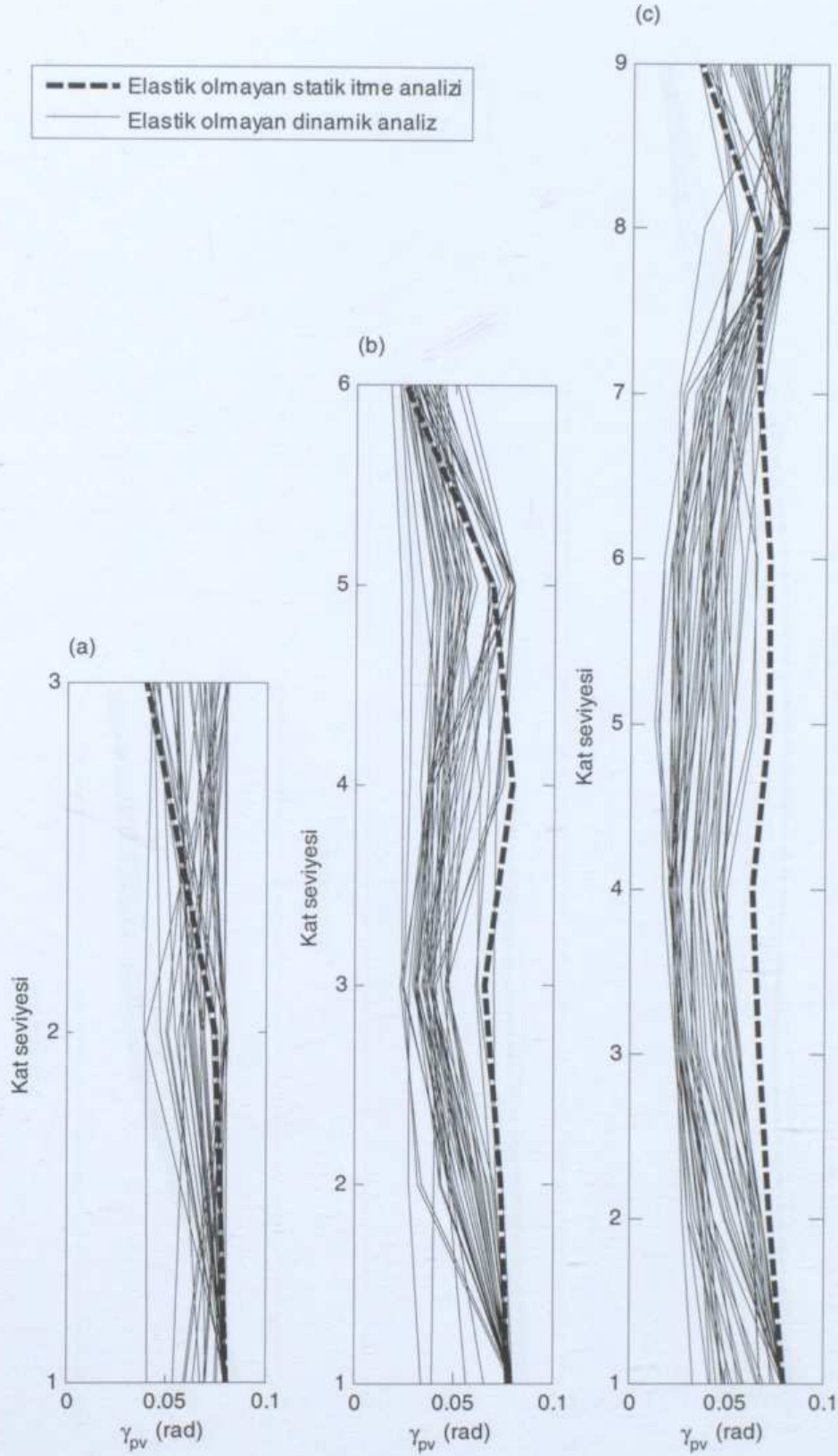
Genel olarak; çerçeveler statik itme analizleriyle limit durumlarına götürüldüklerinde elde edilen bağ kirişi dönmelerinin yükseklik boyunca dağılımı, depremlerle limit durumlarına götürüldüklerinde elde edilen maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlara dağılımı ile benzer çıkmıştır. Bununla birlikte, üst katlardaki farklılıklar fazla olmuştur.



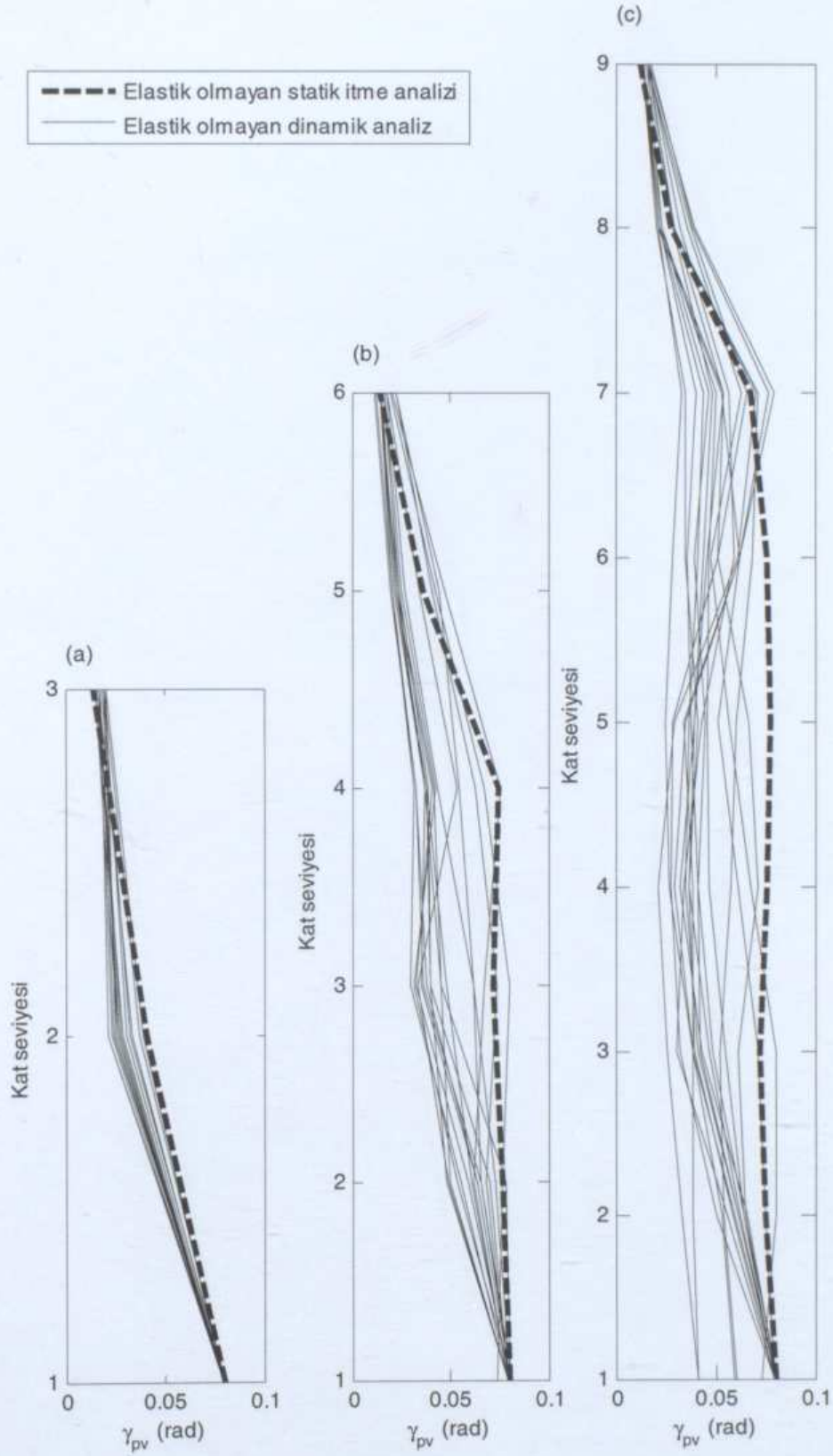
Şekil 7.1 a/v oranı 0.8'den küçük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı kesmede plastikleşen 60 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı



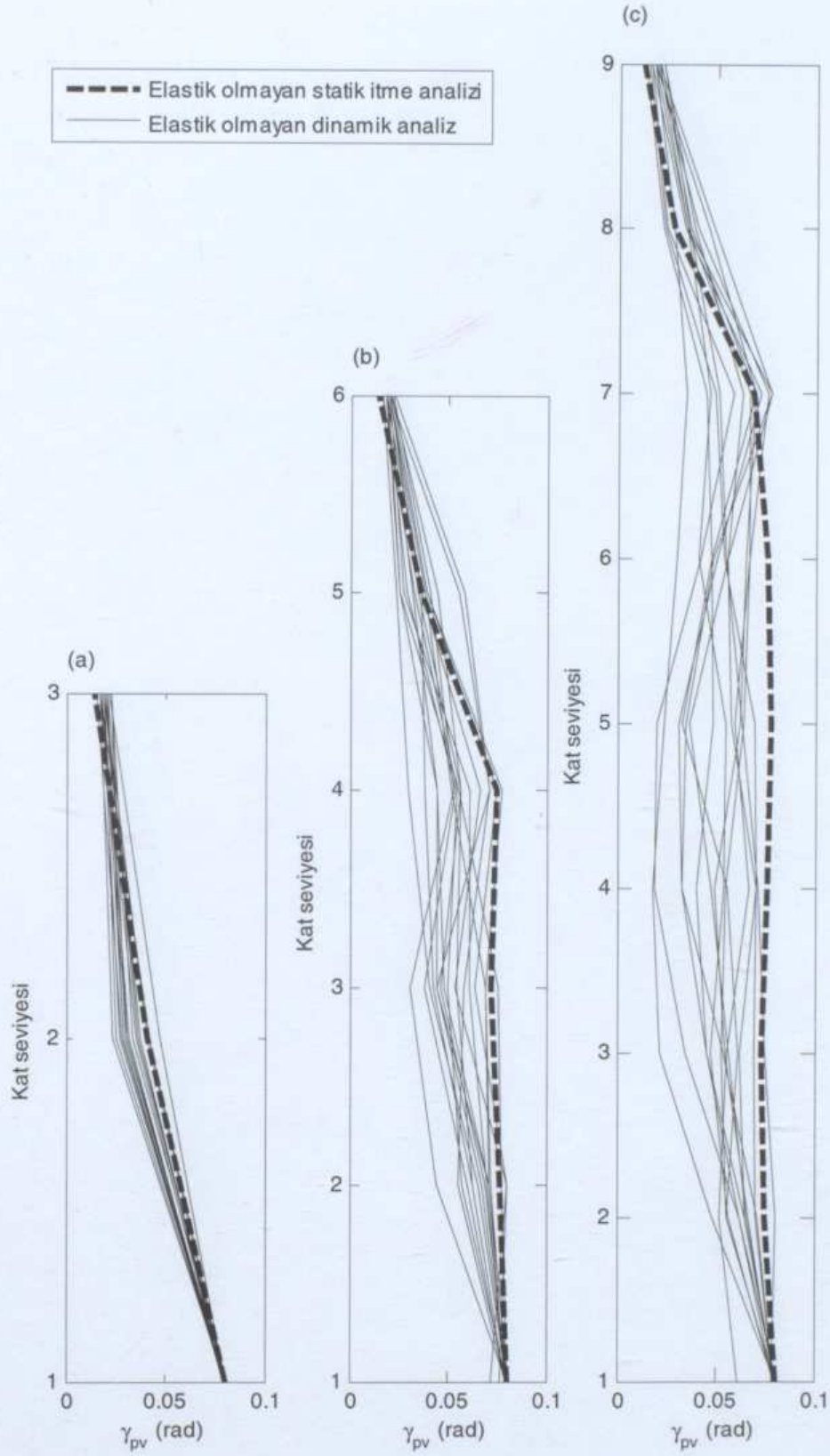
Şekil 7.2 a/v oranı 0.8 ile 1.2 arasında olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı kesmede plastikleşen 60 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı



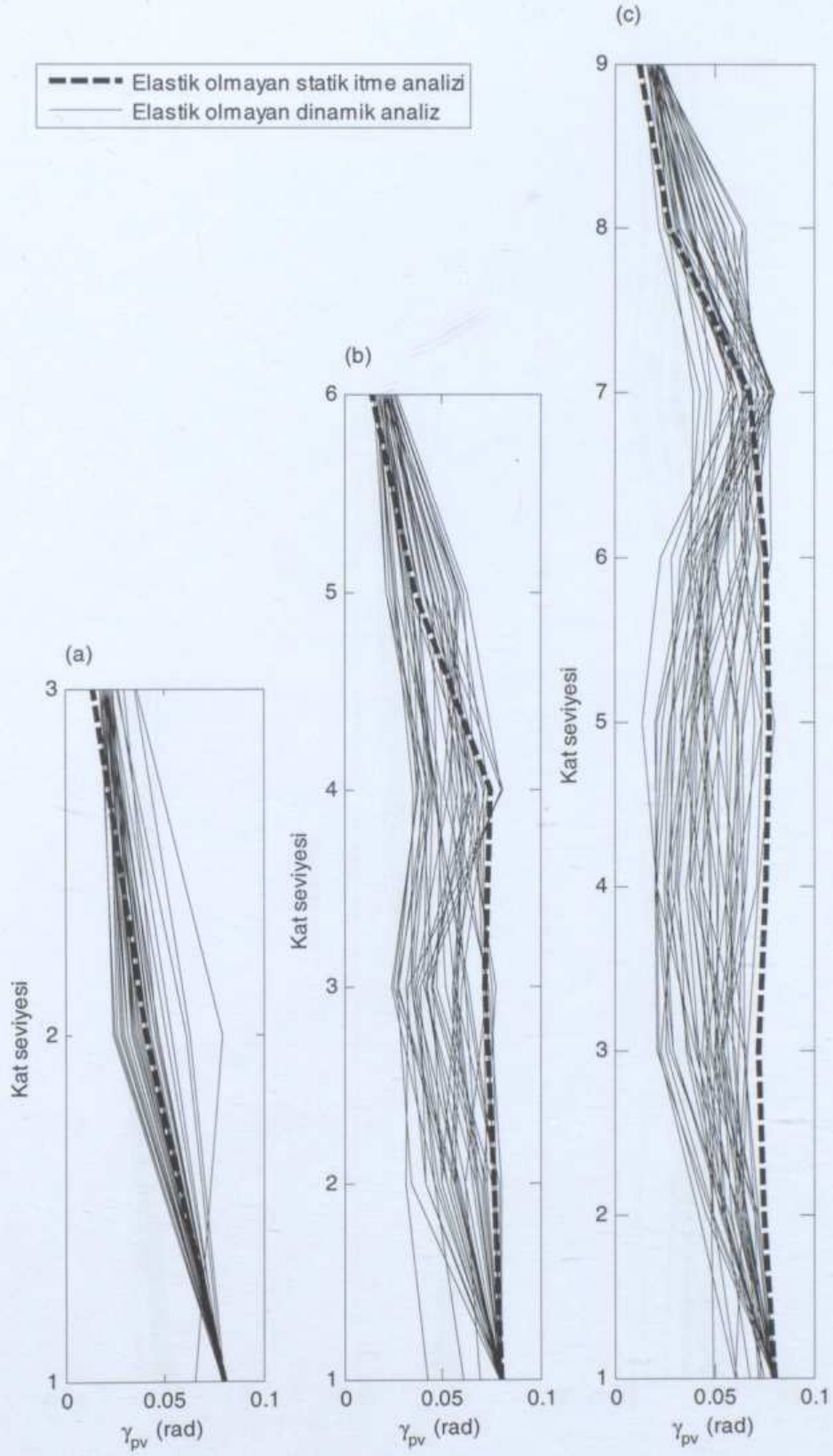
Şekil 7.3 a/v oranı 1.2'den büyük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı kesmede plastikleşen 60 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı



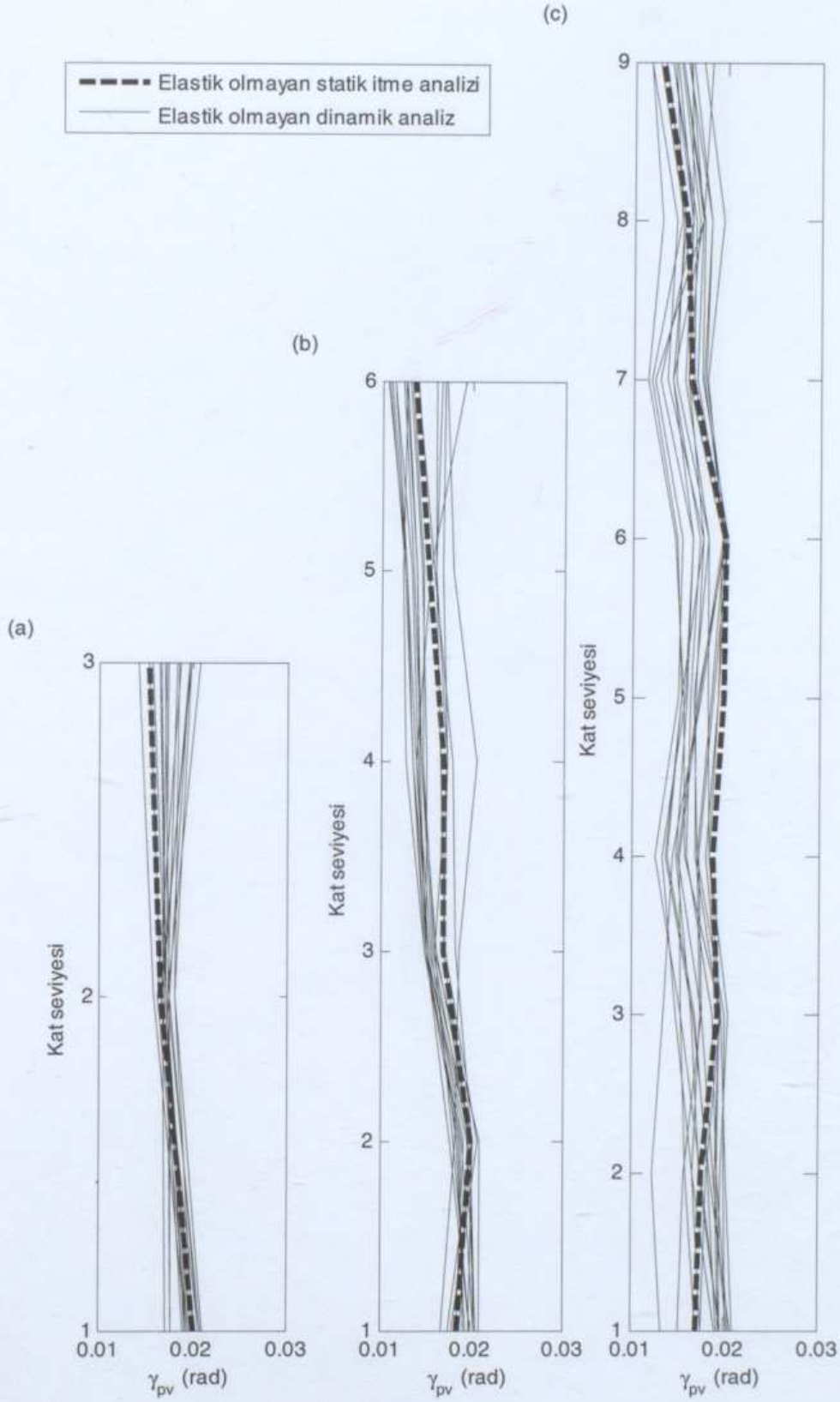
Şekil 7.4 a/v oranı 0.8'den küçük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı kesmede plastikleşen 120 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı



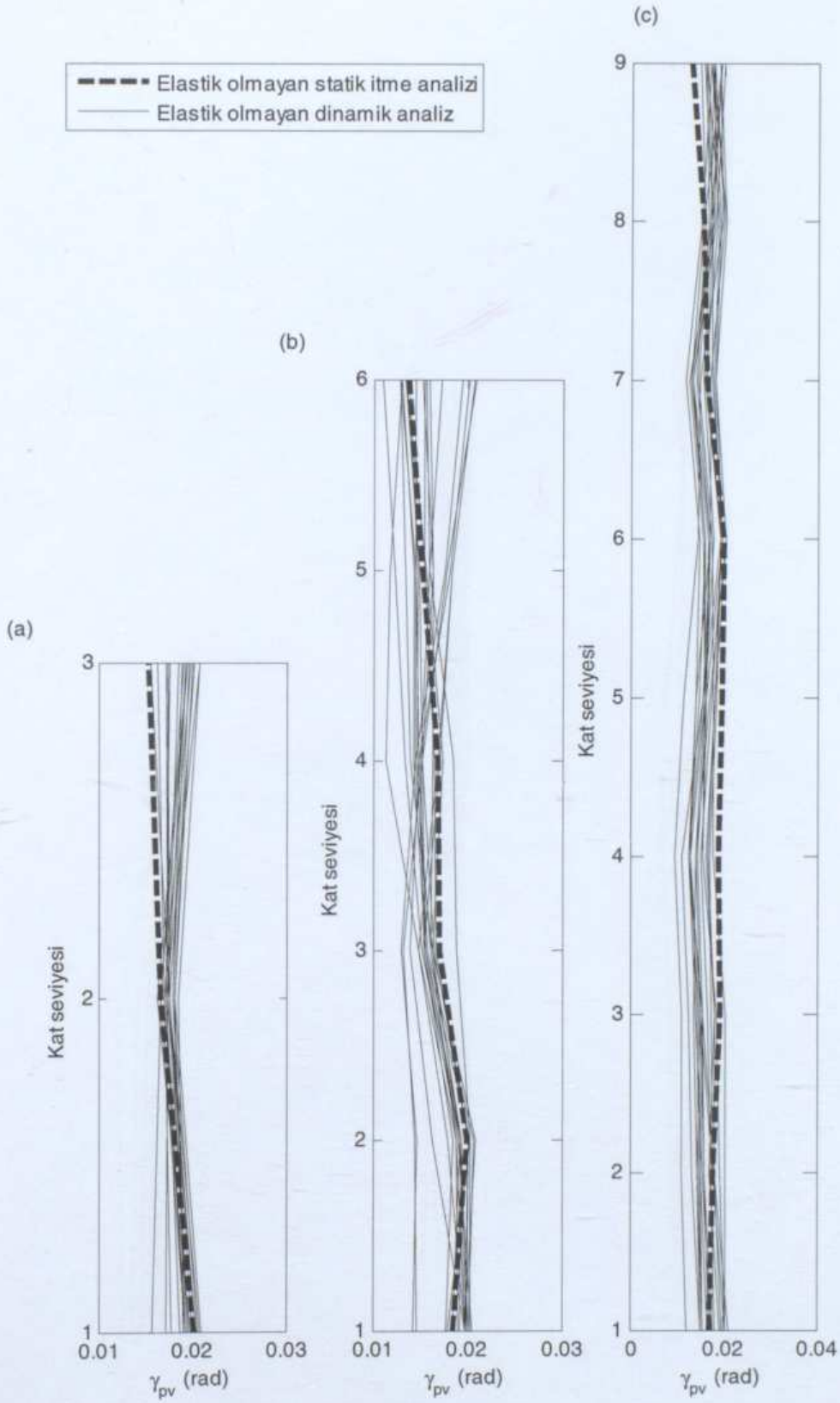
Şekil 7.5 a/v oranı 0.8 ile 1.2 arasında olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı kesmede plastikleşen 120 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı



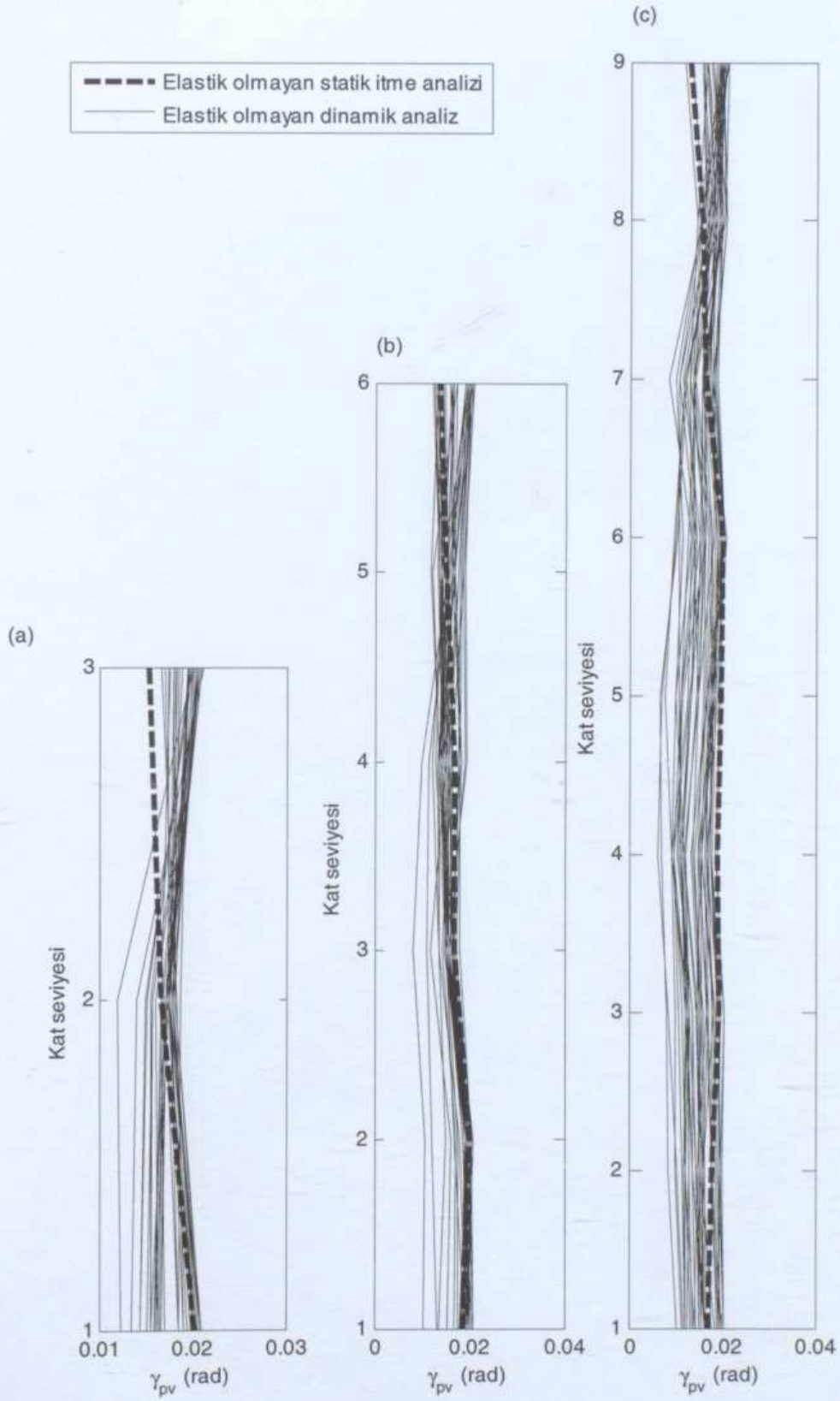
Şekil 7.6 a/v oranı 1.2'den büyük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı kesmede plastikleşen 120 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı



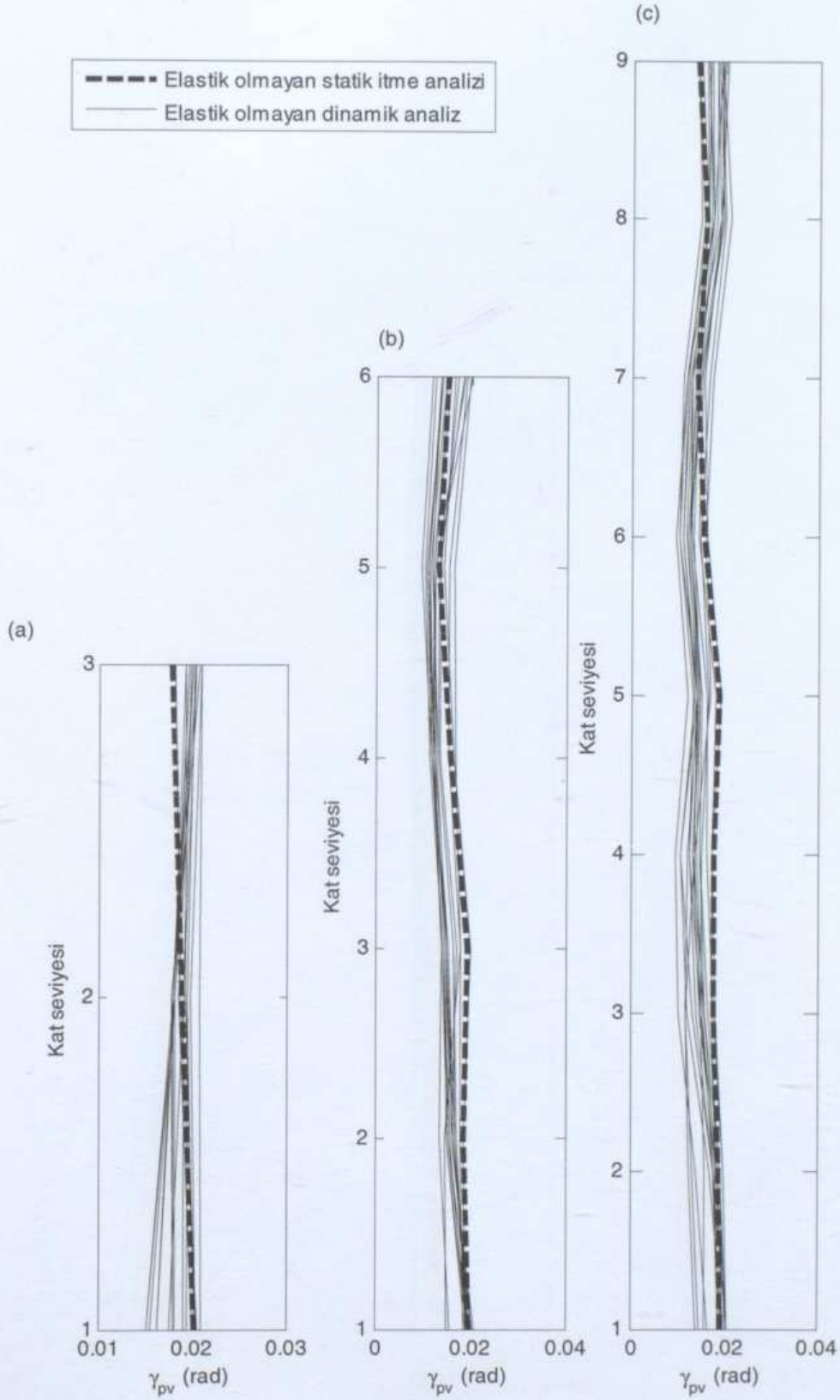
Şekil 7.7 a/v oranı 0.8'den küçük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı eğilmede plastikleşen 240 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler
(a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı



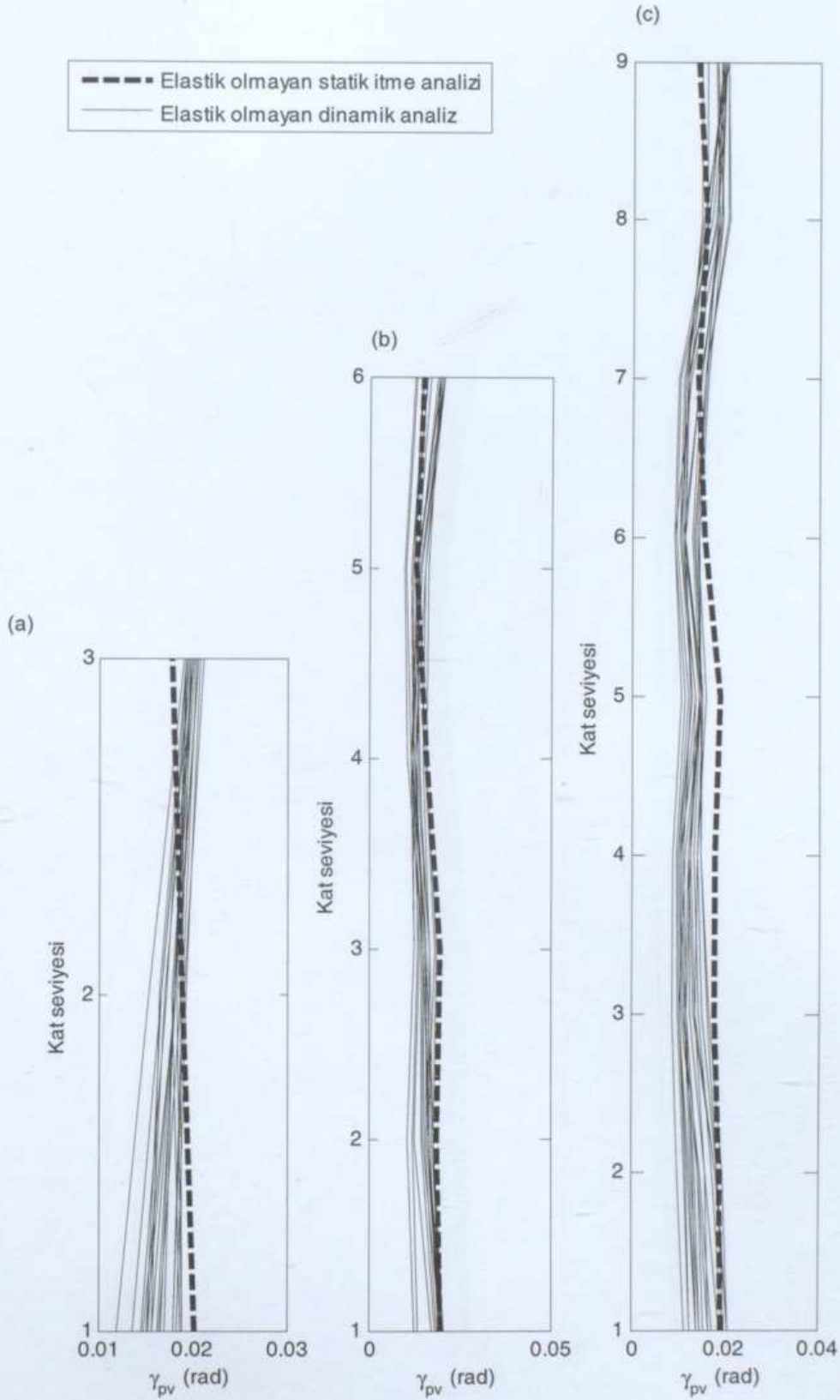
Şekil 7.8 a/v oranı 0.8 ile 1.2 arasında olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı eğilmede plastikleşen 240 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler
(a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı



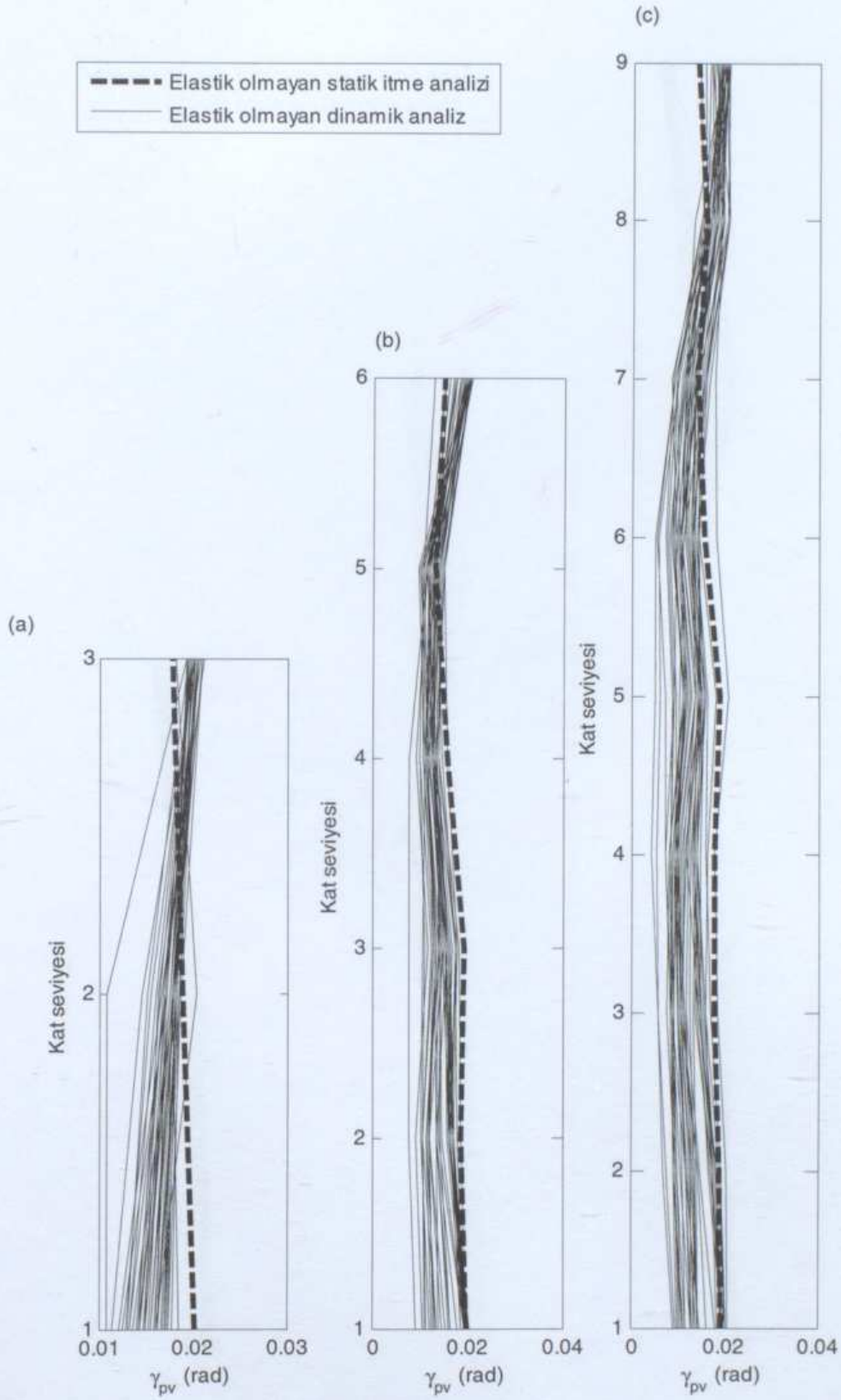
Şekil 7.9 a/v oranı 1.2'den büyük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı eğilmede plastikleşen 240 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler
(a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı



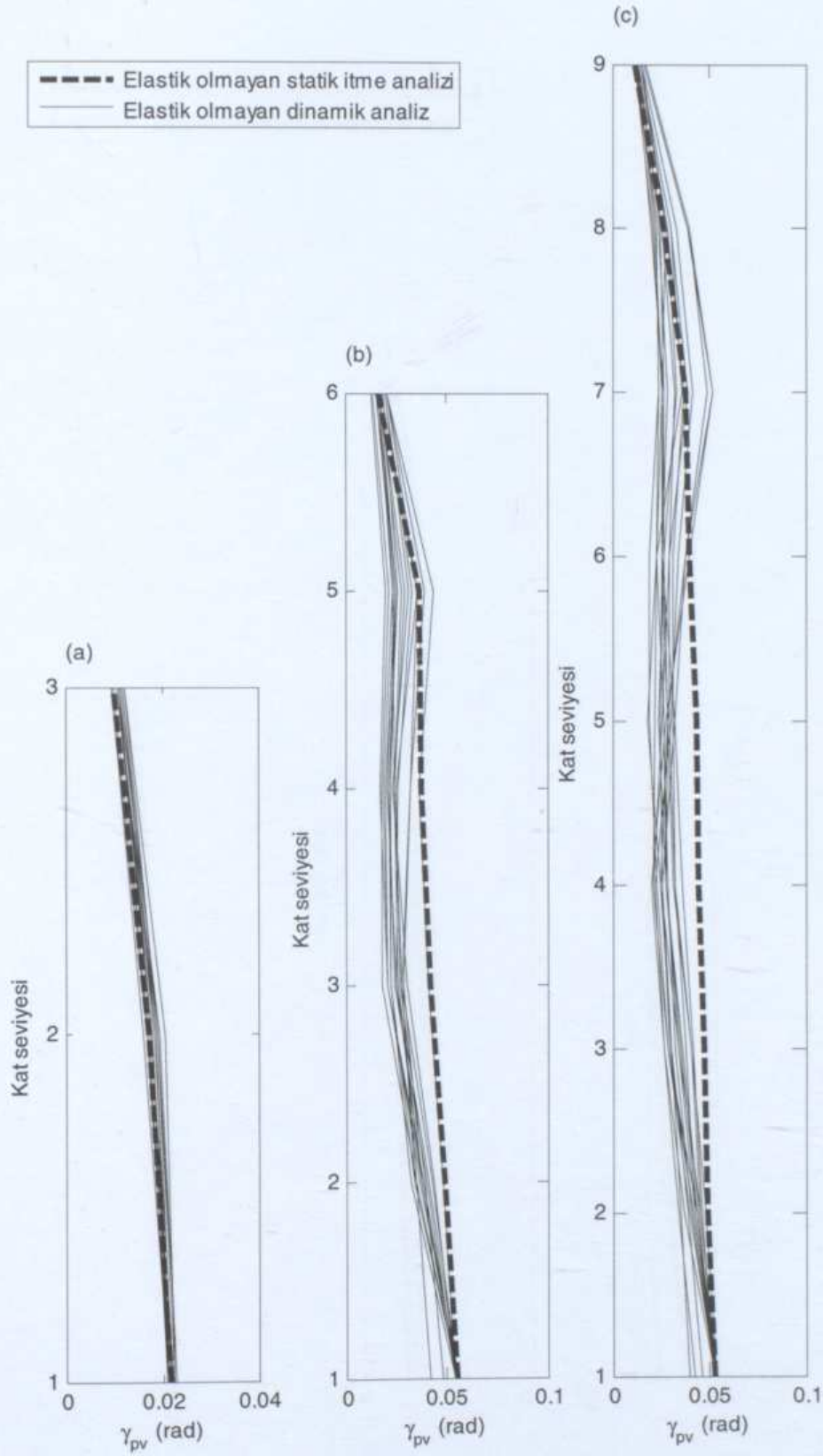
Şekil 7.10 a/v oranı 0.8'den küçük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı eğilmede plastikleşen 320 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler
(a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı



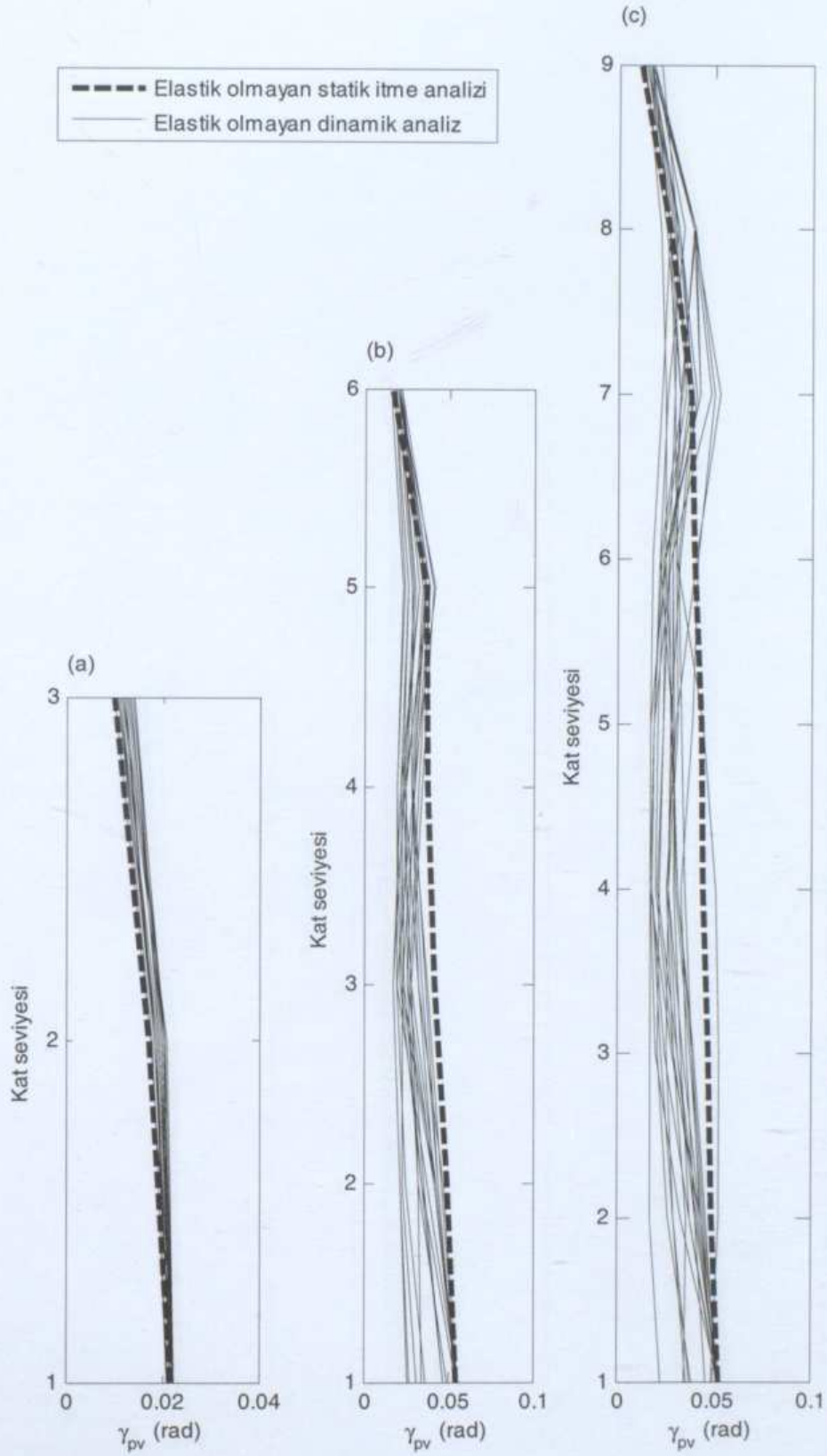
Şekil 7.11 a/v oranı 0.8 ile 1.2 arasında olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı eğilmede plastikleşen 320 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı



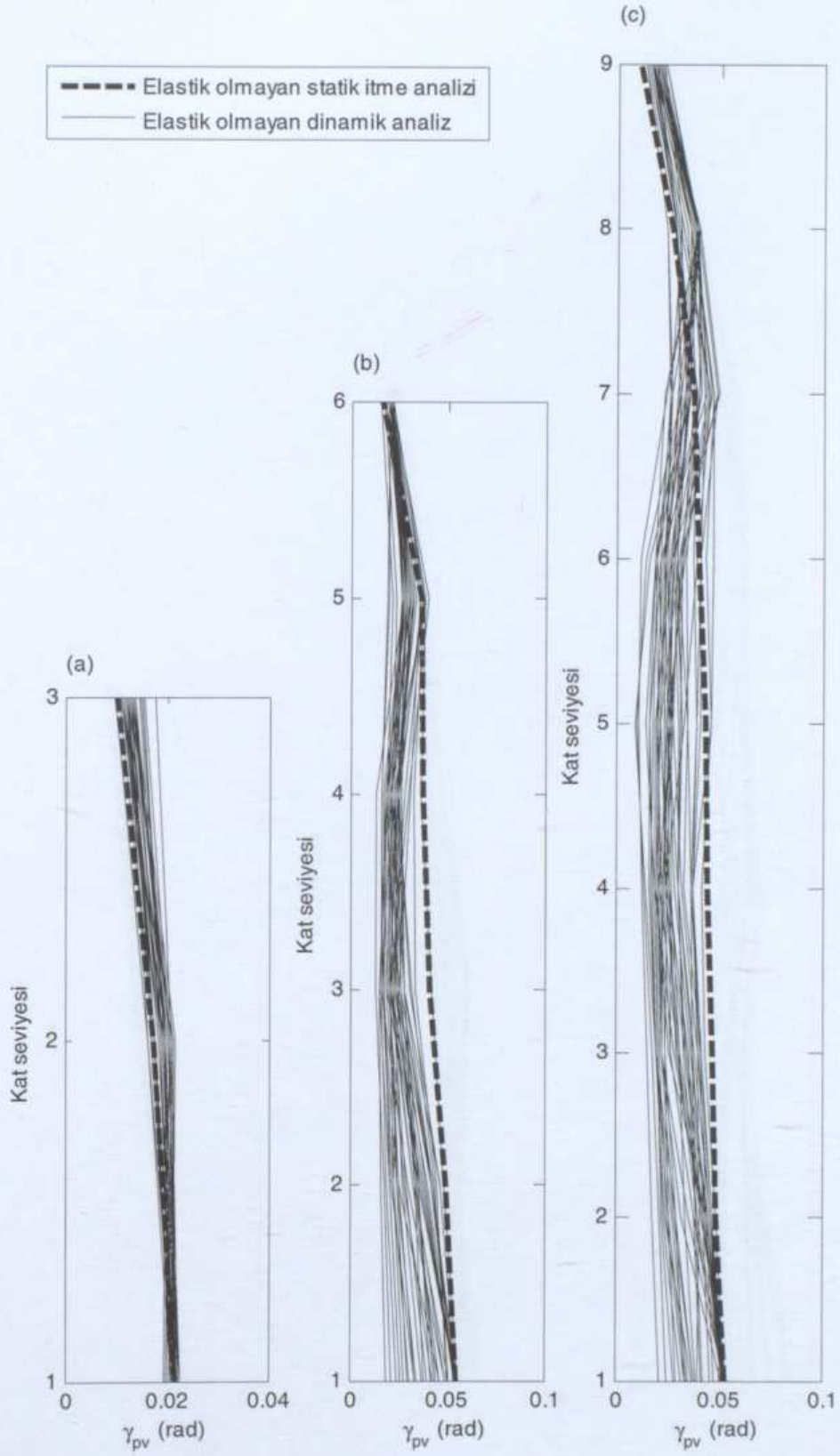
Şekil 7.12 a/v oranı 1.2'den büyük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı kesmede plastikleşen 320 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı



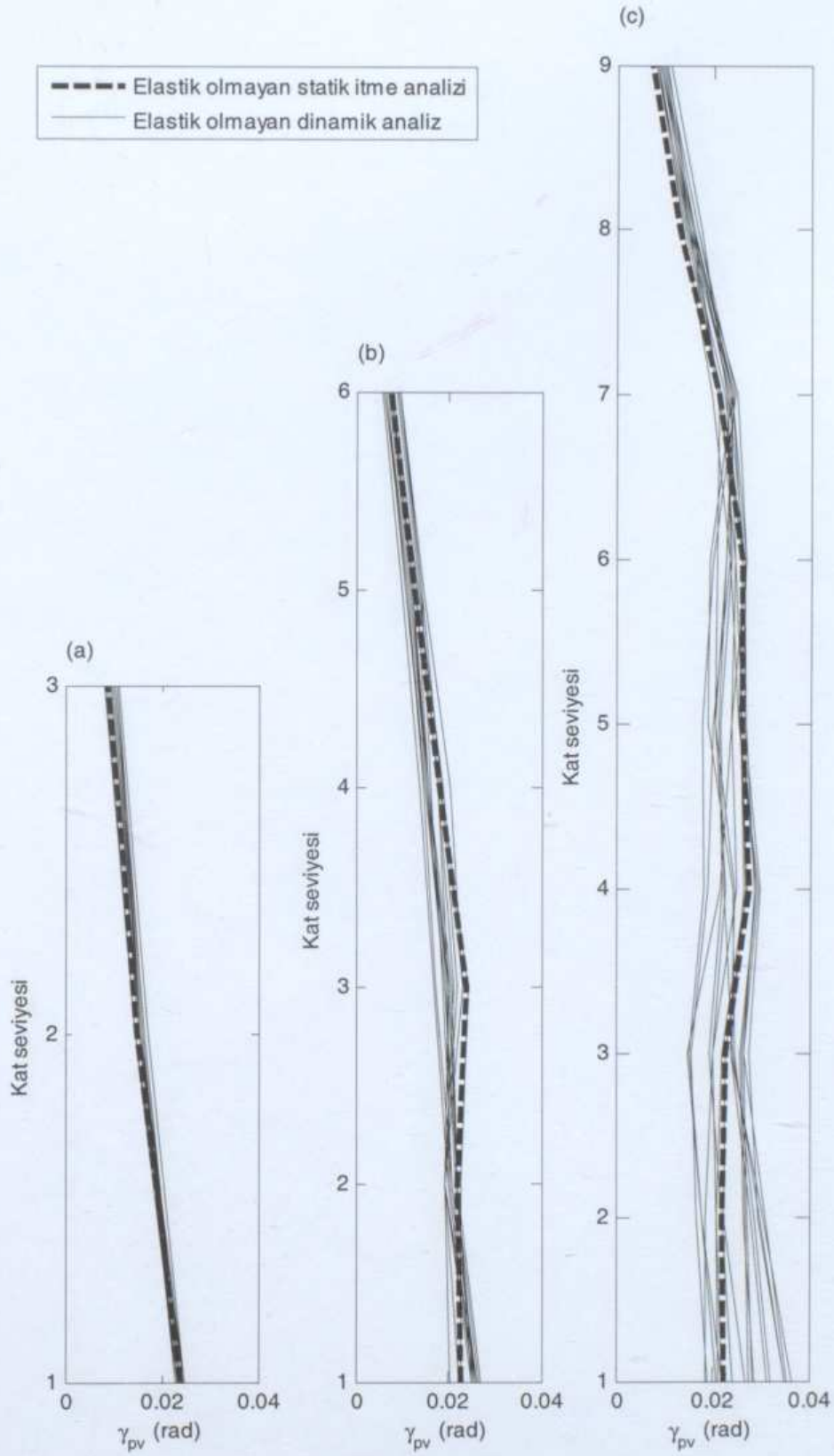
Şekil 7.13 a/v oranı 0.8'den küçük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı orta uzunlukta 140 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (e=150cm)



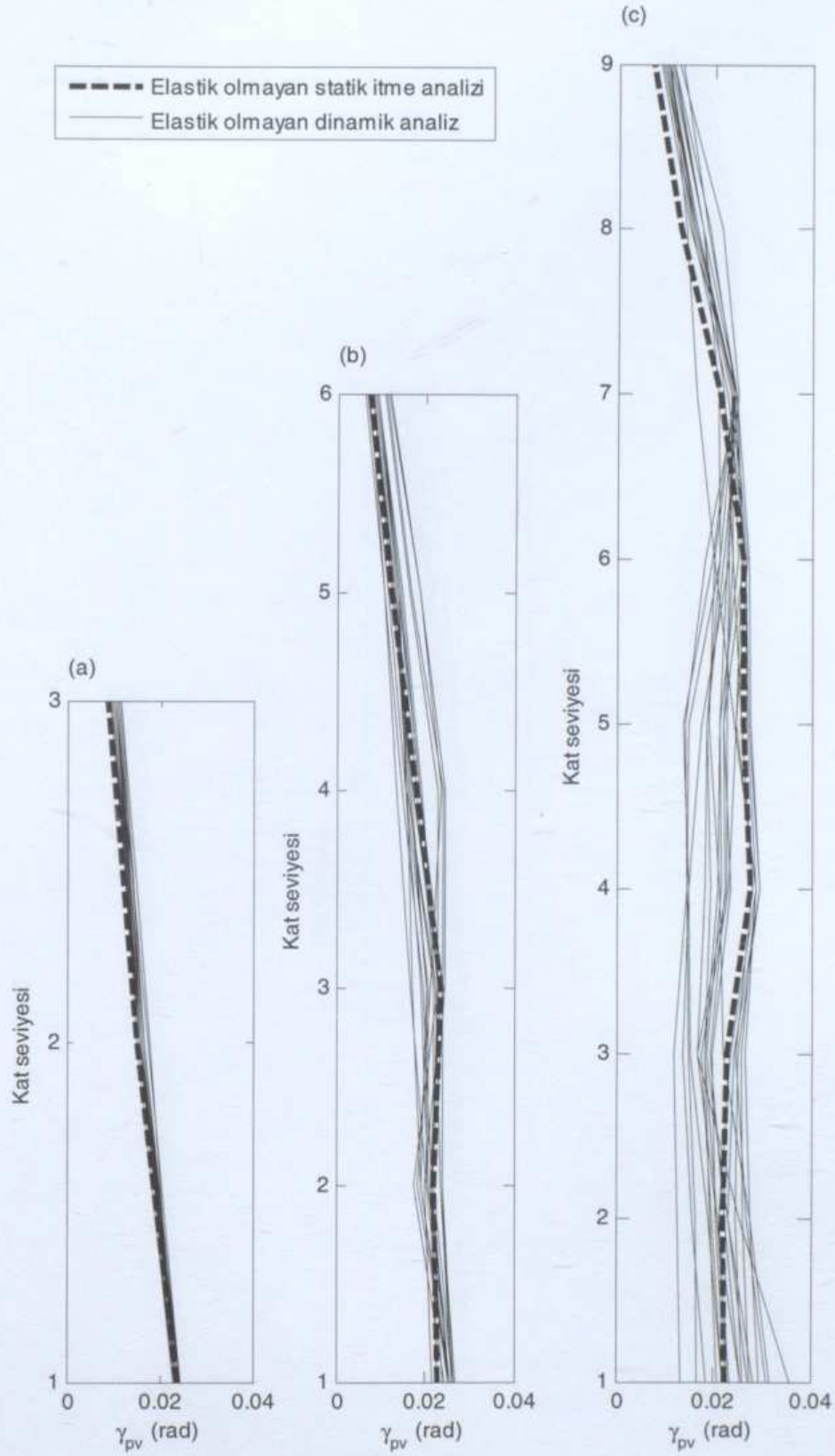
Şekil 7.14 a/v oranı 0.8 ile 1.2 arasında olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı orta uzunlukta 140 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (e=150 cm)



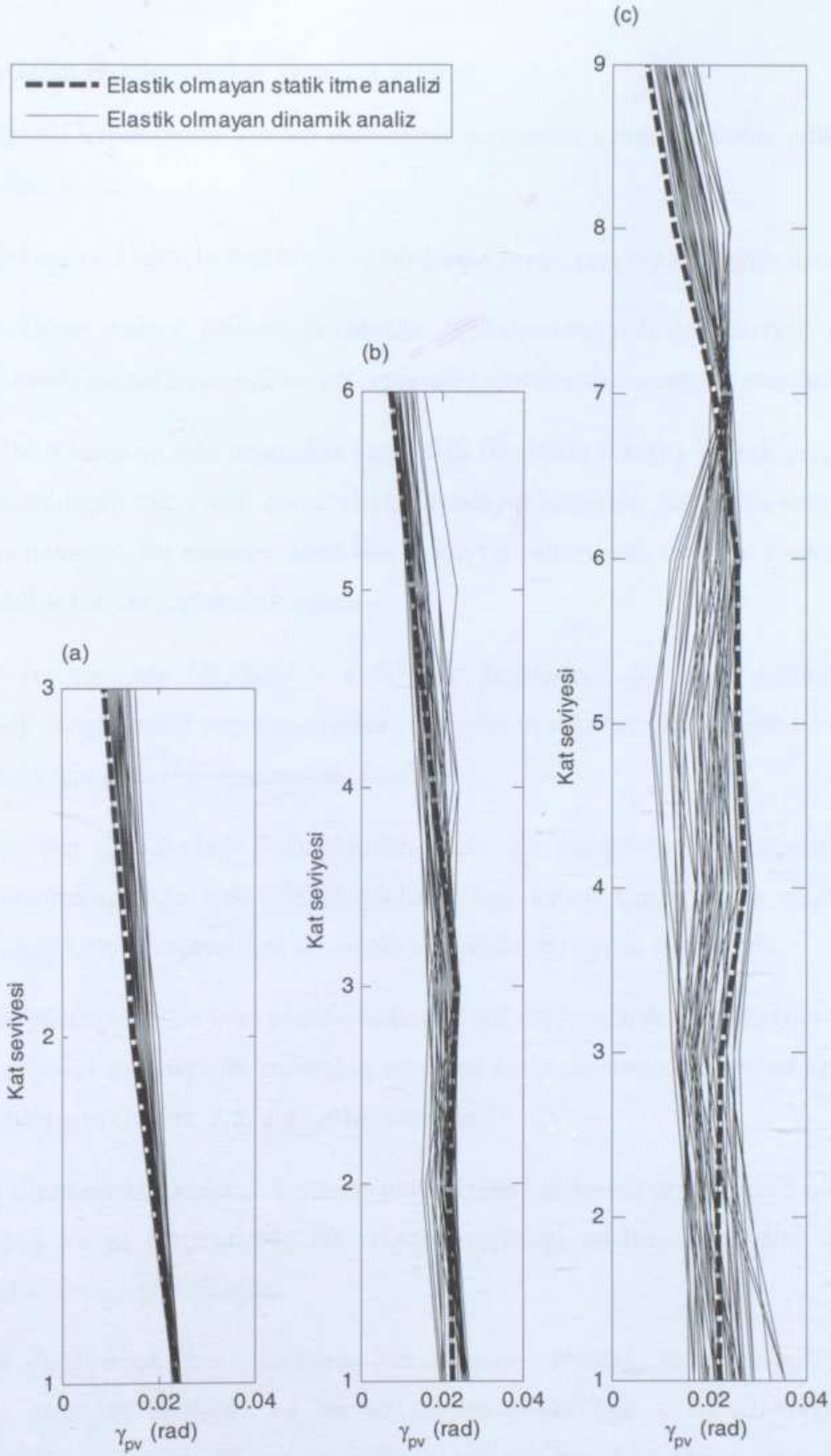
Şekil 7.15 a/v oranı 1.2'den büyük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı orta uzunlukta 140 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (e=150)



Şekil 7.16 a/v oranı 0.8'den küçük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı orta uzunlukta 220 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı



Şekil 7.17 a/v oranı 0.8 ile 1.2 arasında olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı orta uzunlukta 220 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı



Şekil 7.18 a/v oranı 1.2'den büyük olan depremler için maksimum bağ kirişi dönmelerinin katlar boyunca dağılımı: 8 m açıklıklı orta uzunlukta 220 cm'lik bağ kirişli DÇÇ'ler (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı

8. SONUÇLAR

8.1 Sonuçların Özetlenmesi ve Özgün Katkıları

Bu tez çalışması kapsamında yapılan parametrik çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- (1) *Sabit bir kiriş açıklığı için bağ kirişi uzunluğunun artışı, çerçeve ağırlığını arttırmaktadır.*
- (2) *Tasarım taban kesme kuvveti hesabında faydalanan yaklaşık periyot formülünün, özellikle eğilmede plastikleşen bağ kirişli çerçeveler için uygun olmadığı anlaşılmıştır.*

Kesmede plastikleşen ve orta uzunlukta bağ kirişli (özellikle 9 katlı) yüksek çerçevelerde ve eğilmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerin neredeyse tümünde, tasarımda periyot üst sınır şartı sağlanamamıştır. Bu nedenle taban kesme kuvveti artırılarak tasarımlar tekrarlanmış ve ancak bu şekilde bu şart sağlanabilmiştir.

- (3) *Yüksek çerçevelerde (özellikle 9 katlı) bağ kirişlerinin çok kısa seçilmesi, tasarım sırasında bağ kirişi dönme koşulunun etkin olmasına ve tasarım taban kesme kuvvetinin bu şartı sağlamak için arttırılmasına neden olmaktadır.*

Model çerçeveler göz önünde bulundurulduğunda; ilk tasarımda yer değiştirme şartının doğrudan sağlanması için kesmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerde $e/L > 0.075$, orta uzunluktaki bağ kirişli çerçevelerde ise $e/L > 0.175$ seçilmesi uygun olmaktadır.

- (4) *Kesmede plastikleşen ve orta uzunlukta bağ kirişli çerçevelerde; bağ kirişlerini çok uzun seçmek de maliyeti arttırıcı etki yapmakta, zira bağ kirişi tasarımında mevcut kesme kuvveti yerine, uzunluk şartı (Denk. 1.2, 1.3) etkin olmaktadır.*

Bu çalışma kapsamında incelenen kesmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerde $e/L < 0.12$, orta uzunlukta bağ kirişli çerçevelerde ise $e/L < 0.2$ seçildiği takdirde maliyette önemli artış meydana gelmeyeceği görülmüştür.

- (5) *Elastik ötesi statik itme analizleri, kat sayısının süneklik üzerinde çok fazla etkisi olmadığını; sünekliği etkileyen en önemli parametrenin, bağ kirişi uzunluğu olduğunu göstermiştir. Kesmede plastikleşen ve eğilmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerde, bağ kirişi uzunluğunun artmasıyla süneklik artarken, orta uzunluklu bağ kirişlilerde azalmaktadır.*

Orta uzunlukta bağ kirişli çerçevelerde bu davranışın nedeni, plastik dönme kapasitesinin artan uzunlukla birlikte azalmasıdır. Orta uzunluktaki bağ kirişlerinin dönme kapasitesinin

140 cm uzunluk için kesmede plastikleşen bağ kirişlerinin kapasitesi olan 0.08 radyana; 220 cm için eğilmede plastikleşenlerin kapasitesi olan 0.02 radyana yaklaştığı görülmüştür.

(6) *Kesmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerde süneklik en yüksek değerleri alırken, eğilmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerde ise en küçük değerleri almıştır.*

Eğilmede plastikleşen bağ kirişlerinin plastik dönme kapasitesi, kesmede plastikleşenlere göre oldukça düşük olduğu için bu, beklenen bir durumdur.

(7) *Deprem kaynağının uzaklığı, büyüklük ve a/v oranı gibi deprem özellikleri ve R katsayıları arasında düzenli bir ilişkiye rastlanmamıştır. Öte yandan, a/v oranı ile R katsayıları arasında bazı çerçeveler için bir eğilimden söz edilebilir.*

Dokuz katlı bazı model çerçevelerde $a/v < 2$ durumunda, a/v oranının artışıyla R katsayısı azalma eğilimi göstermiştir. Üç katlı dört adet model çerçeve için ise $a/v < 2$ durumunda, bu oranın artışıyla R katsayısı da artış eğilimi göstermiştir.

(8) *Genel olarak; kesmede plastikleşen ve eğilmede plastikleşen bağ kirişli tüm çerçevelerde, kiriş açıklığının artışıyla $\bar{R}$ katsayısı azalmış ve varyasyon katsayısı artmıştır. Orta uzunlukta bağ kirişli çerçevelerde, böyle bir eğilimden söz edilememektedir.*

(9) *Kesmede plastikleşen ve eğilmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerin pek çoğunda, bağ kirişi uzunluğunun artışı ile $\bar{R}$ katsayısı artmış ve varyasyon katsayısı azalmıştır. Orta uzunlukta bağ kirişli çerçevelerde ise, bağ kirişi uzunluğunun artışı ile $\bar{R}$ katsayısı azalmış ve varyasyon katsayısı artmıştır.*

Çok sayıda eğilmede plastikleşen model çerçevede, tasarımlar esnasında periyot üst sınır şartı sağlanmadığından, taban kesme kuvveti arttırılarak tasarımlar tekrarlanmıştır. Bu artışlar kimi çerçeveler için az, kimileri için ise fazla olduğundan $\bar{R}$ katsayısı ve varyasyon katsayısı grafiklerinde iniş çıkışlar gözlenebilmektedir.

Orta uzunlukta bağ kirişli çerçevelerde, grafiklerdeki düzensizlikler tüm çerçeveler için hedef bağ kirişi dönme kapasitesinin, sabit bir değer olmamasından kaynaklanmaktadır.

(10) *Çoğunlukla kesmede plastikleşen ve eğilmede plastikleşen bağ kirişli tüm çerçevelerde ağırlığın artışı ile $\bar{R}$ katsayısı artmış ve varyasyon katsayısı azalmıştır. Ancak orta uzunlukta bağ kirişli çerçevelerde ağırlığın artışıyla $\bar{R}$ katsayısı azalmış ve varyasyon katsayısı artmıştır. Dolayısıyla, orta uzunlukta bağ kirişli çerçevelerde bağ kirişi uzunluğunu arttırmak her açıdan olumsuz sonuçlar doğurmaktadır.*

(11) $\bar{R}$ katsayıları ve varyasyon katsayıları beş katlı ve daha yüksek yapılarda kat adedinden daha az etkilenmektedir.

(12) Model yapıların tasarımında şartnameye uygun olarak $R_d=8$ alındığına göre, elde edilen $\bar{R}$ katsayısının 8'den küçük olması tasarımın güvensiz, büyük olması ise güvenli olduğuna işaret eder. Parametrik çalışma sonuçları, birkaç üç katlı çerçeve haricinde neredeyse tüm model çerçevelerin güvensiz olduğunu göstermektedir. Bu kıyaslama sırasında dikkate alınan deprem tehlikesinin seviyesi, şartnamedeki tasarım spektrumu ile ifade edilendir.

Bununla birlikte, bu çalışmada yazılan optimizasyon programı sayesinde çerçeve elemanlarına gereksinimleri karşılayan en küçük kesitler atanmıştır; ancak uygulamada proje mühendislerinin çerçeveleri boyutlandırırken, tam bir optimizasyon yapmaları beklenemez. Ayrıca, elastik ötesi statik ve dinamik sistem çözümleri için hazırlanan çerçeve analitik modellerinde taşıyıcı olmayan elemanların rijitliğe etkileri dikkate alınmamaktadır. Sonuç olarak, burada yapılan $\bar{R}$ katsayısı değerlendirmelerinin emniyetli tarafta kaldığı söylenebilir.

(13) Kesmede plastikleşen bağ kirişli çerçeveler için elde edilen $\bar{R}$ katsayıları bağıl olarak en büyük değerleri, orta uzunlukta bağ kirişliler daha küçük, eğilmede plastikleşen bağ kirişliler ise en küçük değerleri almaktadır.

(14) Eğilmede plastikleşen ve orta uzunlukta bağ kirişli çerçevelerde elde edilen $\bar{R}$ değerleri kesmede plastikleşenlere göre çok küçük kaldıklarından, tüm DÇÇ tiplerinde tasarım sırasında aynı R_d katsayısının kullanılması bu çerçevelerin depreme karşı eşit güvenlikte tasarlanmamış olmalarına yol açar.

(15) Kesmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerde R katsayılarının varyasyon katsayıları, eğilmede plastikleşen ve orta uzunlukta bağ kirişli çerçevelerin varyasyon katsayılarına kıyasla büyüktür.

(16) Çerçeve geometrik özelliklerinden bağımsız olarak, $\bar{R}$ katsayılarının artış eğilimine girdiği durumlarda, varyasyon katsayılarının azalma eğilimine girdiği söylenebilir.

(17) Kesmede plastikleşen bağ kirişli model çerçevelerde, statik itme analizi ile elde edilen maksimum bağ kirişi dönmeleri, düşük a/v oranlı deprem çözümleri ile elde edilen maksimum bağ kirişi dönmeleri için bir üst sınır oluşturmaktadır (en üst katlardaki bağ kirişleri hariç). Diğer çerçeve tipleri ile a/v oranı arasında dikkate değer bir ilişki yoktur.

(18) Genel olarak; çerçeveler statik itme analizleriyle limit durumlarına götürüldüklerinde

elde edilen baş kirişi dönmelerinin yükseklik boyunca daşılımı, ölçeklendirilmiş depremlerle limit durumlarına götürüldüklerinde elde edilen maksimum baş kirişi dönmelerinin katlara daşılımı ile benzerdir. Bununla birlikte, üst katlarda bu iki yöntemle elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıklar fazla olmuştur.

8.2 Tasarım İçin neriler

Bu alışmada R katsayıları, tasarımda doğrudan kullanılmak amacıyla değil, mevcut yapıların davranışlarını incelemek amacıyla belirlenmiştir. Aslında tasarımlarda kullanılmak üzere R katsayısı elde etmek için, tasarım üzerinde iterasyon yapılması gereklidir. Örneğin bir ereve için tasarım yaparken kullanılan R değeriyle, önerilen yöntemle hesaplanan R değeri belli bir toleransla, birbirinin aynı olması sağlanan kadar iterasyon yapıldığı zaman elde edilen katsayı ilgili deprem için tasarımda kullanılabilecek gerçek R_d değeri olacaktır. Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre yatay yükü yalnızca D'lerin karşıladığı durumlarda tasarım sırasında $R_d=7$ alınması gerekirken; ASCE 7-05'e göre ise D kiriş-kolon bağlantıları rijit ise 8, mafsallı ise 7 alınması öngörülmüştür. Yapılan parametrik alışmalar Türk Deprem Yönetmeliği'nin nispeten daha güvenli olduğunu göstermektedir, ancak aşağıdaki hususlar dikkate değerdir:

- (1) Kesmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerde, tasarım sırasında kullanılan R_d katsayıları, orta uzunlukta bağ kirişli ve eğilmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerde kullanılan R_d katsayılarından mutlaka büyük olmalıdır.
- (2) Orta uzunlukta ve özellikle eğilmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerin, süneklik düzeyi yüksek yerine, süneklik düzeyi normal ereve kabul edilmesi daha uygun olacaktır.
- (3) Mimari nedenlerle mecbur kalınmadığı sürece, orta uzunlukta veya eğilmede plastikleşen bağ kirişli çerçeveler yerine, kesmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerin seçilmesi daha uygun olacaktır.
- (4) Mimari nedenlerle orta uzunlukta bağ kirişli ereve tasarımına mecbur kalınırsa, bağ kirişi uzunluğunu mümkün olan en küçük değer seçmek uygun olacaktır.
- (5) Parametrik çalışmalarda, yüksek olan Dlerin bazılarında ve özellikle eğilmede plastikleşen bağ kirişli çerçevelerin neredeyse tamamında periyot üst sınır şartı sağlanmadığı için, tasarım taban kesme kuvvetlerinin arttırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Oysa Türk Deprem Yönetmeliği'nde boyutlandırılmış yapıların periyodunu

ya da diğerk bir deyişle rijitliğini sınırlandıracak böyle bir koşul mevcut değildir. Türk Deprem Yönetmeliğinde gerçek ölçümlerden faydalanılarak belirlenen periyot üst sınır şartlarının yer almasının bir gereklilik olduğu düşünülmektedir.

“Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, 8. Baskı, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No:25 (2 Temmuz 1998 tarih ve 23390 sayılı Resmi Gazete’ de yayınlanan değişiklikleri içermektedir.)

Aguirre, C., (2000), “ Nonlinear Behavior of Steel Frames and Spectrum Reduction Factor’’, Report No. 1991, 12th WCEE, FEMA.

American Institute of Steel Construction, (1999), “Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings”.

American Institute of Steel Construction, (2002), “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings”, ANSI/AISC 341-02.

American Institute of Steel Construction, (2005), “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings”, ANSI/AISC 341-05.

American Society of Civil Engineers, (2006), “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures”, ASCE/SEI 7-05.

Anderson, J.C.; Bertero, V.V., (1987), “Uncertainties in Establishing Design Earthquakes”, Journal of Structural Engineering, 113(8):1709-1724.

Applied Technology Council, (1995), “Structural Response Modification Factors”, Rep.No. ATC-19, Calif.

Arce, G., (2002), “Impact of Higher Strength Steels on Local Buckling and Overstrength of Links in Eccentrically Braced Frames”, Masters Thesis, University of Texas, Austin, USA.

Balendra, T. ve Huang, X., (2003), “Overstrength and Ductility Factors for Steel Frames Designed According to BS 5950”, Journal of Structural Engineering, 129(8), 1019- 1036.

Bertero, R. D. ve Bertero, V. V., (1999), “Redundancy in Earthquake-Resistant Design’’, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.125, No.1, 81-88.

Bertero, V.V.; Uang, C.M.; Llopiz, C.R.; Igarashi, K., (1989), “Earthquake Simulator Testing of Concentric Braced Dual System”, Journal of Structural Engineering, 115(8):1877-1894.

Borzi, B.ve Elnashi, A. S., (2000), “Refined Force Reduction Factors for Seismic Design’’, Engineering Structures, No.22, 1244-1260.

Bruneau, M.; Uang, C.M.; Whittaker, A., (1998), “Ductile Design of Steel Structures”, McGraw-Hill Pres.

- Chopra, A. K., (2001), "Dynamics of Structures", Prentice-Hall, Second Edition, New Jersey.
- Douglas, A.F.; Wilcoski, J., (2005), "A Rational Approach for Determining Response Modification Factors for Seismic Design of Buildings Using Current Code Provisions", *Earthquake Spectra*, 21(2):339-352.
- Elghadamsi, F. E. ve Mohraz, B., (1987), "Inelastic earthquake spectra", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 15:11, 91-104.
- Engelhardt MD, Popov EP. On Design of Eccentrically Braced Frames. *Earthquake Spectra* 1989;5(3):495-511.
- Engelhardt, M.D.; Popov, E.P., (1992), "Experimental Performance of Long Links in Eccentrically Braced Frames", *Journal of Structural Engineering*, 118(11):3067-3088.
- Foutch, D.A., (1989), "Seismic Behavior of Eccentrically Braced Steel Building", *Journal of Structural Engineering*, 115(8):1857-1876.
- Foutch, D.A.; Goel, S.C.; Roeder, C.W., (1987), "Seismic Testing of Full-Scale Steel Building-Part I", *Journal of Structural Engineering*, 113(11):2111-2129.
- Ghobarah, A.; Ramadan, T., (1991), "Seismic Analysis of Links of Various Lengths in Eccentrically Braced Frames", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 18(1):140-148.
- Goel, S.C.; Boutros, M.K., (1989), "Analytical Modeling of Phase 2 Steel Structure", *Journal of Structural Engineering*, 115(8):1949-1959.
- Hjelmstad K.D.; Popov, E.P., (1983), "Cyclic Behavior and Design of Link Beams", *Journal of Structural Engineering*, 109(10):2387-2403.
- Hjelmstad, K.D.; Popov, E.P., (1984), "Characteristics of Eccentrically Braced Frames", *Journal of Structural Engineering*, 110(2):340-353.
- Iervolino, I. and Cornell, C.A., (2005), Record Selection for Nonlinear Seismic Analysis of Structures, *Earthquake Spectra*, 21, No.3, 685-713.
- Kappos, A. J., (1999), "Evaluation of Seismic Behaviour Factors on the Basis of Ductility and Overstrength Studies", *Engineering Structures* Vol.21, 823-835.
- Kasai, K.; Popov, E.P., (1986(a)), "Cyclic Web Buckling Control for Shear Link Beams", *Journal of Structural Engineering*, 112(3):505-523.
- Kasai, K.; Popov, E.P., (1986(b)), "General Behavior of WF Steel Shear Link Beams",

Journal of Structural Engineering, 112(2):362-382.

Kim, J. ve Choi, H., (2005), "Response modification factors of chevron-braced frames", Engineering Structures, 27(2), 285-300.

Koboevic, S., (2000), "An Approach to Seismic Design of Eccentrically Braced Frames", Ph.D. thesis, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, Canada, May 2000.

Lai, S.P. ve Biggs, J. M., (1980), "Inelastic response spectra for aseismic building design", Journal of the Structural Division, ASCE, **106**(ST6): 1295-1310.

Lam, N.; Wilson, J. L.; Hutchinson, G.L., (1996), "Building Ductility Demand: Interplate versus Intraplate Earthquakes", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25(9):965-985.

Lam, N.; Wilson, J. ve Hutchinson, G., (1998), "The Ductility Reduction Factor in the Seismic Design of Buildings", Earthquake Engng. Struct. Dyn. Vol.27, 749-769.

Lee, D. G.; Song, J. K. ve Yun, C. B., (1997), "Estimation of System-Level Ductility Demands for Multi-Story Structures", Engineering Structures, Vol.19, No.12, 1025-1035.

Lee, L. H.; Han, W. S. ve Oh, Y. H., (1999), "Determination of Ductility Factor Considering Different Hysteretic Models", Earthquake Engng. Struct. Dyn., Vol.28, 957-977.

Lee, S.J.; Lu, L.W., (1989), "Quasi-Static Tests of Scaled Model Building", Journal of Structural Engineering, 115(8):1895-1917.

Lui, E.M., (1999), "Structural Steel Design", CRC Pres LLC.

Maheri, M. R. ve Akbari, R., (2003), "Seismic behaviour factor, R, for steel X-braced and knee-braced RC buildings", Engineering Structures, 25(12), 1505-1513.

Malley, J.O.; Popov, E.P., (1984), "Shear Links in Eccentrically Braced Frames", Journal of Structural Engineering, 110(9):2275-2295.

McCormac, J.C.; Nelson, J.K., (2003), "Structural Steel Design LRFD Method", Third Edition.

Miranda, E. Ve Garcia, J. R., (2002), "Influence of Stiffness Degradation on Strength Demands of Structures Built on Soft Soil Sites", Engineering Structures, Vol.24, 1271-1281.

Miranda, E., (1993(a)), "Site-Dependent Strength-Reduction Factors", Journal of Structural

Engineering, ASCE, Vol.119, No.12, 3503-3520.

Miranda, E., (1993(b)), "Evaluation of Inelastic Seismic Design Spectra", Journal of Structural Engineering, 119(5):1319-1338.

Miranda, E., (1997), "Strength Reduction Factors in Performance-Based Design", EERC-CUREe Symposium in Honor of Vitelmo V. Bertero, 31 Ocak-1 Şubat. Berkeley, California. (<http://nisee.berkeley.edu/lessons/miranda.html>)

Miranda, E.; Bertero, V., (1994), "Evaluation of Strength Reduction Factors for Earthquake-Resistant Design", Earthquake Spectra, 10(2):357-379.

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.

Mitchell, D.; Tremblay, R.; Karacabeyli, E.; Paultre, P.; Saatcioglu, M. Ve Anderson, D.L., (2003), "Seismic Force Modification Factors for the Proposed 2005 Edition of the National Building Code of Canada", Can. J. Civ. Eng., Vol.30, 308-327.

Moghaddam, H. Ve Mohammadi, R. K., (2000), "Ductility Reduction Factor of MDOF Shear-Building Structures" Journal of Earthquake Engineering, Vol.5, No.3, 425-440.

Moghaddam, H. Ve Mohammadi, R. K., (2001), "Ductility reduction factor of MDOF shear-building structures", Journal of Earthquake Engineering, 5(3), 425-441.

Mohammadi, R. K., (2002), "Approximate Evaluation of Deflection Amplification Factor", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.128, No.2, 179-187.

Mwafy, A. M. ve Elnashai, A. S., (2002), "Calibration of force reduction factors of RC buildings", Journal of Earthquake Engineering, 6(2), 239-274.

Newmark, N. M. ve Hall, W. J., (1973), "Procedures and criteria for earthquake resistant design", Building Practice for Disaster Mitigation: Building Science Series 45, National Bureau of Standards: Washington, DC: 209-236.

Newmark, N. M. ve Hall, W. J., (1982), "Earthquake Spectra and Design", nomograph, Earthquake Engineering Research Institute, Department of Civil Engineering University of Civil Engineering University of Illinois at Urbana Champaign.

Okazaki, T.; Arce, G.; Ryu, H.C.; Engelhardt, M.D., (2005), "Experimental Study of Local Buckling, Overstrength, and Fracture of Links in Eccentrically Braced Frames", Journal of

Structural Engineering, 131(10):1526-1535.

Ordaz, M. ve Perez-Rocha L. E., (1998), "Estimation of Strength Reduction Factors for ElastoPlastic Systems: A New Approach", Earthquake Engng. Struct. Dyn., Vol.27, 889-901.

Özhendekci, D.; Özhendekci, N., (2007), "Effects of the Frame Geometry on the Weight and Inelastic Behaviour of Eccentrically Braced Chevron Steel Frames", Journal of Constructional Steel Research, doi:10.1016/j.jcsr.2007.07.009 (basımda).

Özhendekci, D.; Özhendekci, N.; Öztürk, A.Z., (2006), "The Seismic Response Modification Factor for Eccentrically Braced Frames", First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper No. 692, Oral Presentation.

Prakash, V.; Powell, G.H.; Campbell, S., (1993), "DRAIN-2DX Base Program User Guide" Version 1.10.

Qi, X.; Chang, K. L. ve Tsai, K. C., (1997), "Seismic Design of Eccentrically Braced Space Frame", Journal of the Structural Engineering, ASCE, Vol.123, No.8, 977-985.

Rahgozar, M. A. ve Humar J. L., (1998), "Accounting for Overstrength in Seismic Design of Steel Structures", Can. J Civ. Eng., Vol. 25, 1-15.

Ramadan, T.; Ghobarah, A., (1991), "Prediction of the Ultimate Capacity of Wide Flange Link Beams Under Cyclic Loading", Computers and Structures, 40(2):409-418.

Ramadan, T.; Ghobarah, A.; "Analytical Model for Shear-Link Behavior", Journal of Structural Engineering, 121(11):1574-1580.

Richard Liew, J. Y. ; Balendra, T. ve Chen, W.F., (1999), "Multistory Frame Structures", Structural Engineering Handbook, CRC Press LLC.

Richards, P.W., (2004), "Cyclic Stability and Capacity Design of Steel Eccentrically Braced Frames", Ph.D. thesis, University of California, San Diego, USA.

Richards, P.W.; Uang, C.M., (2005), "Effect of Flange Width-Thickness Ratio on Eccentrically Braced Frames Link Rotation Capacity", Journal of Structural Engineering, 131(10):1546-1552.

Ricles, J.M.; Popov, E.P., (1987), "Dynamic Analysis of Seismically Resistant Eccentrically Braced Frames", UCB/EERC Report No.87/07, University of California, Berkeley,

California, USA.

Ricles, J.M.; Popov, E.P., (1989), "Composite Action in Eccentrically Braced Frames", *Journal of Structural Engineering*, 115(8):2046-2066.

Ricles, J.M.; Popov, E.P., (1994), "Inelastic Link Element for EBF Seismic Analysis", *Journal of Structural Engineering*, 120(2):441-463.

Riddell, R. ve Newmark, N. M., (1979), "Force-deformation models for nonlinear analyses (technical note)", *Journal of Structural Division, ASCE*, Vol.105:2773-8.

Riddell, R.; Hidalgo, P.; Cruz, E., (1989), "Response Modification Factors for Earthquake Resistant Design of Short Period Buildings", *Earthquake Spectra*, 5(3):571-590.

Roeder, C.W., (1977), "Inelastic Behavior of Eccentrically Braced Frames Under Cyclic Loadings", Ph.D. thesis, University of California, Berkeley, California, USA.

Roeder, C.W.; Foutch, D.A.; Goel, S.C., (1987), "Seismic Testing of Full-Scale Steel Building-Part II", *Journal of Structural Engineering*, 113(11):2130-2145.

Roeder, C.W.; Popov, E.P., (1977), "Inelastic Behavior of Eccentrically Braced Frames Under Cyclic Loading", UCB/EERC Report No.77/18, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, USA.

Roeder, C.W.; Popov, E.P., (1978), "Cyclic Shear Yielding of Wide-Flange Beams", *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 104(EM4):763-780.

Roeder, C.W.; Popov, E.P., (1978), "Eccentrically Braced Steel Frames for Earthquakes", *Journal of the Structural Division*, 104(ST3):391-412.

Segui, W.T. , (1999), "LRFD Steel Design", PWS Publishing.

Shome, N.; Cornell, C.A.; Bazzurro, P.; Carballo, J.E., (1997), "Earthquakes, Records and Nonlinear Responses", *Earthquake Spectra*, 14(3):469-500.

Silva, W.J.; Gren, R.K., (1989), "Magnitude and Distance Scaling of Response Spectral Shapes for Rock Sites with Applications to North American Tectonic Environment", *Earthquake Spectra*, 5(3):591-603.

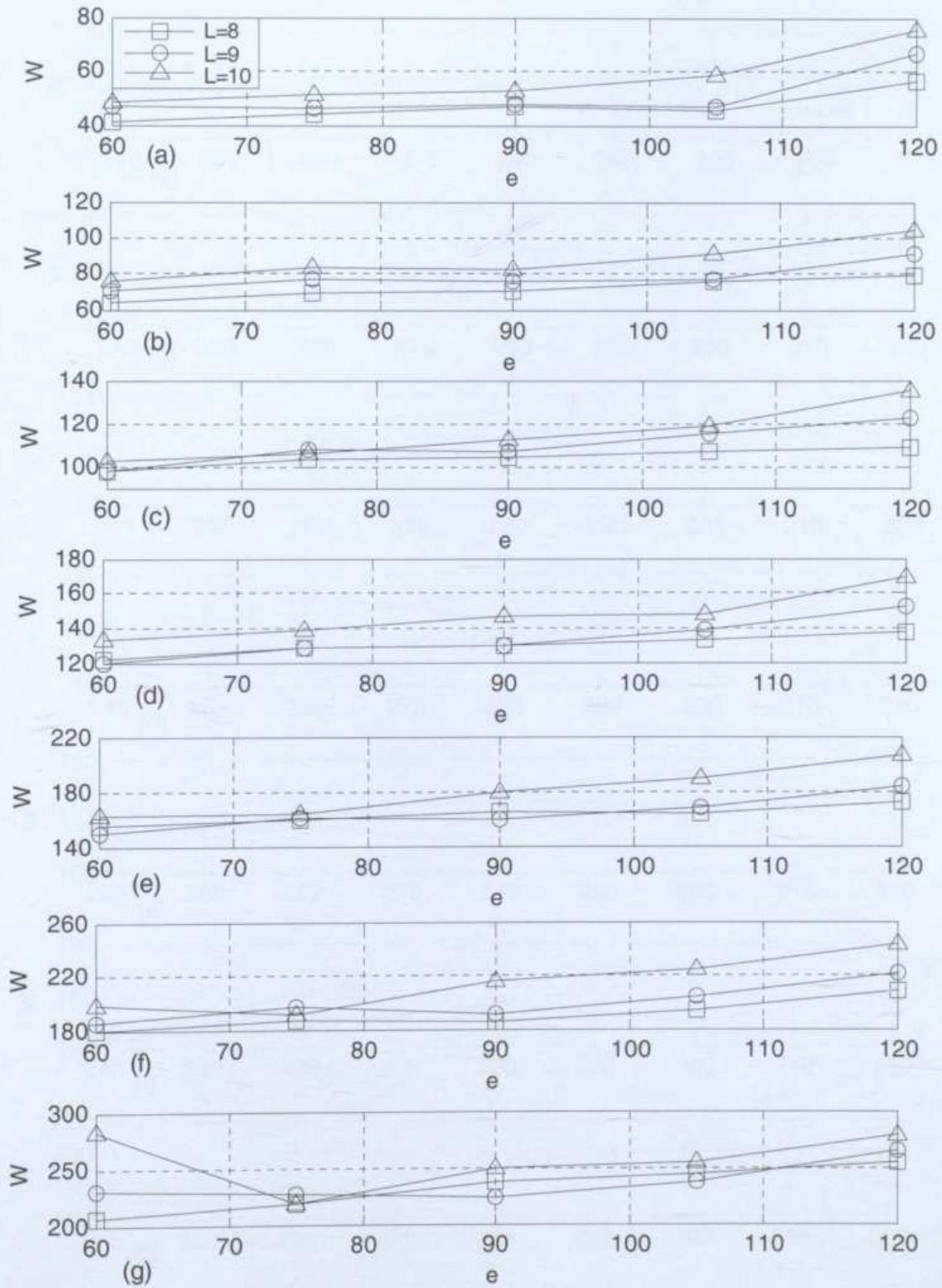
Tang, X.; Goel, S.C., (1989), "Brace Fractures and Analysis of Phase I Structure", *Journal of Structural Engineering*, 115(8):1960-1976.

- Thermou, G. E.; Elnashai, A. S.; Plumier, A. ve Doneux, C., (2004), "Seismic design and performance of composite frames", *Journal of Constructional Steel Research*, 60(1), 31-57.
- Twari, A. K. ve Gupta, V. K., (2000), "Scaling of Ductility and Damage-Based Strength Reduction Factors for Horizontal Motions", *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, Vol.29, 969-987.
- Uang, C. M., (1991), "Establishing R (or R_w) and C_d Factors for Building Seismic Provisions", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 117, No.1, 19-27.
- Wen, Y. K. ve Song, S. H., (2003), "Structural Reliability/Redundancy under Earthquakes", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.128, No.1, 56-67.
- Whittaker, A.; Hart, G. ve Rojahn, C., (1999), "Seismic Response Modification Factors", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.125, No.4, 438-444.
- Whittaker, A.S.; Uang, C.M.; Bertero, V.V., (1989), "Experimental Behavior of Dual Steel System", *Journal of Structural Engineering* 1989;115(1):183-200.
- Zhu, T. J.; Tso, W. K. ve Heidebrecht, A. C., (1988), "Effect of Peak Ground a/v Ratio on Structural Damage", *Journal of the Structural Engineering*, ASCE, Vol.114, No.5, 1019-1037.

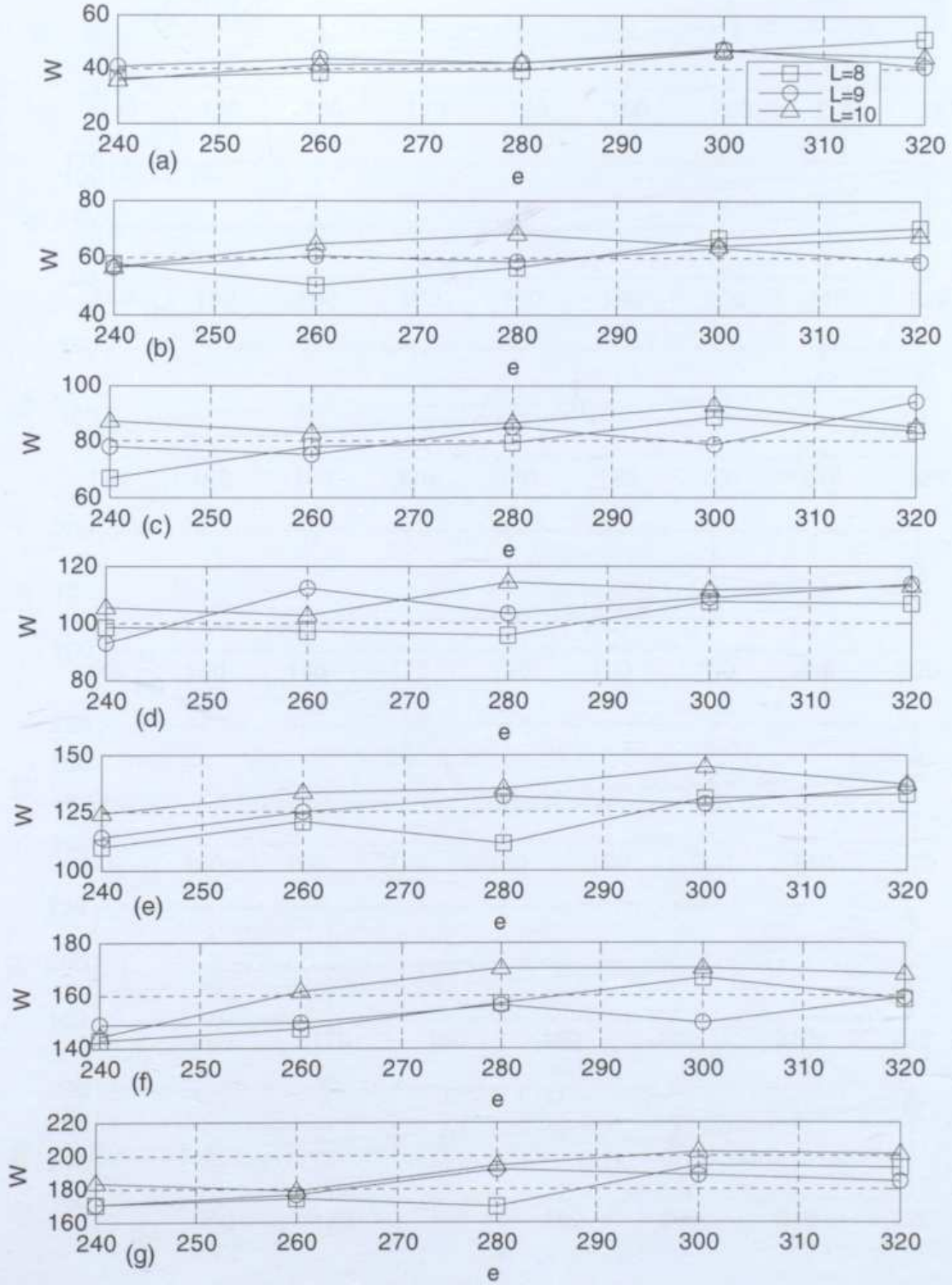
EKLER

- Ek 1 Çerçeve Geometrisinin Ağırlık Üzerinde Etkisi
- Ek 2 Deprem Özellikleri ve R Katsayıları Arasındaki İlişki
- Ek 3 Kiriş-Kolon Elemanlarının LRFD Yöntemiyle Boyutlandırılması
- Ek 4 Kullanılan Deprem Kayıtları
- Ek 5 Tasarım Programının Akış Diyagramı

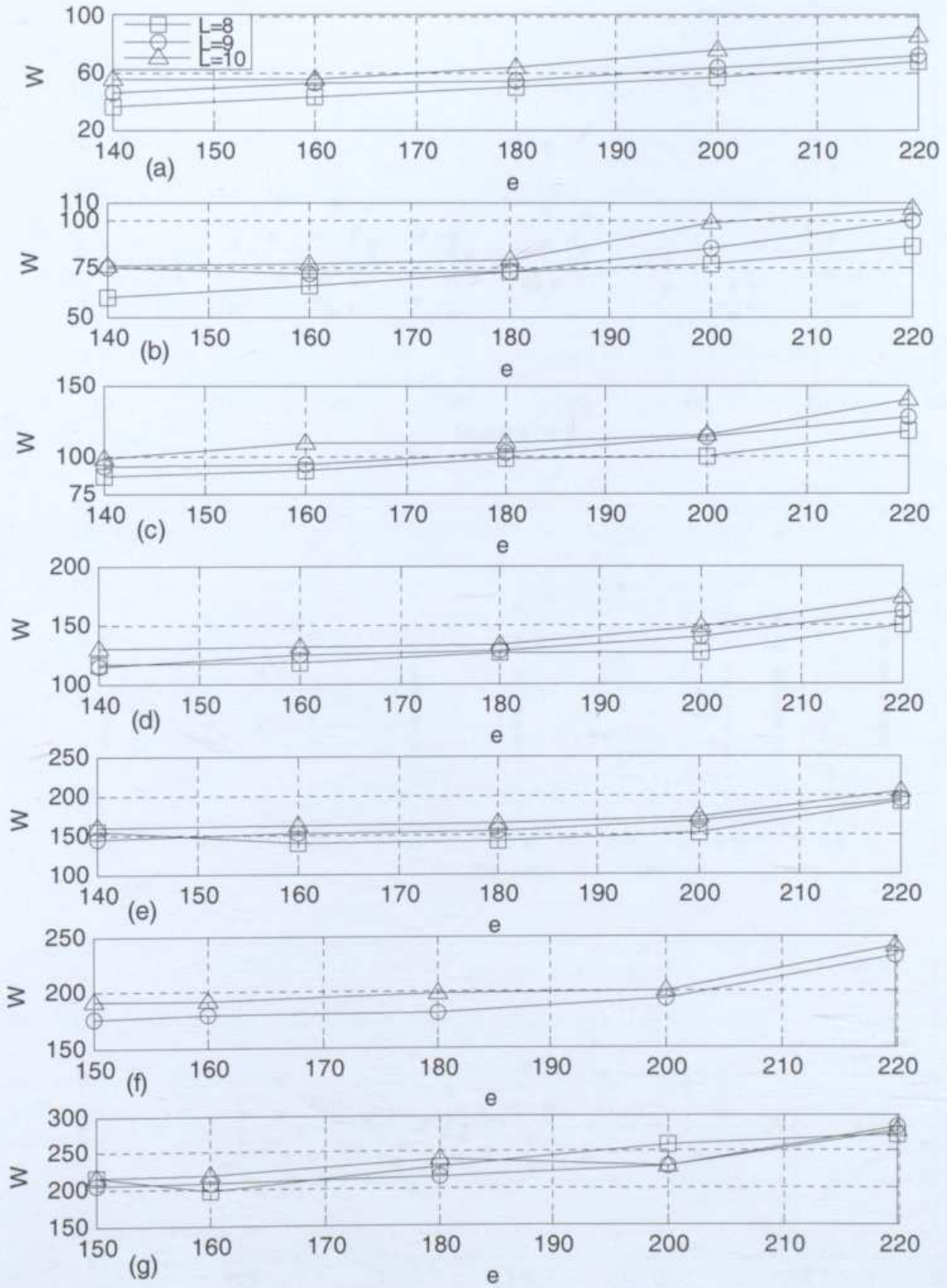
Ek 1 Çerçeve Geometrisinin Çerçeve Ağırlığı Üzerinde Etkisi



Şekil Ek 1.1 Kesmede plastikleşen bağ kirişli DÇÇ'lerin ağırlıkları (kN) - kat adedi (a)3 (b)4 (c)5 (d)6 (e)7 (f)8 (g)9

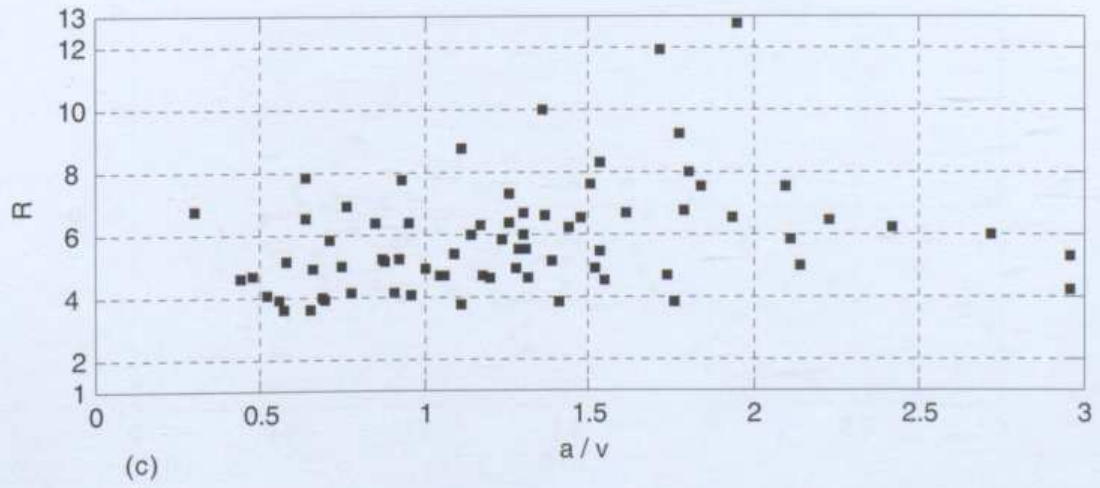
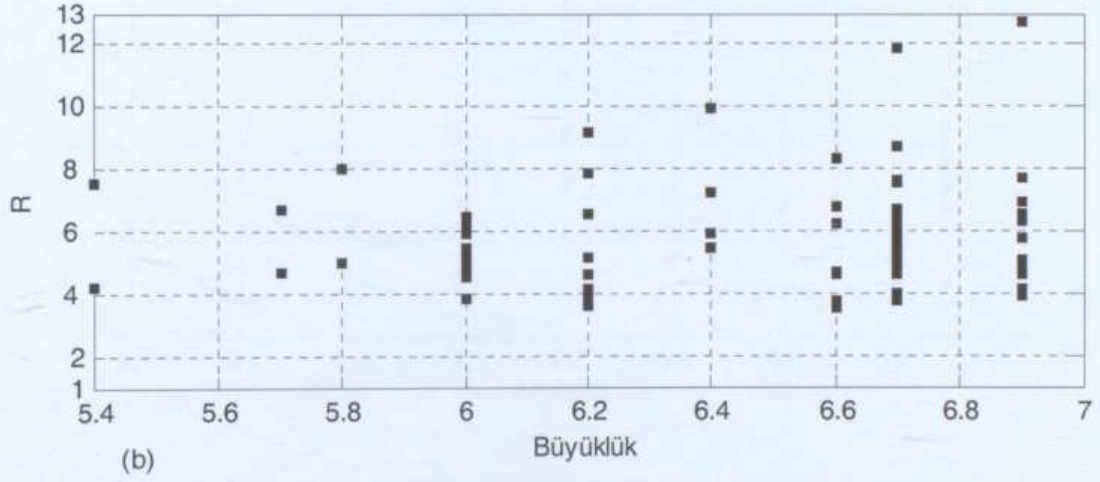
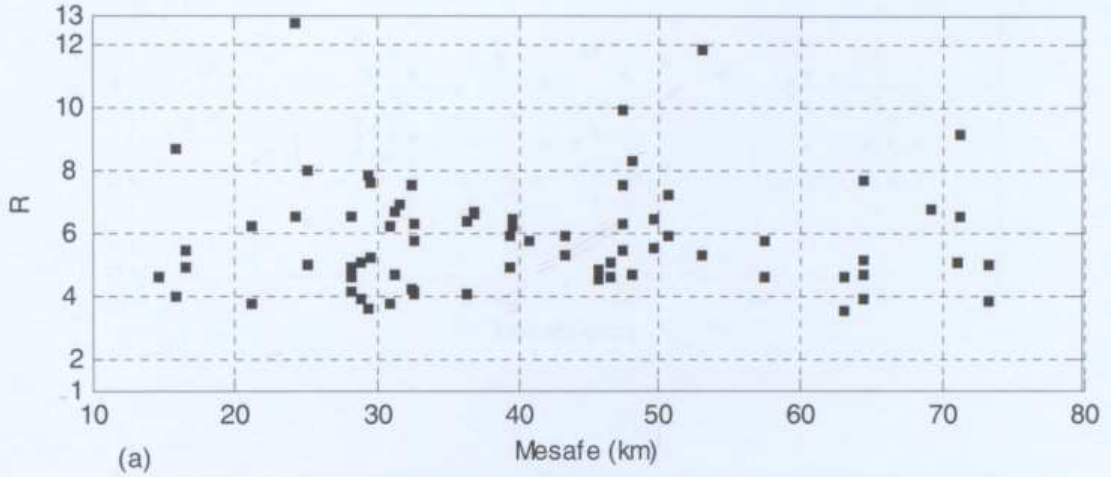


Şekil Ek 1.2 Eğilmeye plastikleşen bağ kirişli DÇÇ'lerin ağırlıkları (kN) - kat adedi (a)3 (b)4 (c)5 (d)6 (e)7 (f)8 (g)9

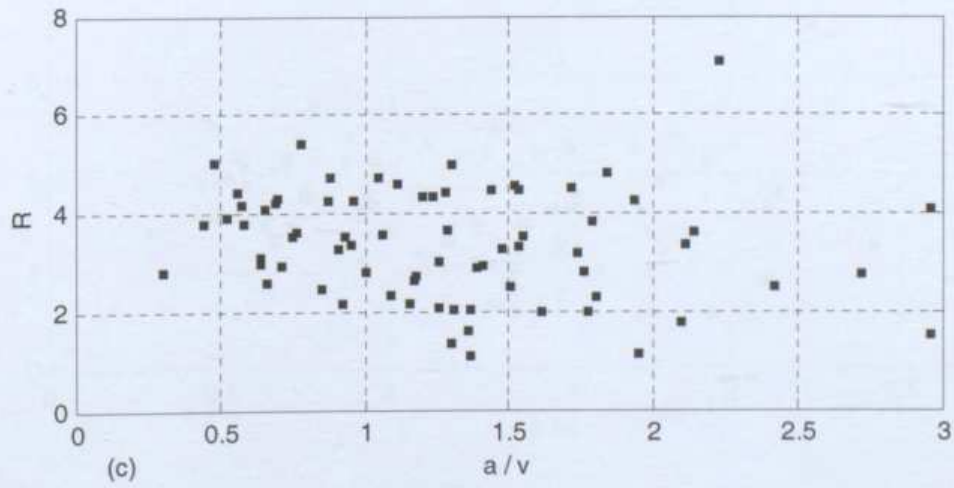
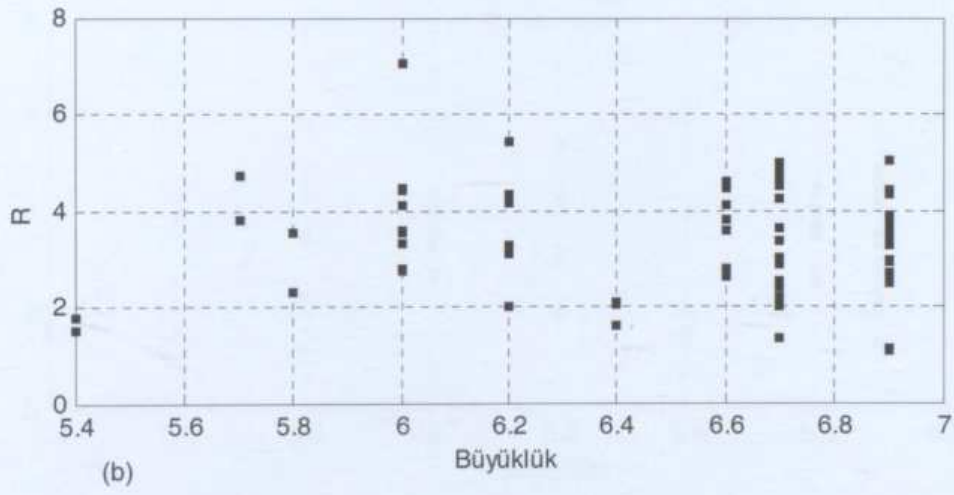
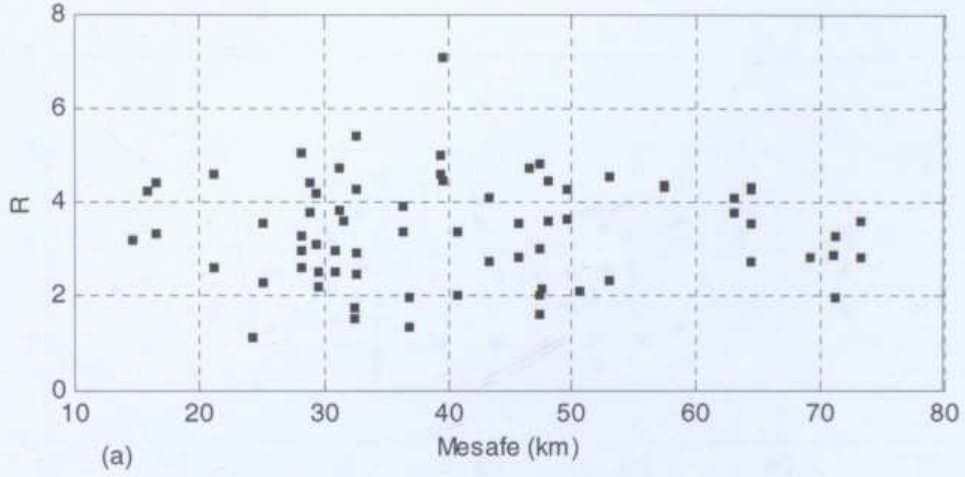


Şekil Ek 1.3 Orta uzunlukta bağ kirişli DÇÇ'lerin ağırlıkları (kN) - kat adedi (a)3 (b)4 (c)5 (d)6 (e)7 (f)8 (g)9

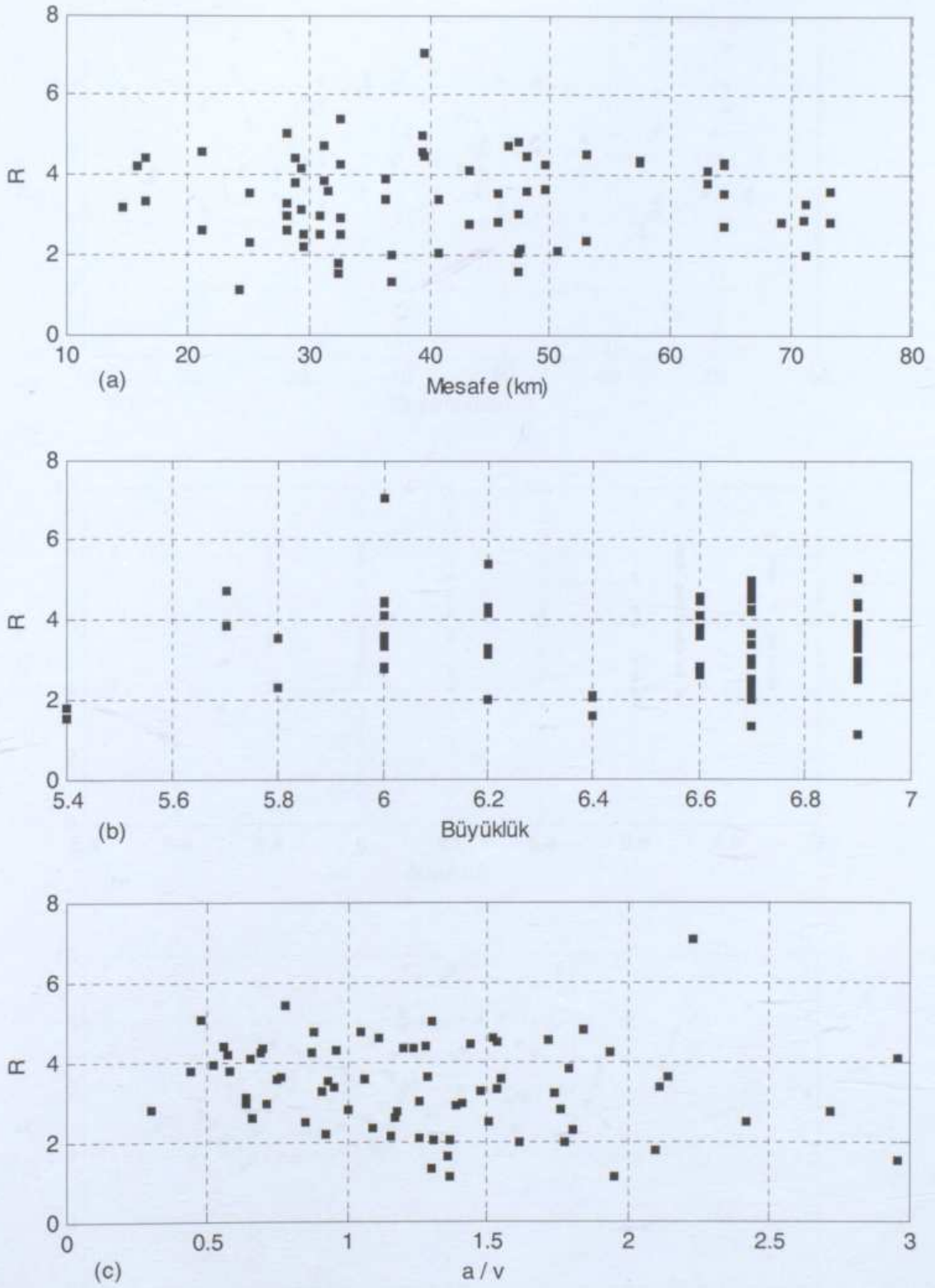
Ek 2 Deprem Özellikleri ile R Katsayıları Arasındaki İlişki



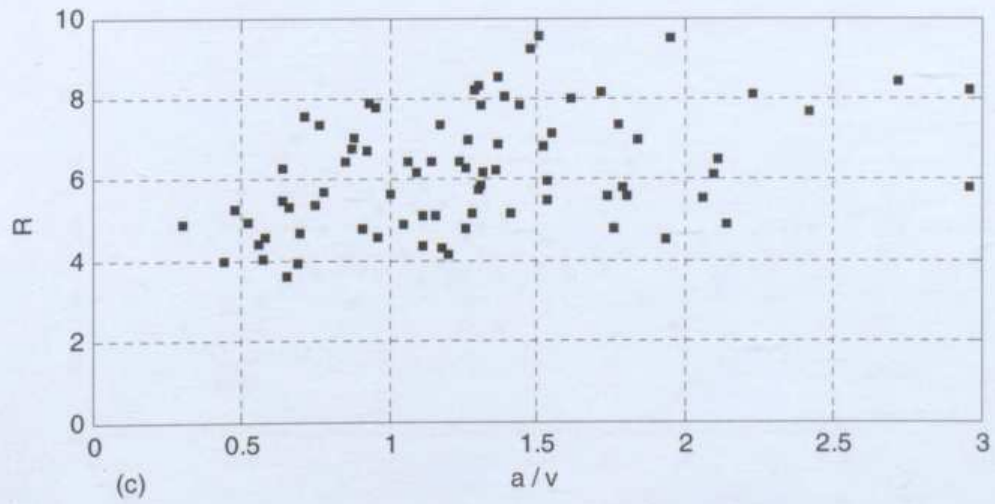
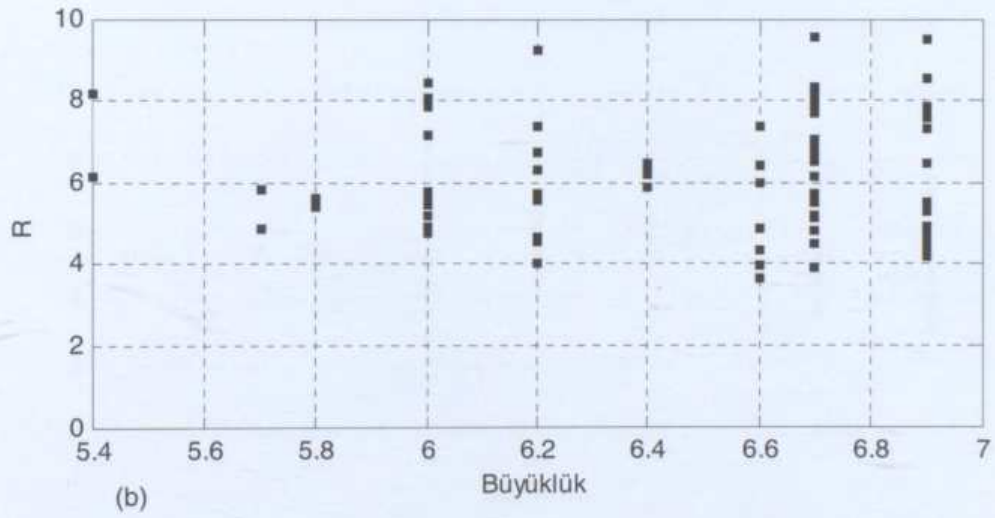
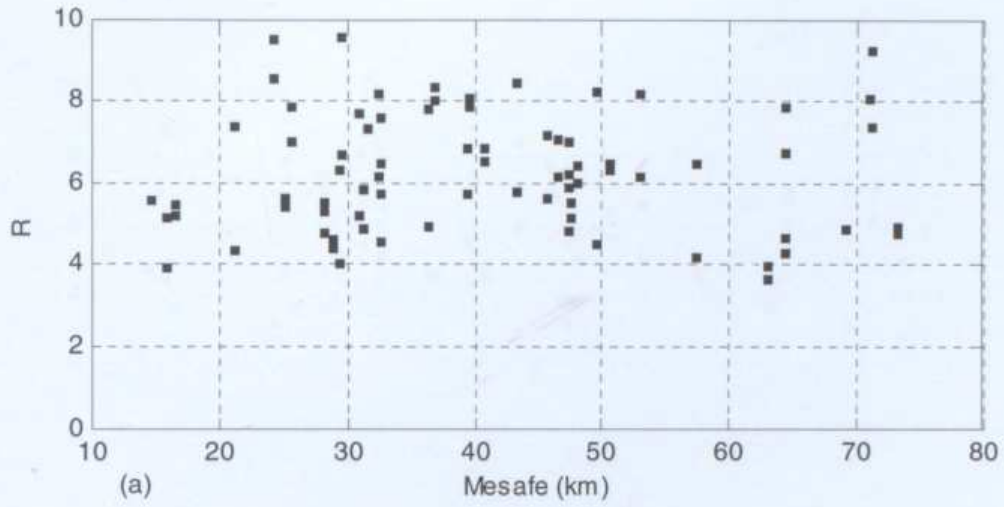
Şekil Ek 2.1 Kesmede plastikleşen 60 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



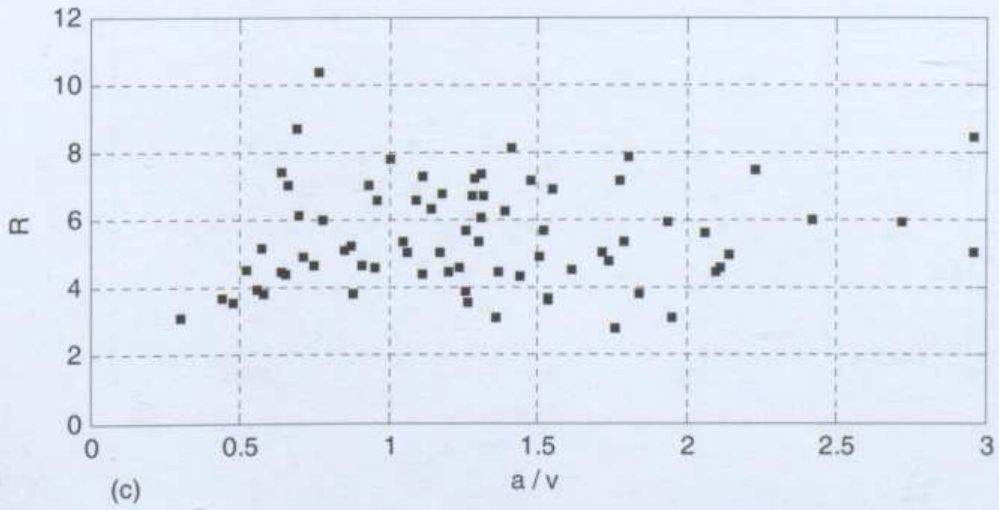
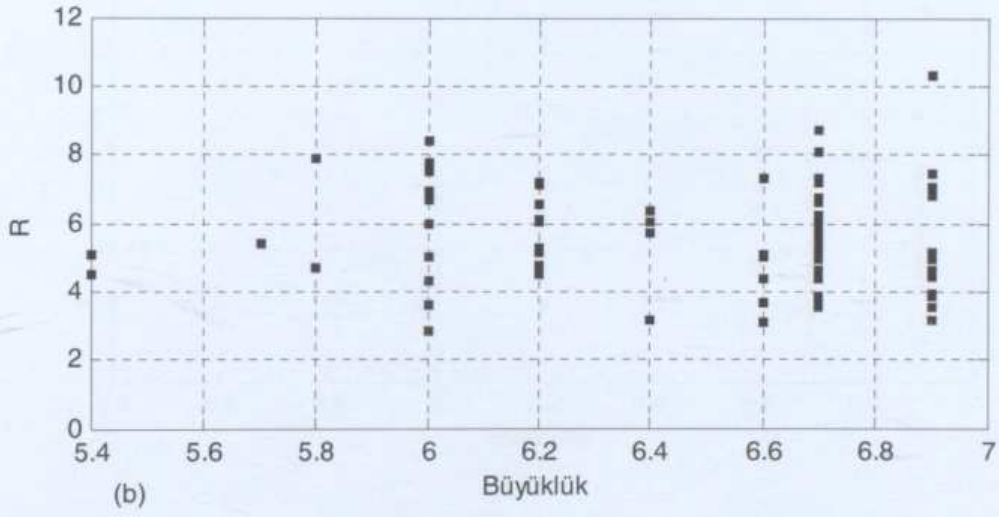
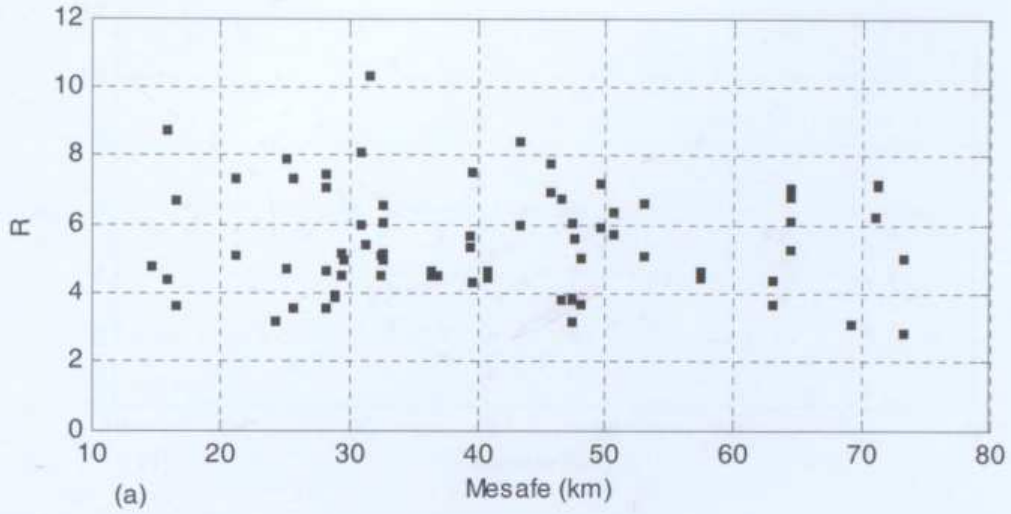
Şekil Ek 2.2 Kesmede plastikleşen 60 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



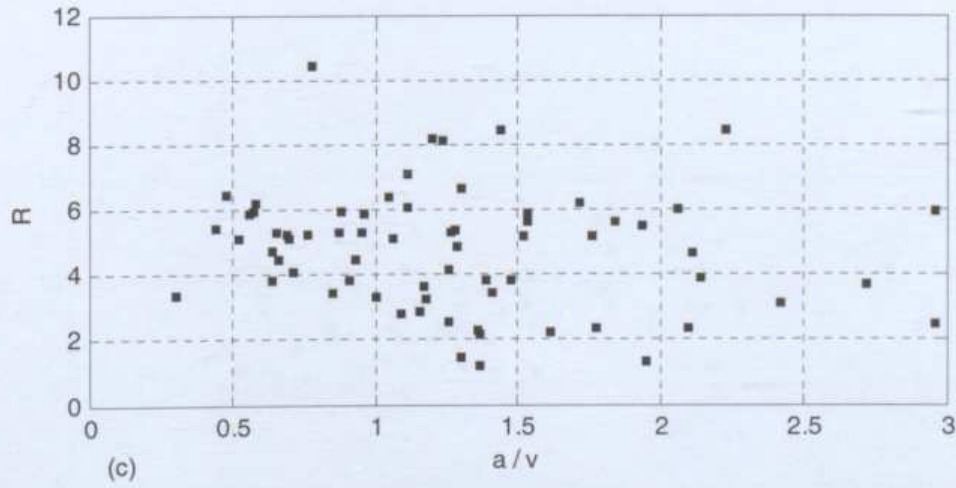
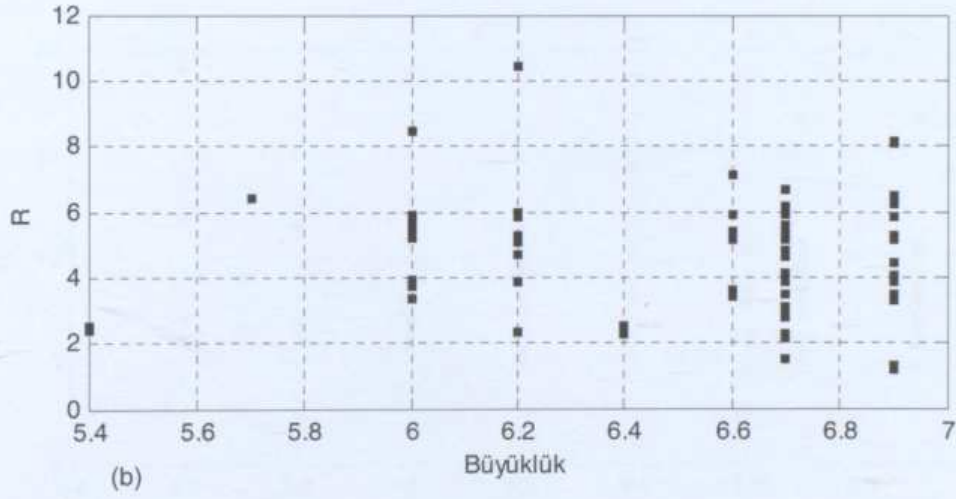
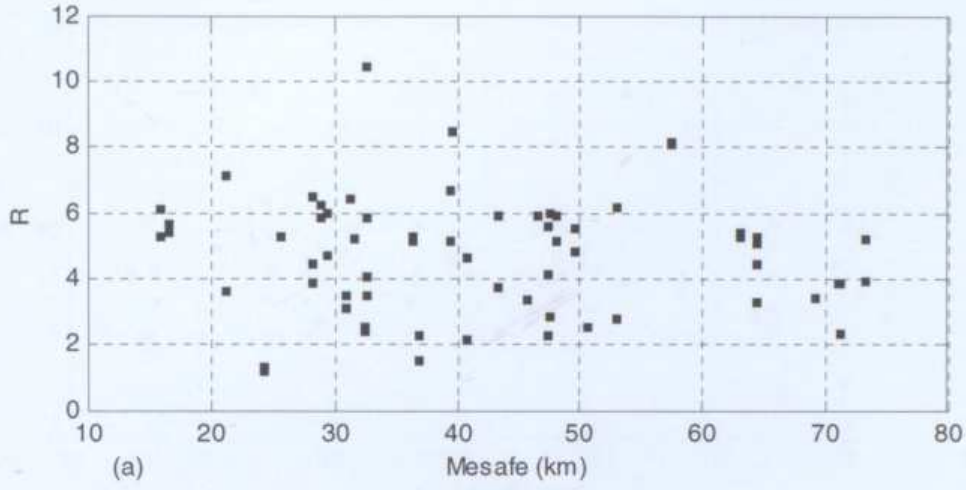
Şekil Ek 2.3 Kesmede plastikleşen 60 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



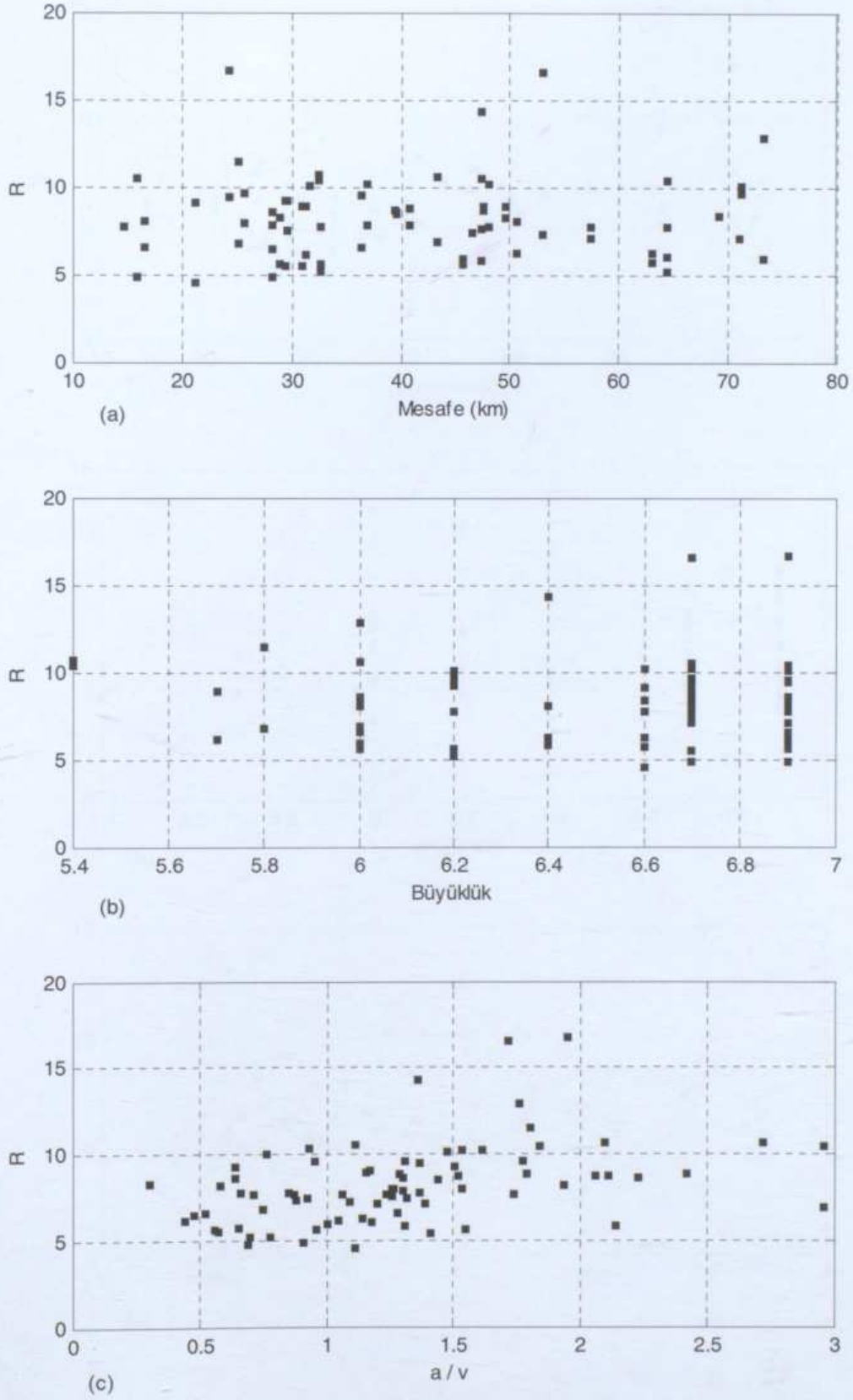
Şekil Ek 2.4 Kesmede plastikleşen 90 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



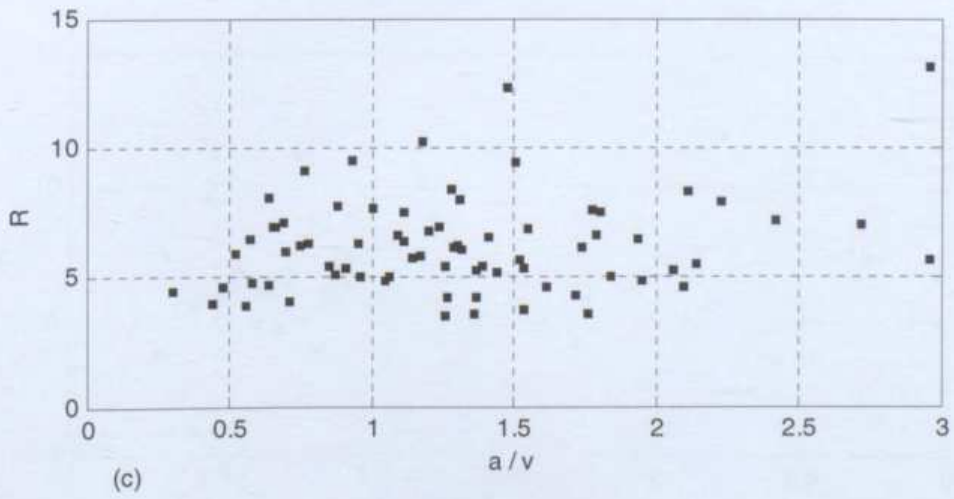
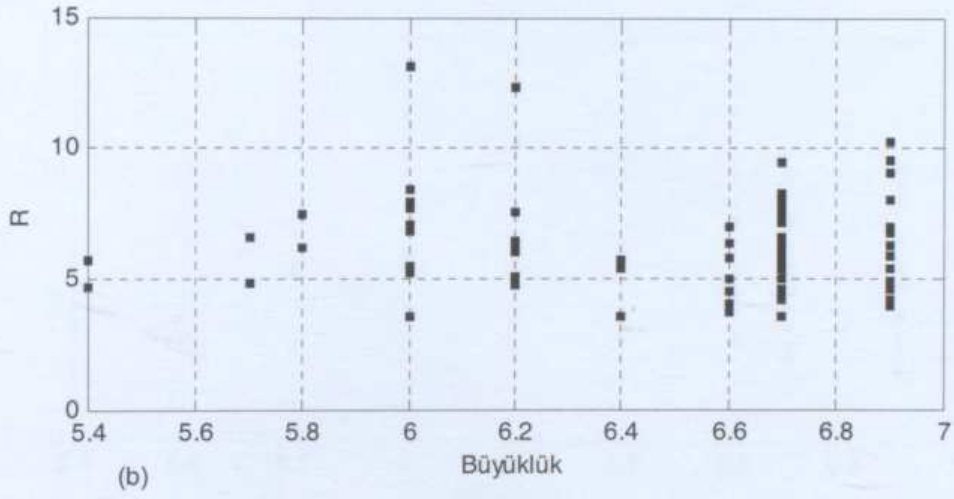
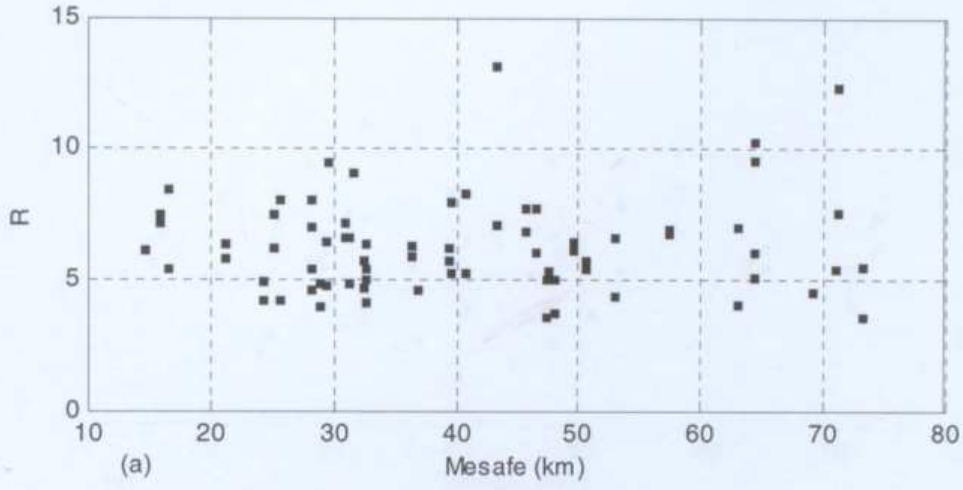
Şekil Ek 2.5 Kesmede plastikleşen 90 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



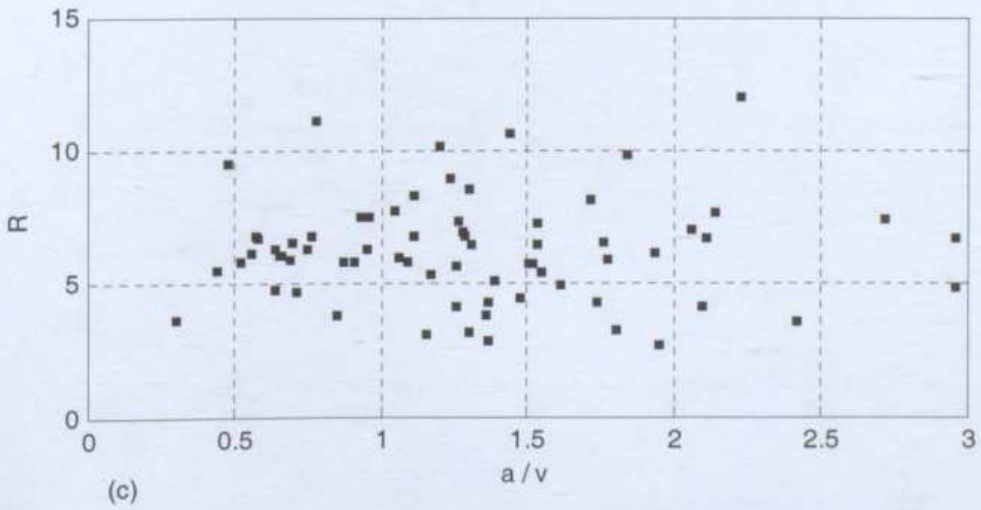
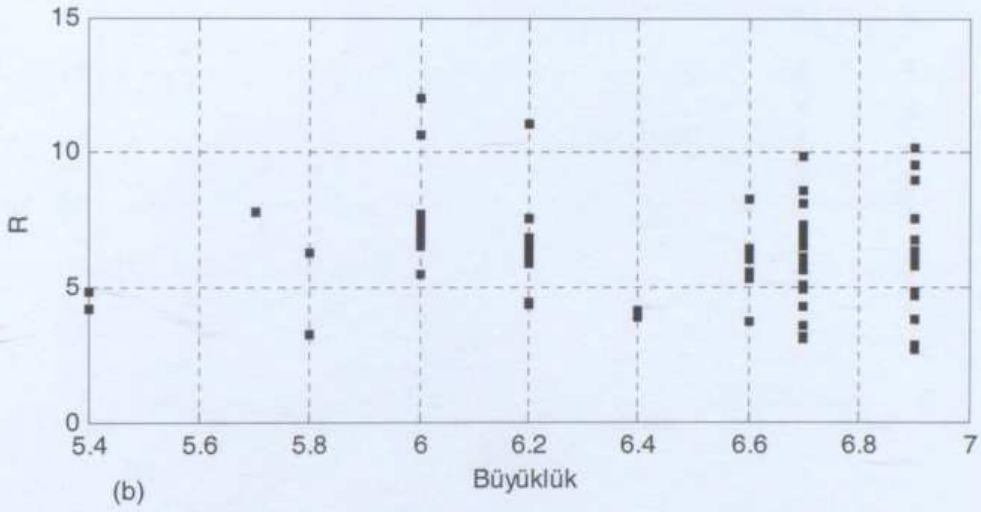
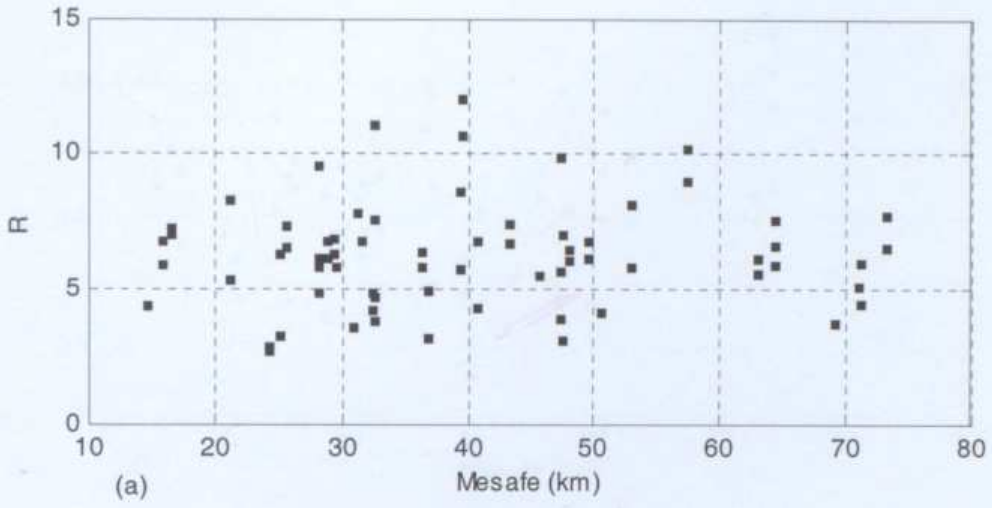
Şekil Ek 2.6 Kesmede plastikleşen 90 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



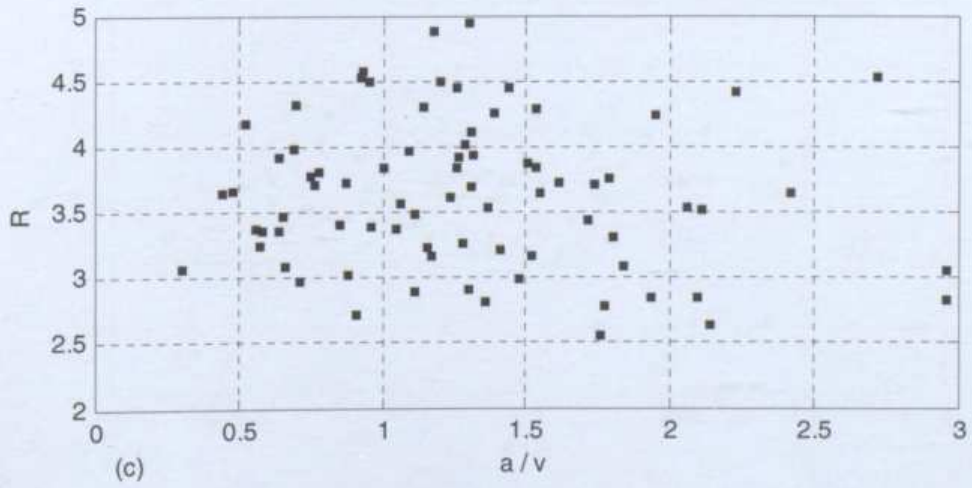
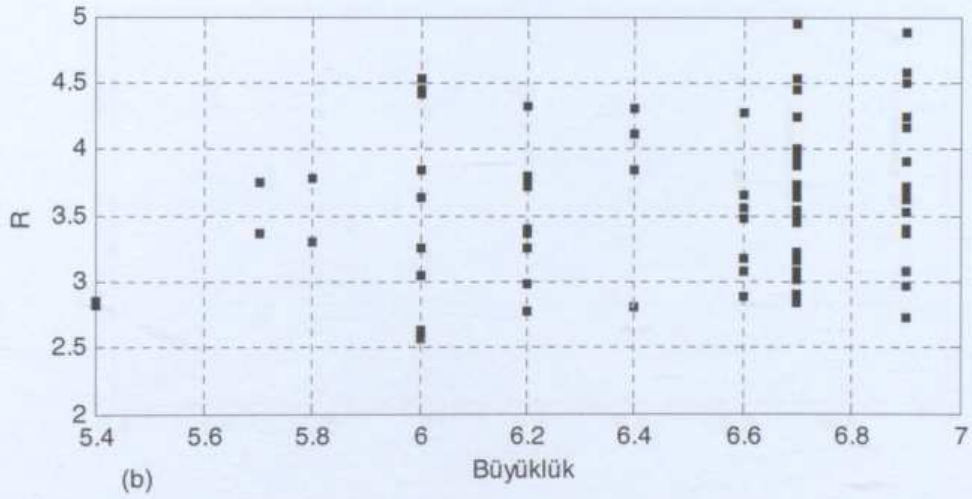
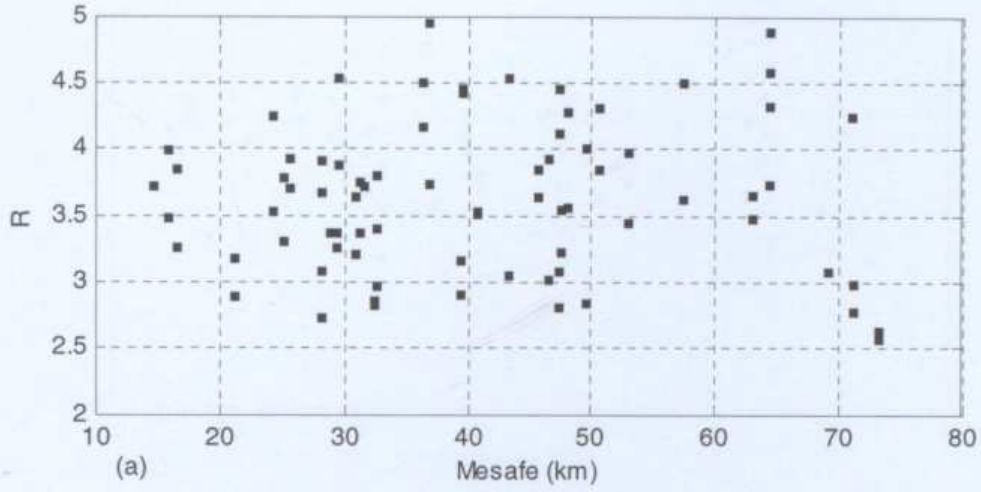
Şekil Ek 2.7 Kesmede plastikleşen 120 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



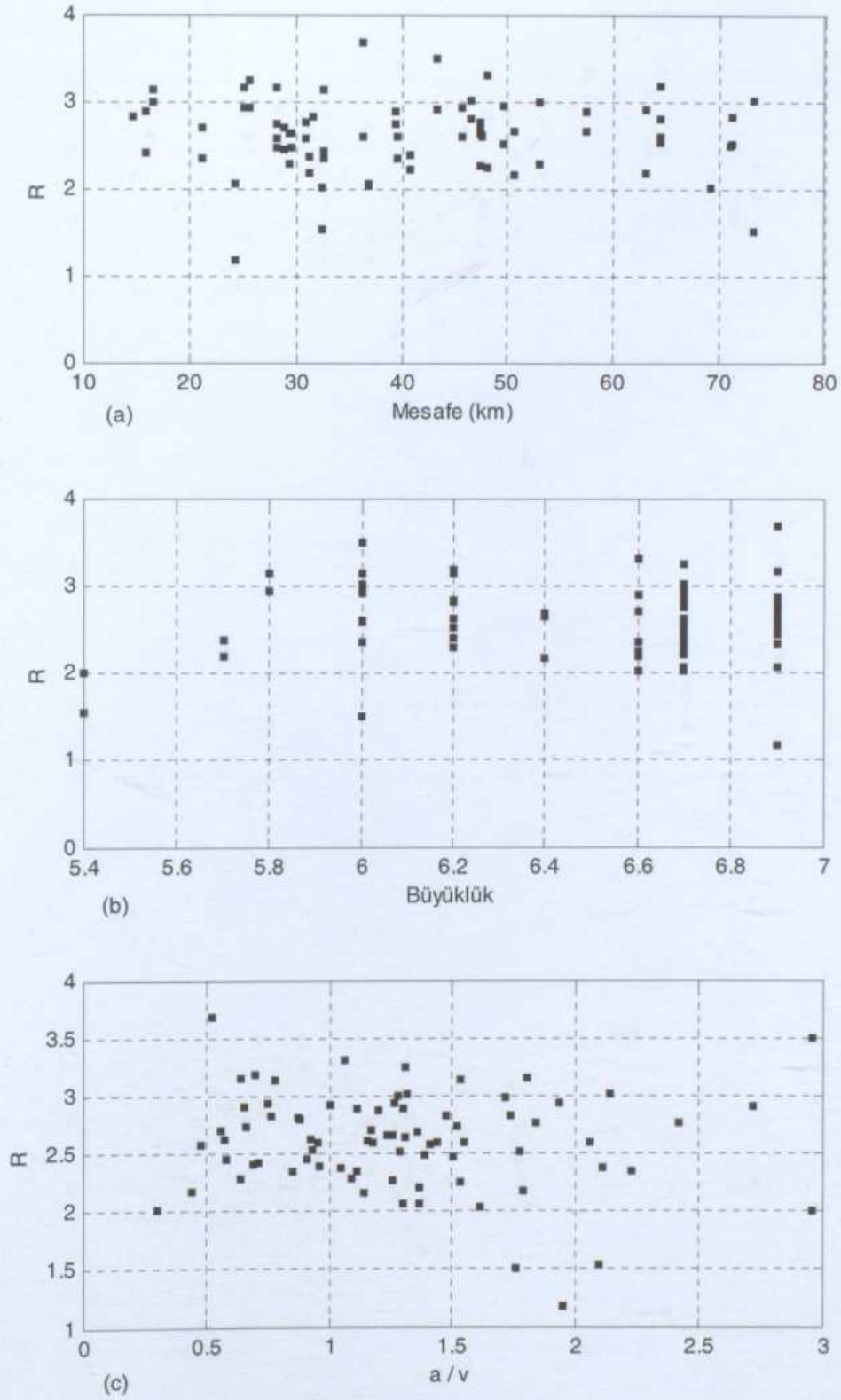
Şekil Ek 2.8 Kesmede plastikleşen 120 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



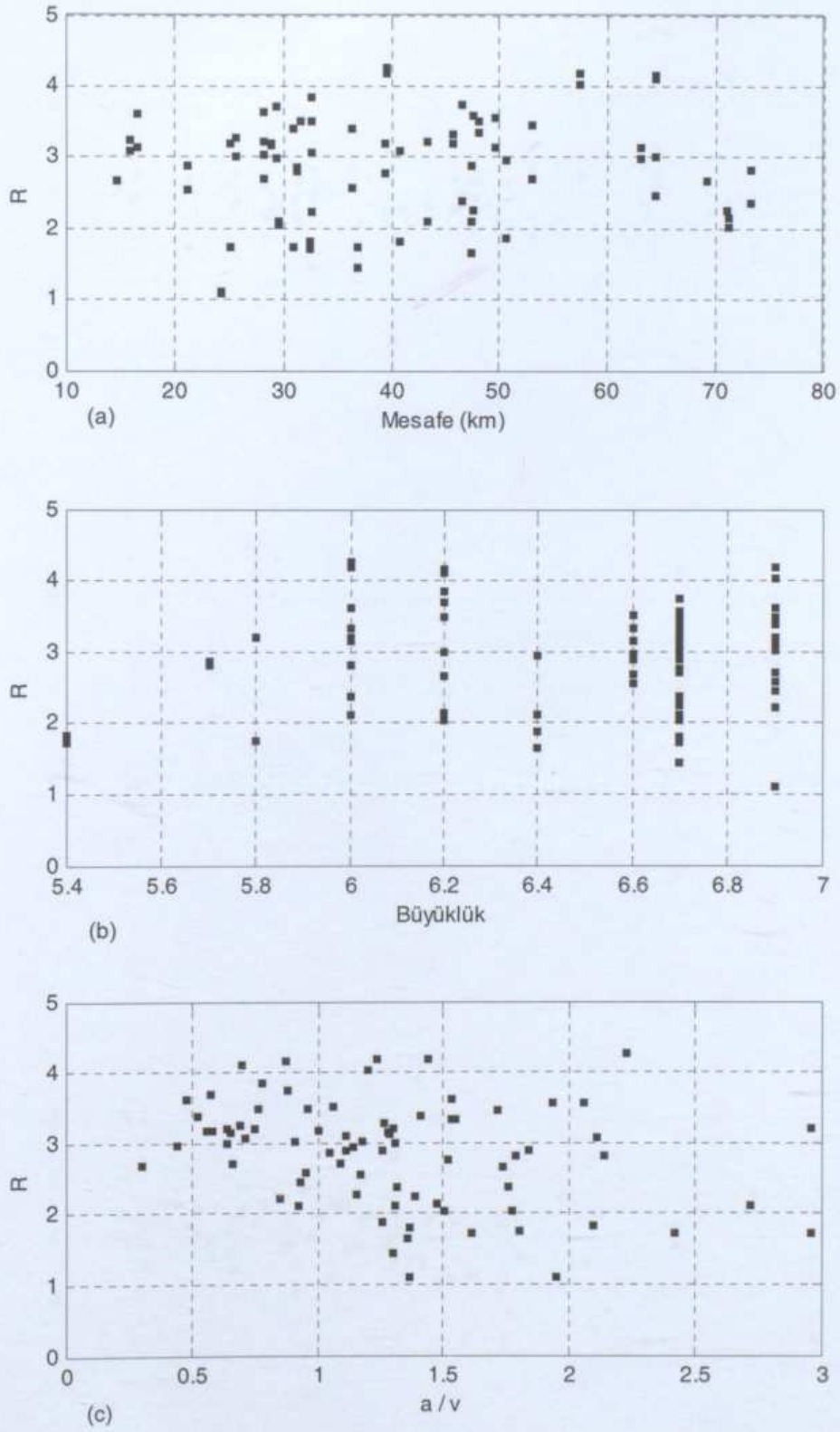
Şekil Ek 2.9 Kesmede plastikleşen 120 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



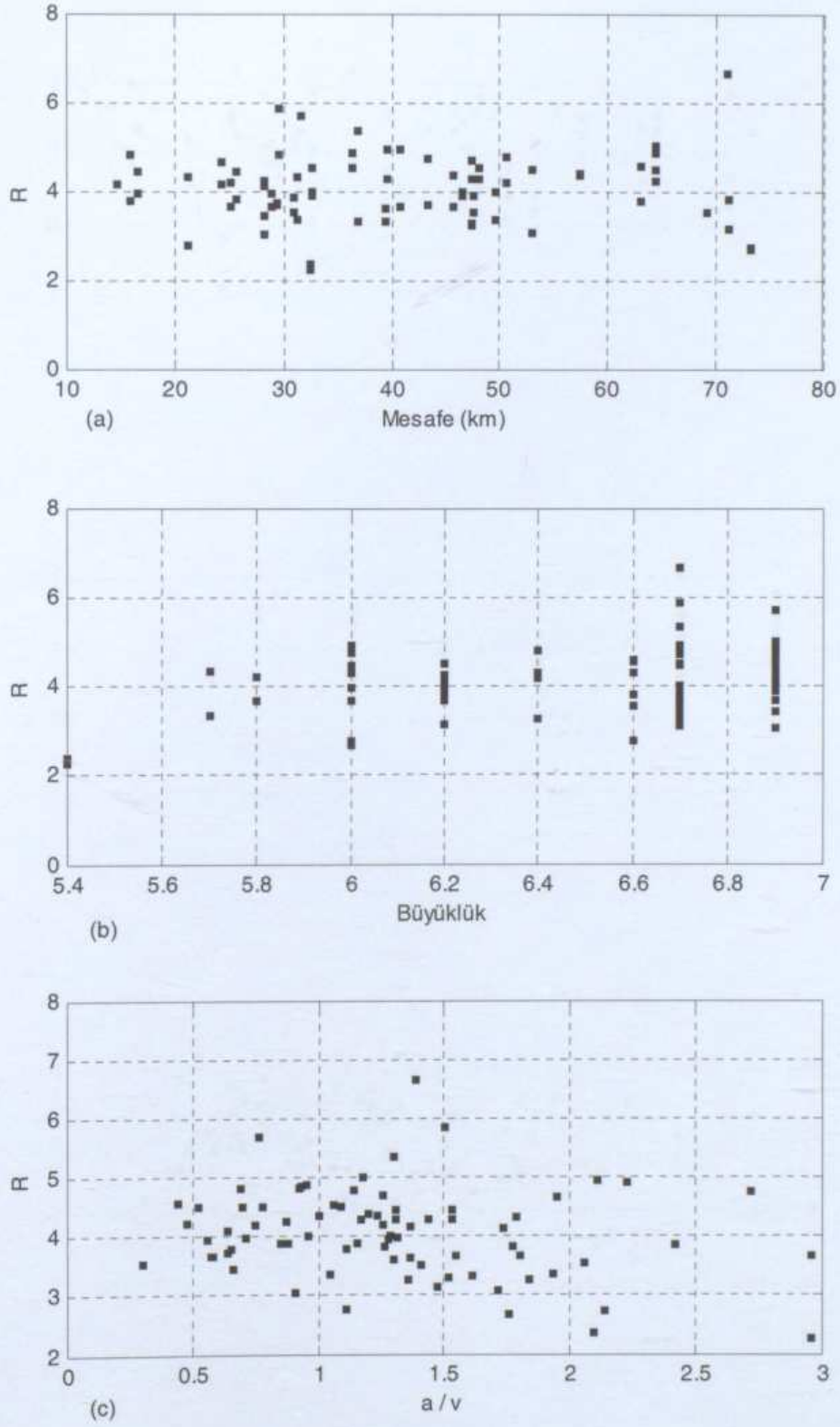
Şekil Ek 2.10 Eğilmede plastikleşen 240 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



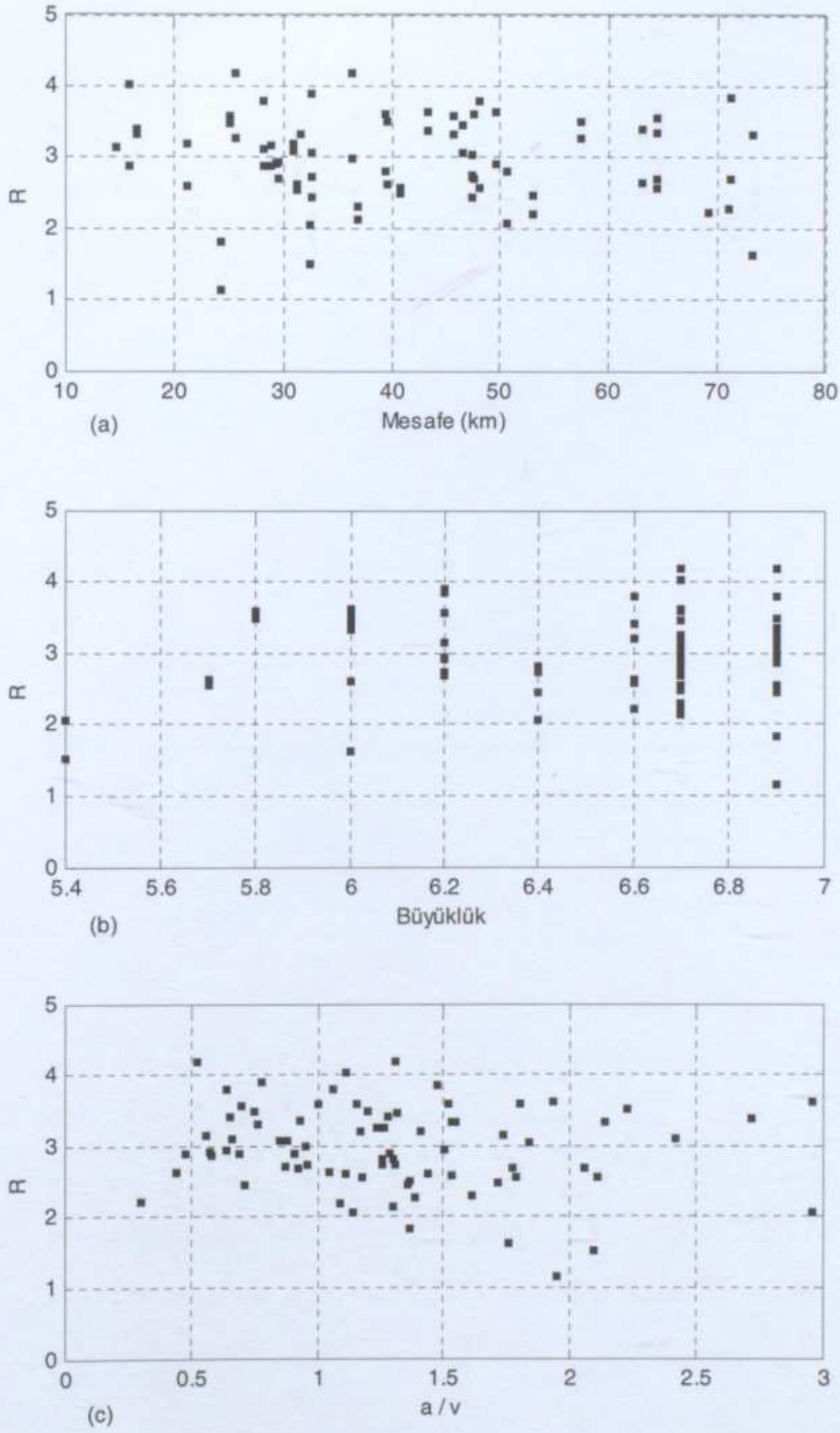
Şekil Ek 2.11 Eğilmede plastikleşen 240 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



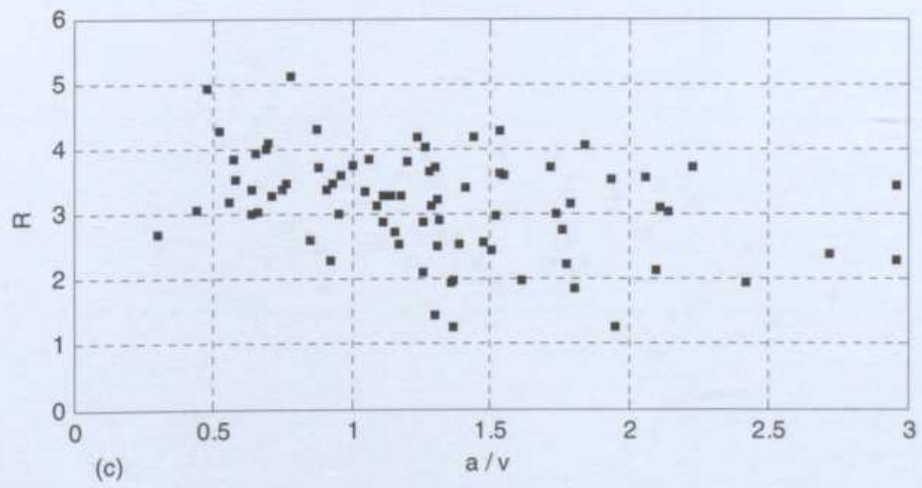
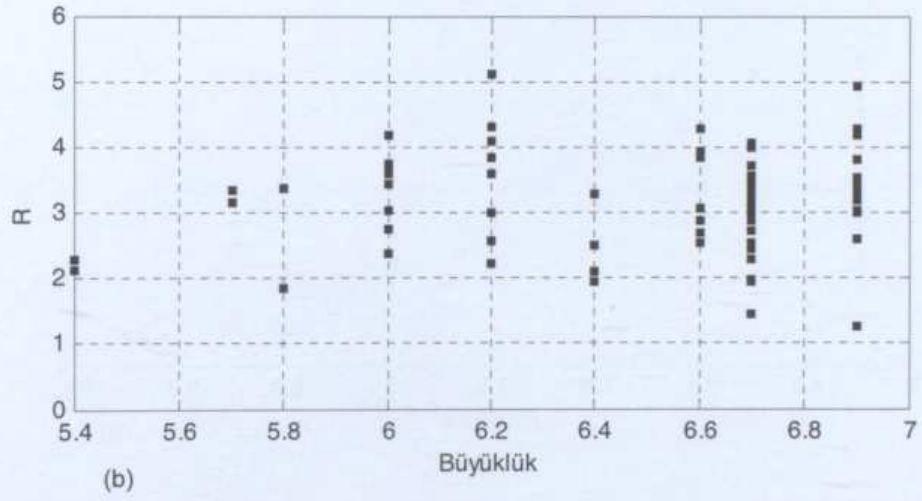
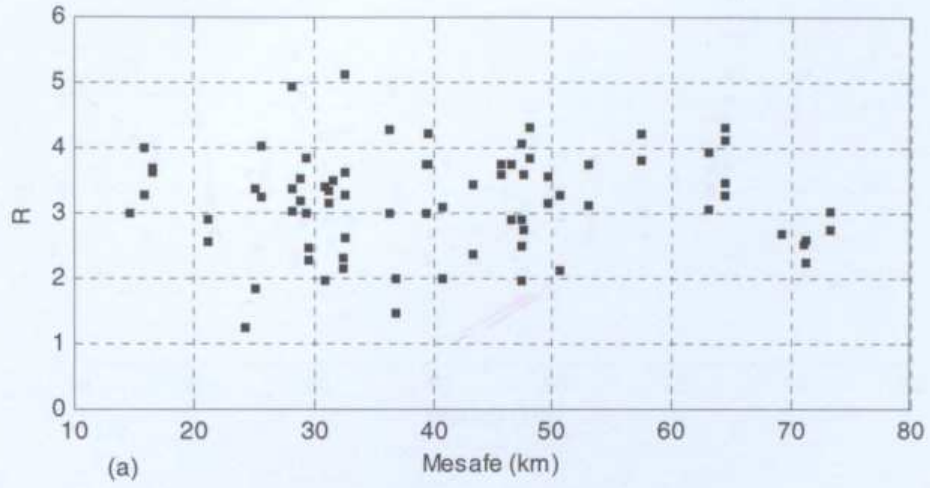
Şekil Ek 2.12 Eğilmede plastikleşen 240 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



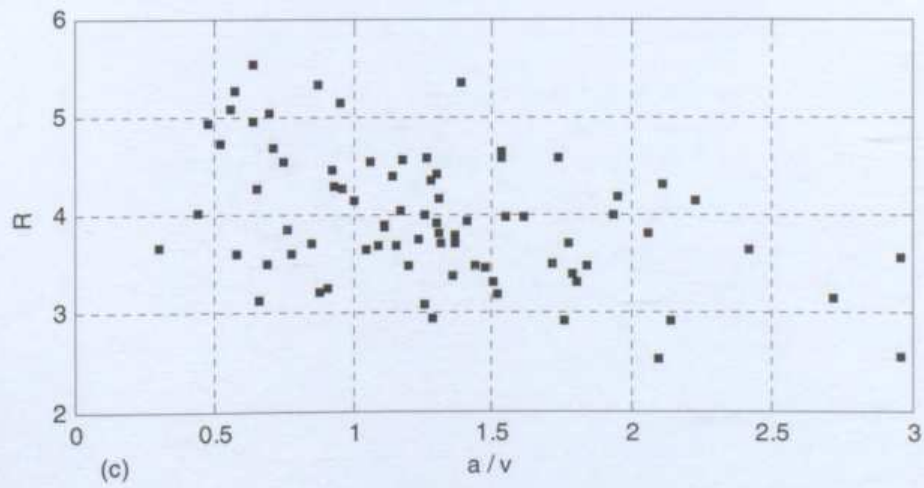
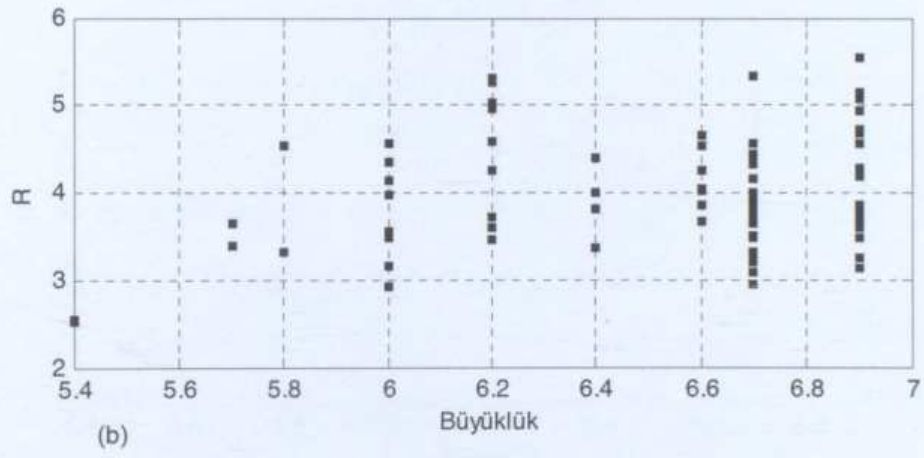
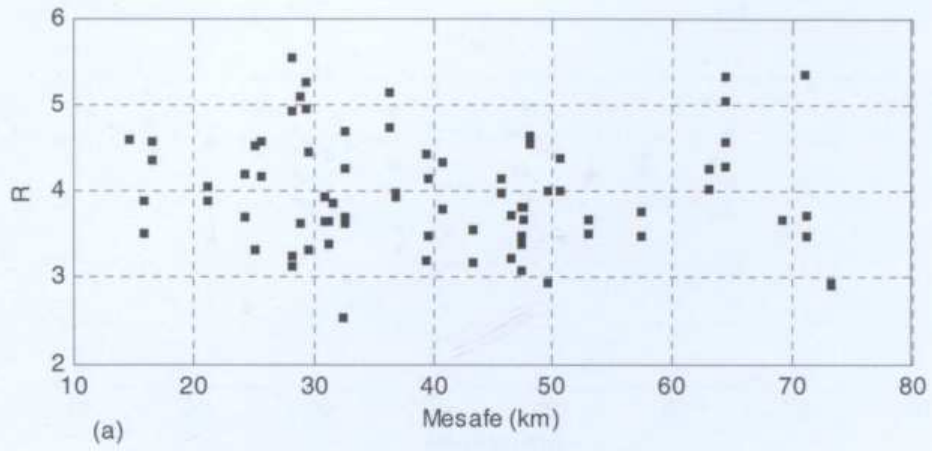
Şekil Ek 2.13 Eğilmede plastikleşen 280 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



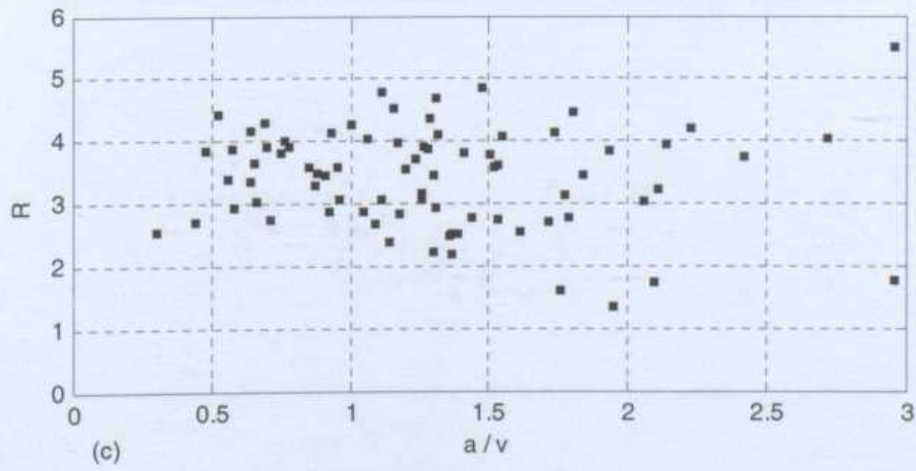
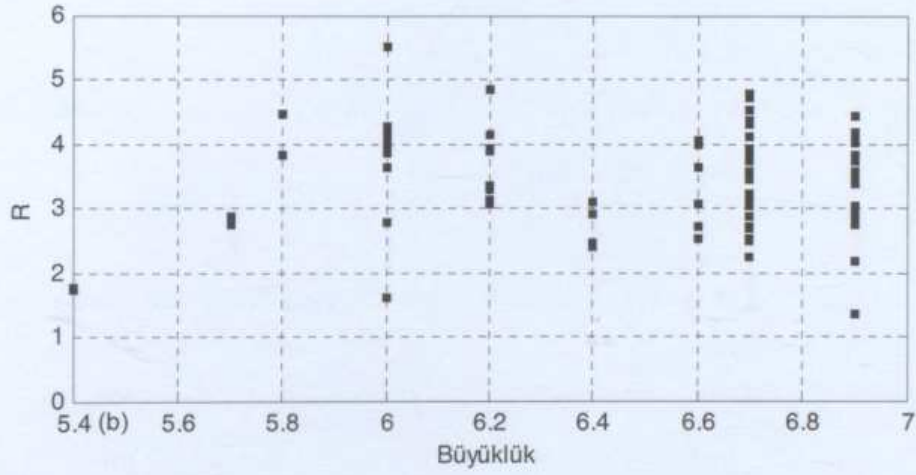
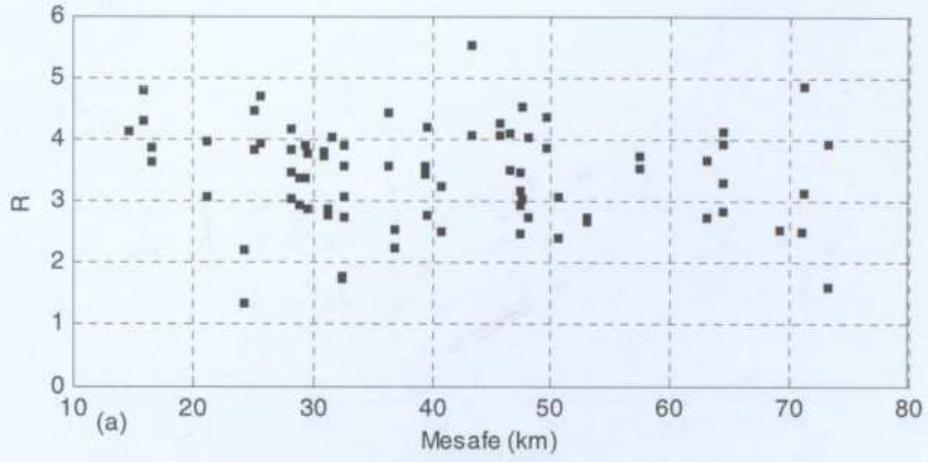
Şekil Ek 2.14 Eğilmede plastikleşen 280 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



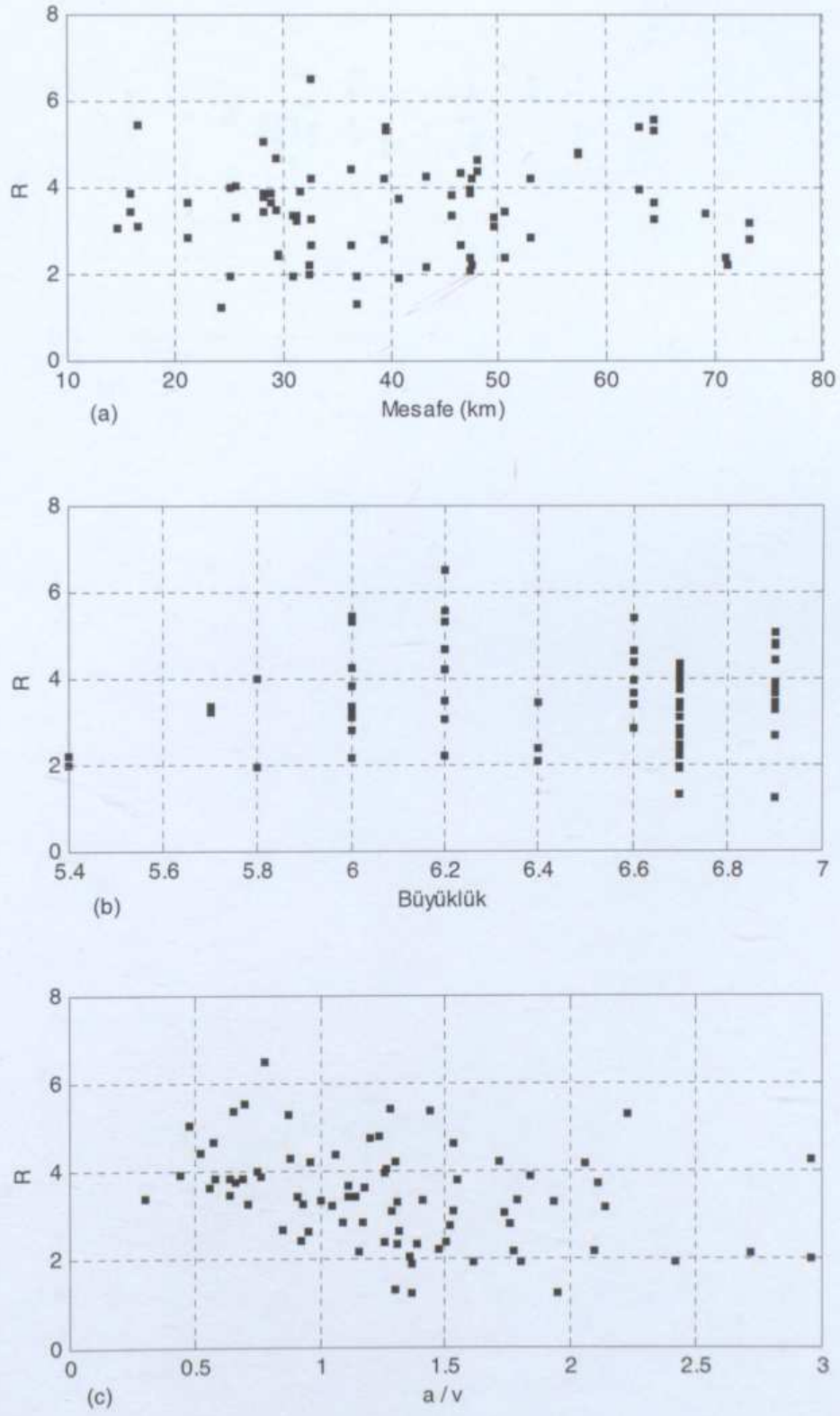
Şekil Ek 2.15 Eğilmede plastikleşen 280 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



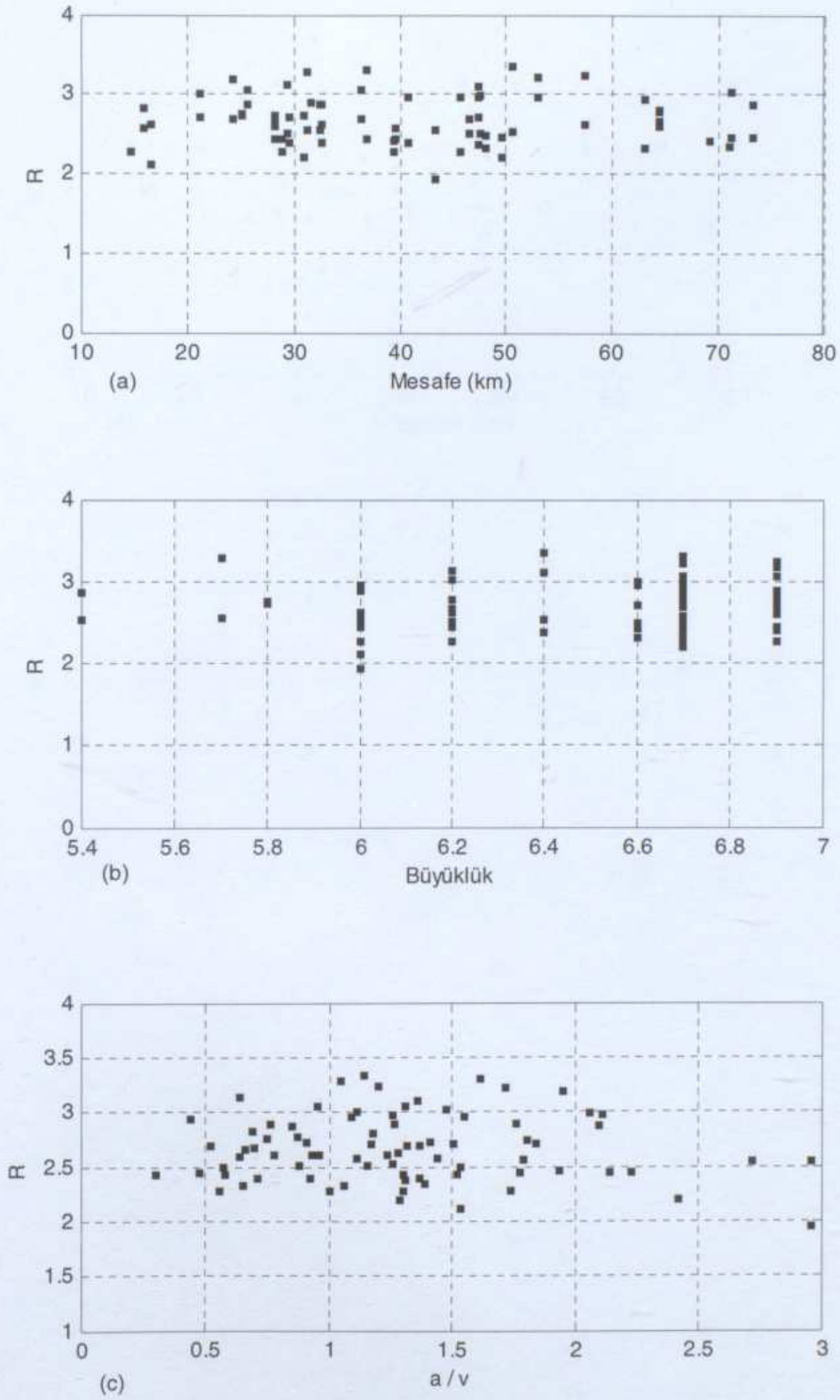
Şekil Ek 2.16 Eğilmede plastikleşen 320 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



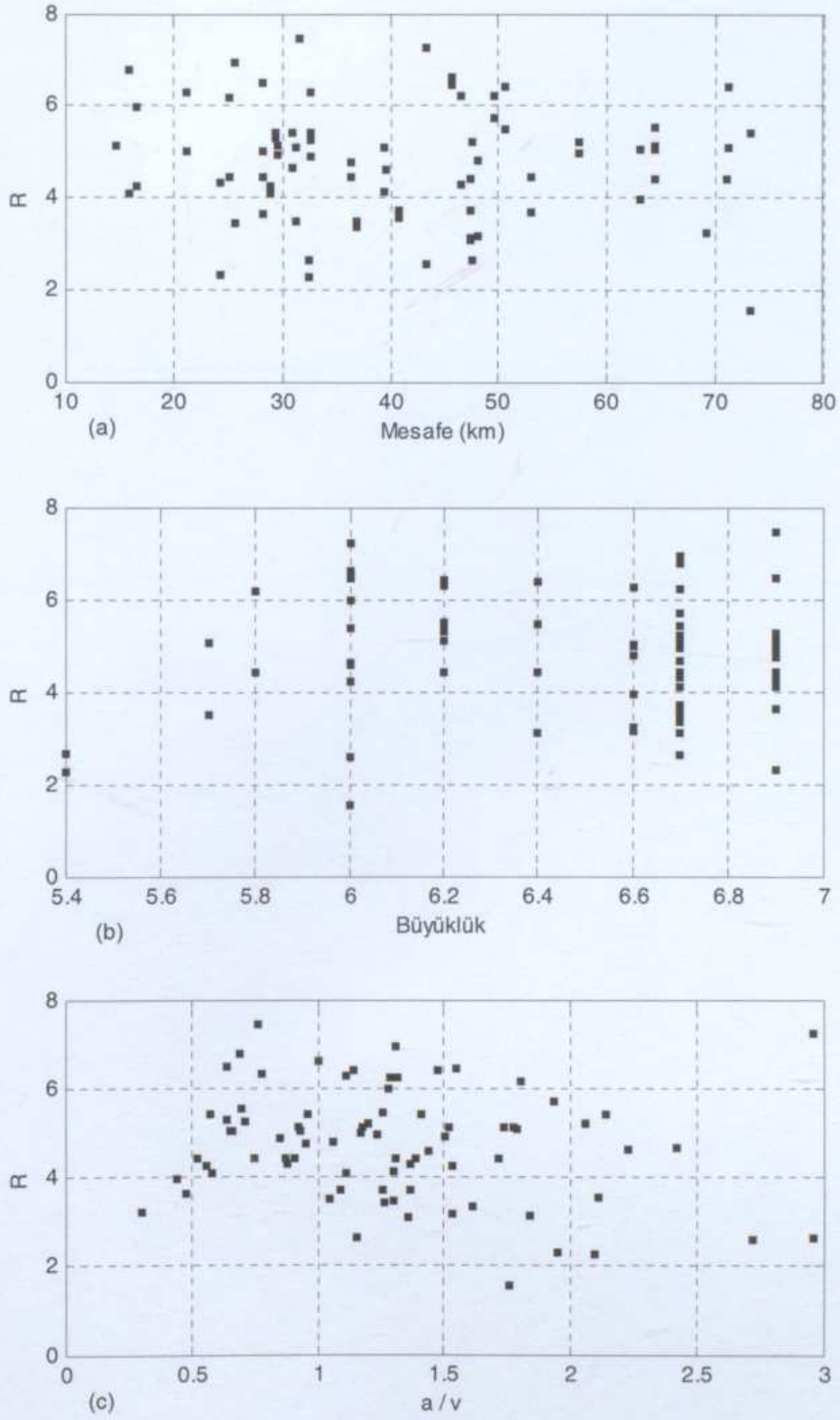
Şekil Ek 2.17 Eğilmede plastikleşen 320 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



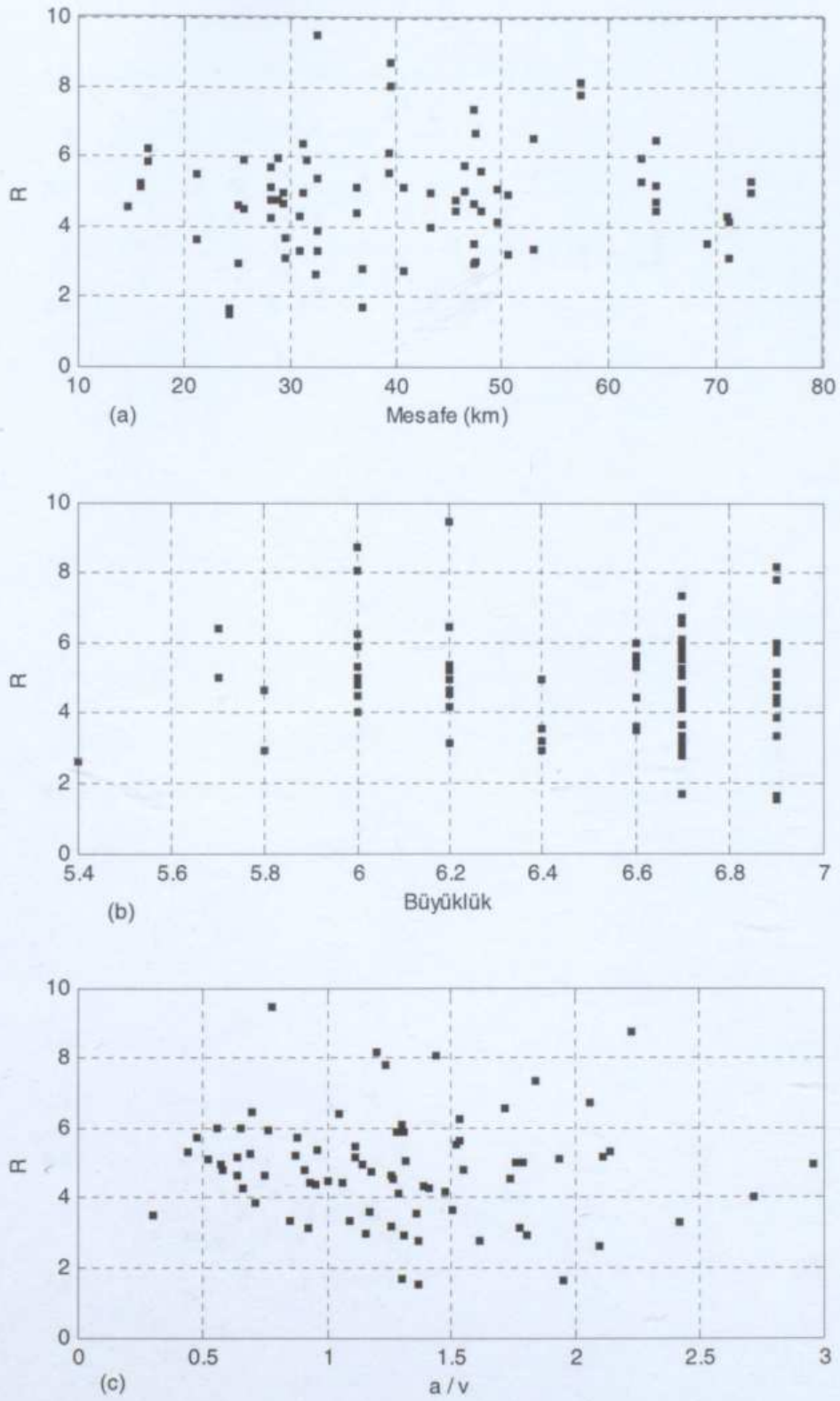
Şekil Ek 2.18 Eğilmede plastikleşen 320 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



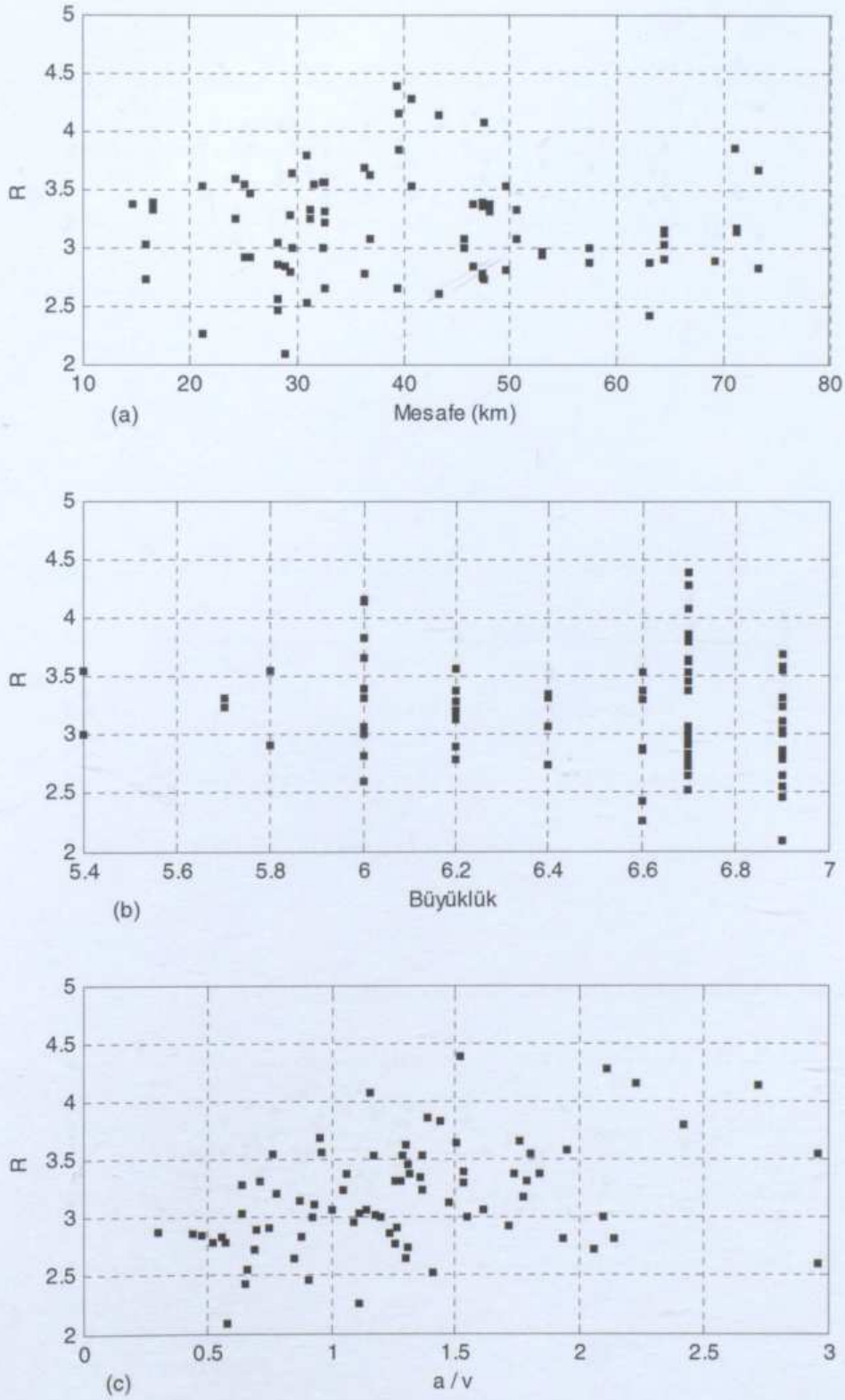
Şekil Ek 2.19 Orta uzunlukta 140 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



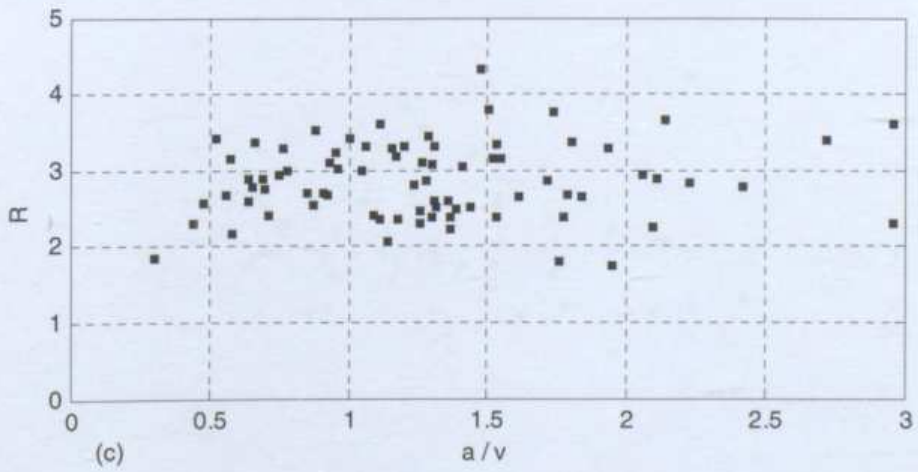
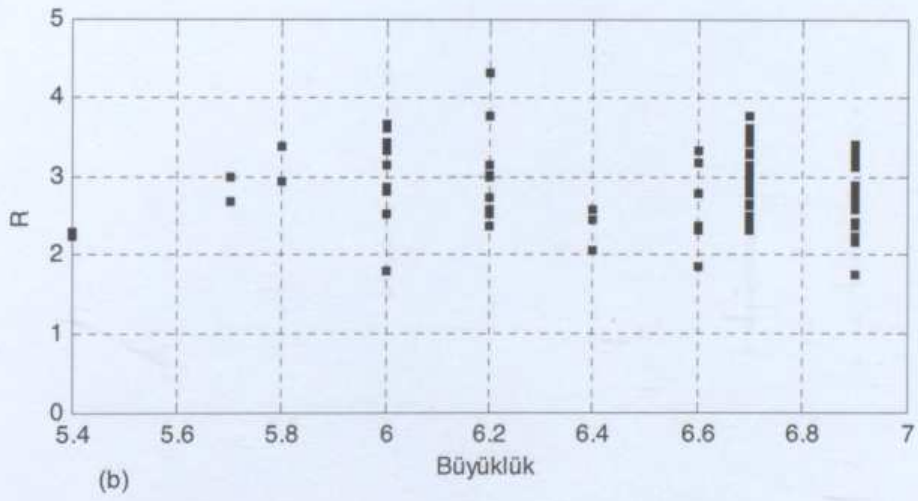
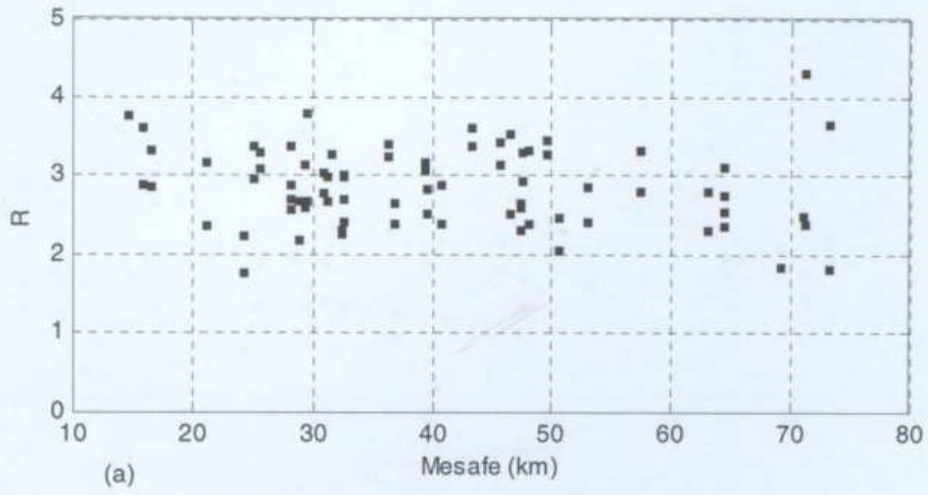
Şekil Ek 2.20 Orta uzunlukta 140 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



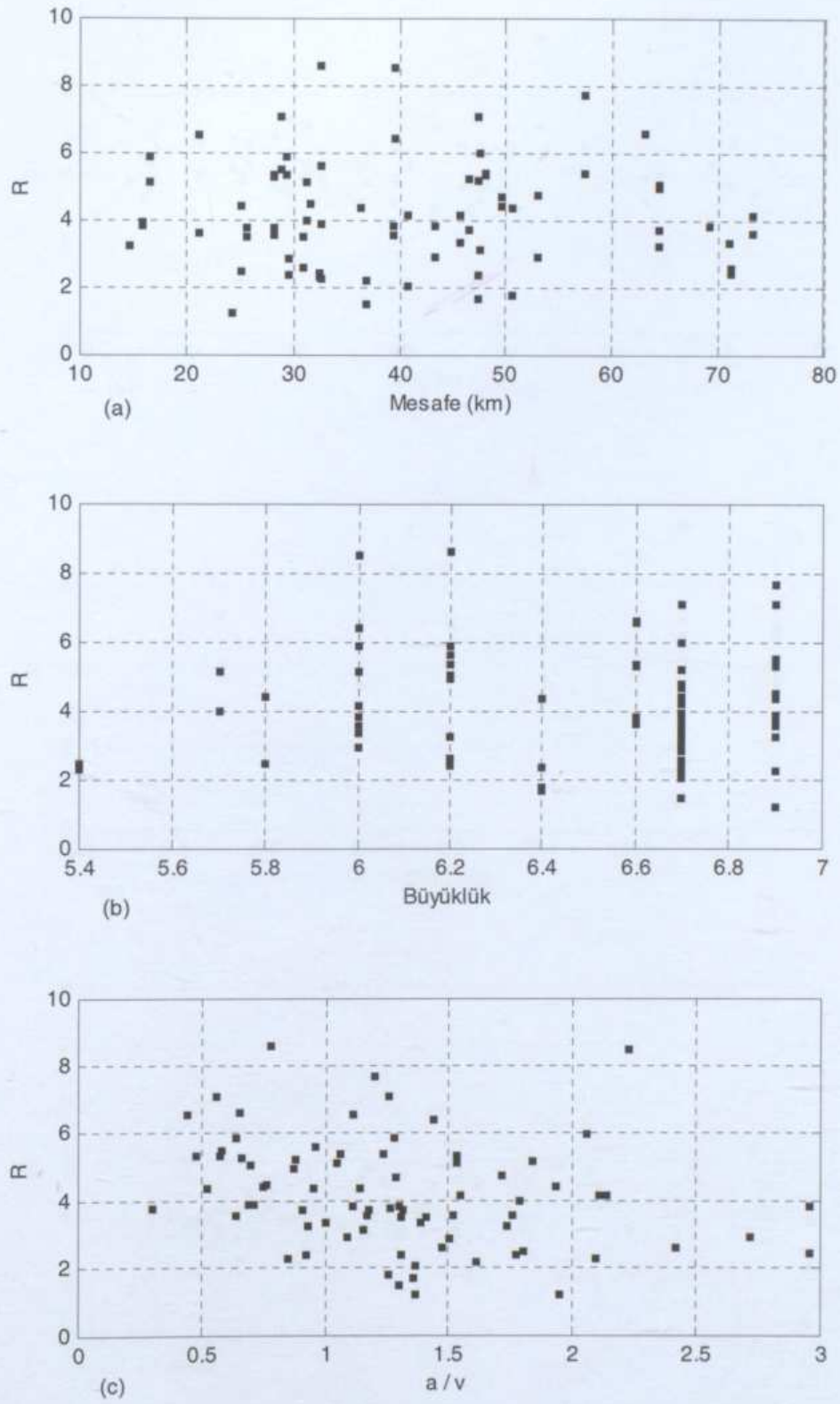
Şekil Ek 2.21 Orta uzunlukta 150 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



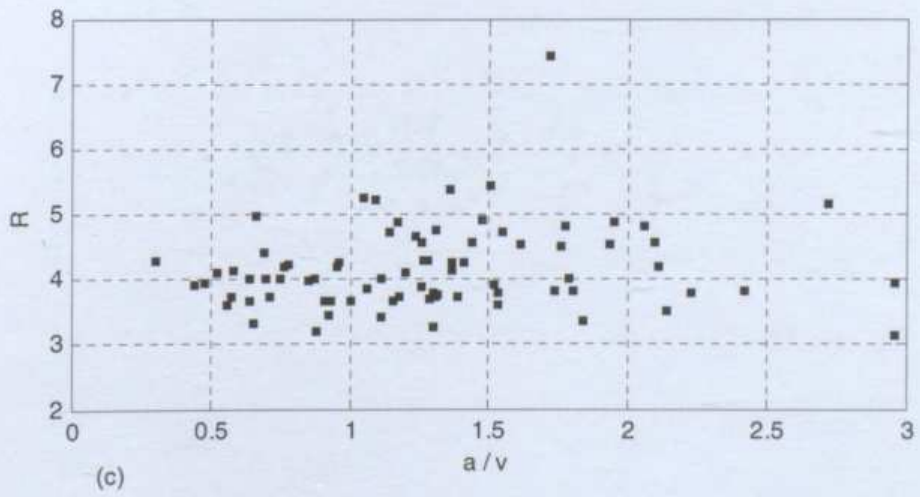
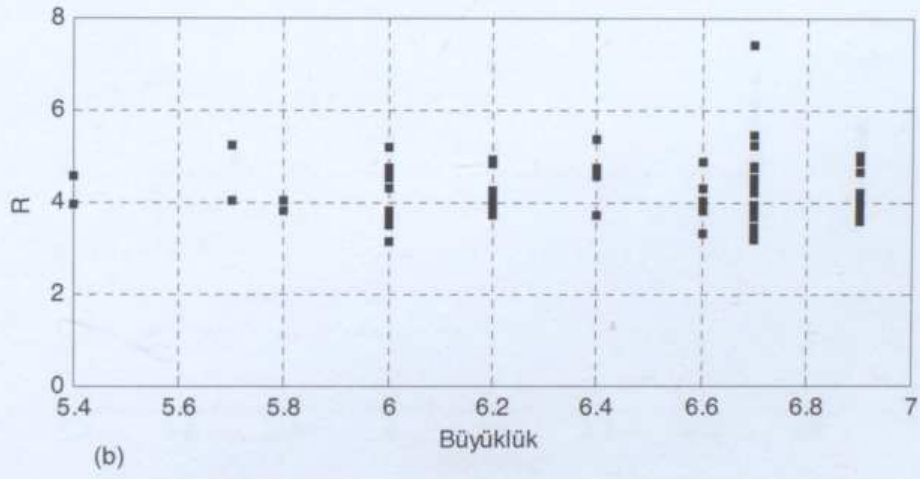
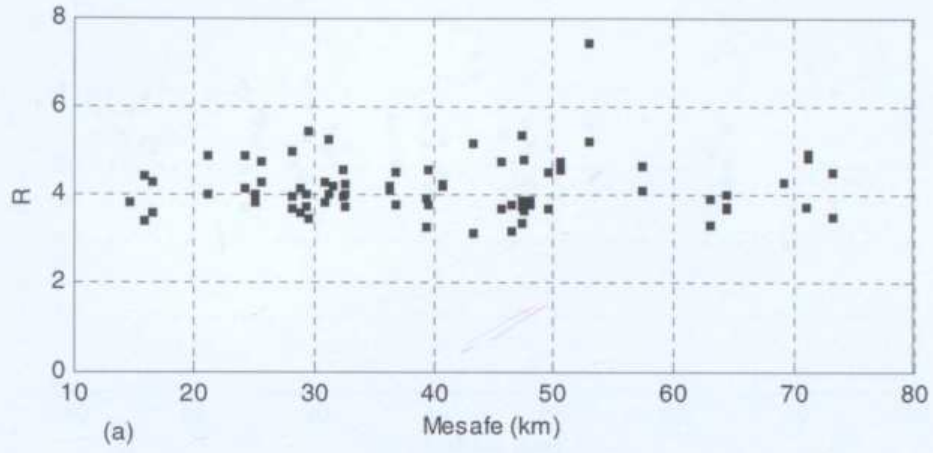
Şekil Ek 2.22 Orta uzunlukta 180 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



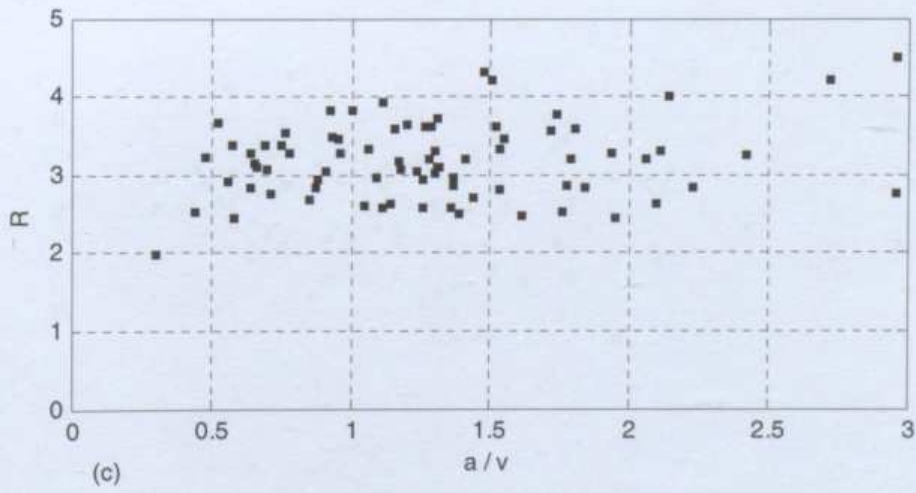
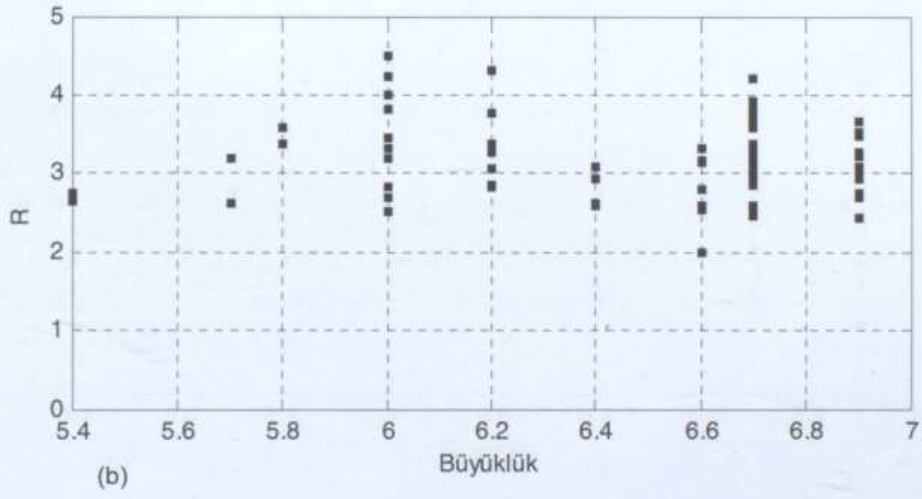
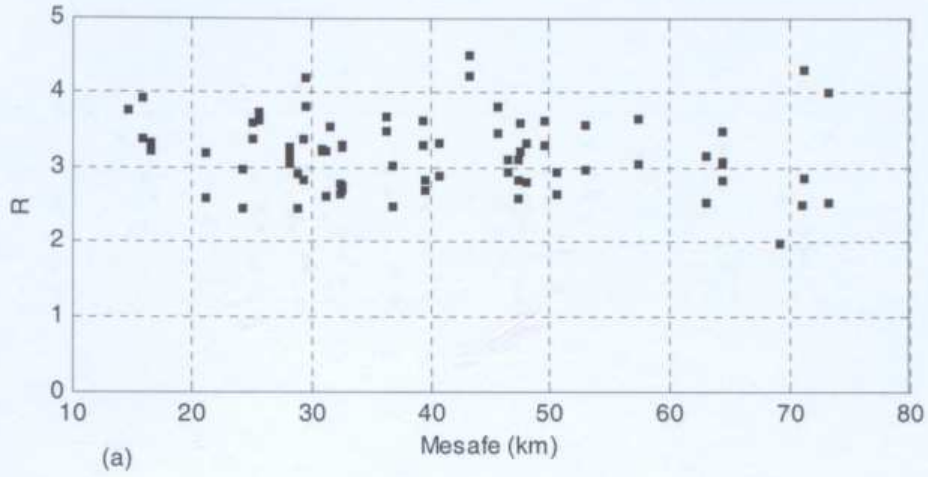
Şekil Ek 2.23 Orta uzunlukta 180 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



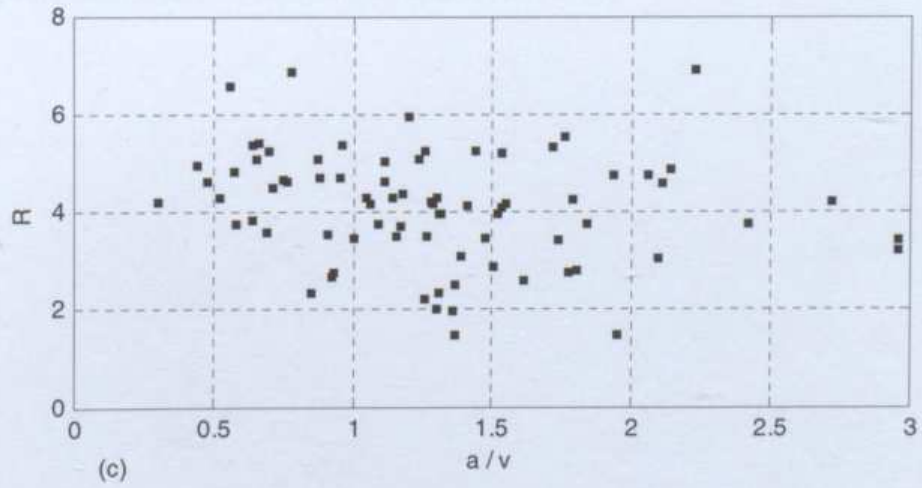
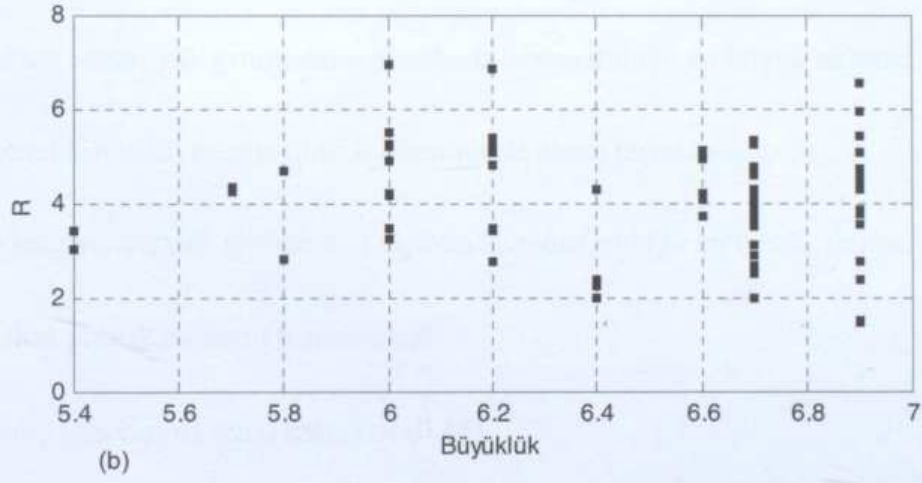
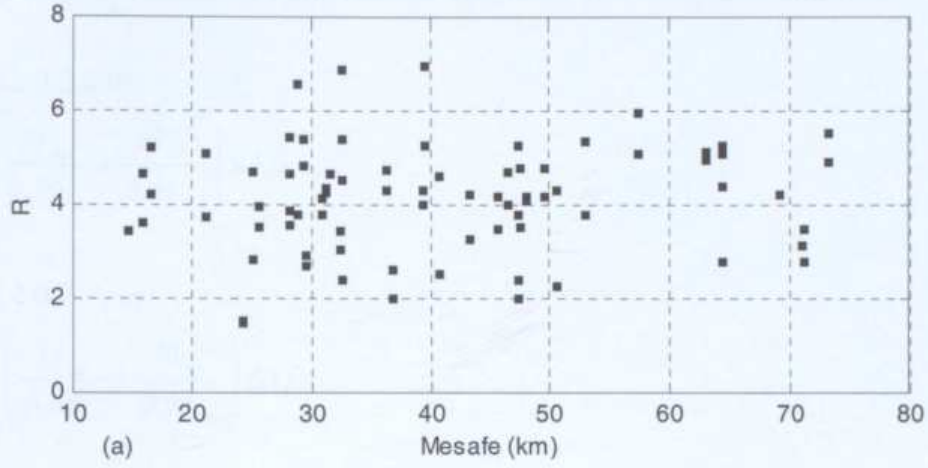
Şekil Ek 2.24 Orta uzunlukta 180 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



Şekil Ek 2.25 Orta uzunlukta 220 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 3 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



Şekil Ek 2.26 Orta uzunlukta 220 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 6 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı



Şekil Ek 2.27 Orta uzunlukta 220 cm'lik bağ kirişli ve 8 m açıklıklı 9 katlı DÇÇ'nin R katsayıları ve kullanılan depremlerin (a) Uzaklığı (km) (b) Büyüklüğü (moment) (c) a/v oranı

Ek 3 Kiriş-Kolon Elemanlarının LRFD Yöntemiyle Boyutlandırılması

Tek ya da çift simetri eksenine sahip kesitler aşağıdaki gibi hesaplanmalıdırlar:

$P_u / (\phi \times P_n) \geq 0,2$ için

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

$P_u / (\phi \times P_n) < 0,2$ için

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

Bu denklemlerdeki terimler:

P_u : Dikkate alınan yük grubunun o elemanda neden olduğu en büyük eksenel kuvvet

P_n : Eksenel kuvvetin çekme olması durumunda akma taşıma gücü

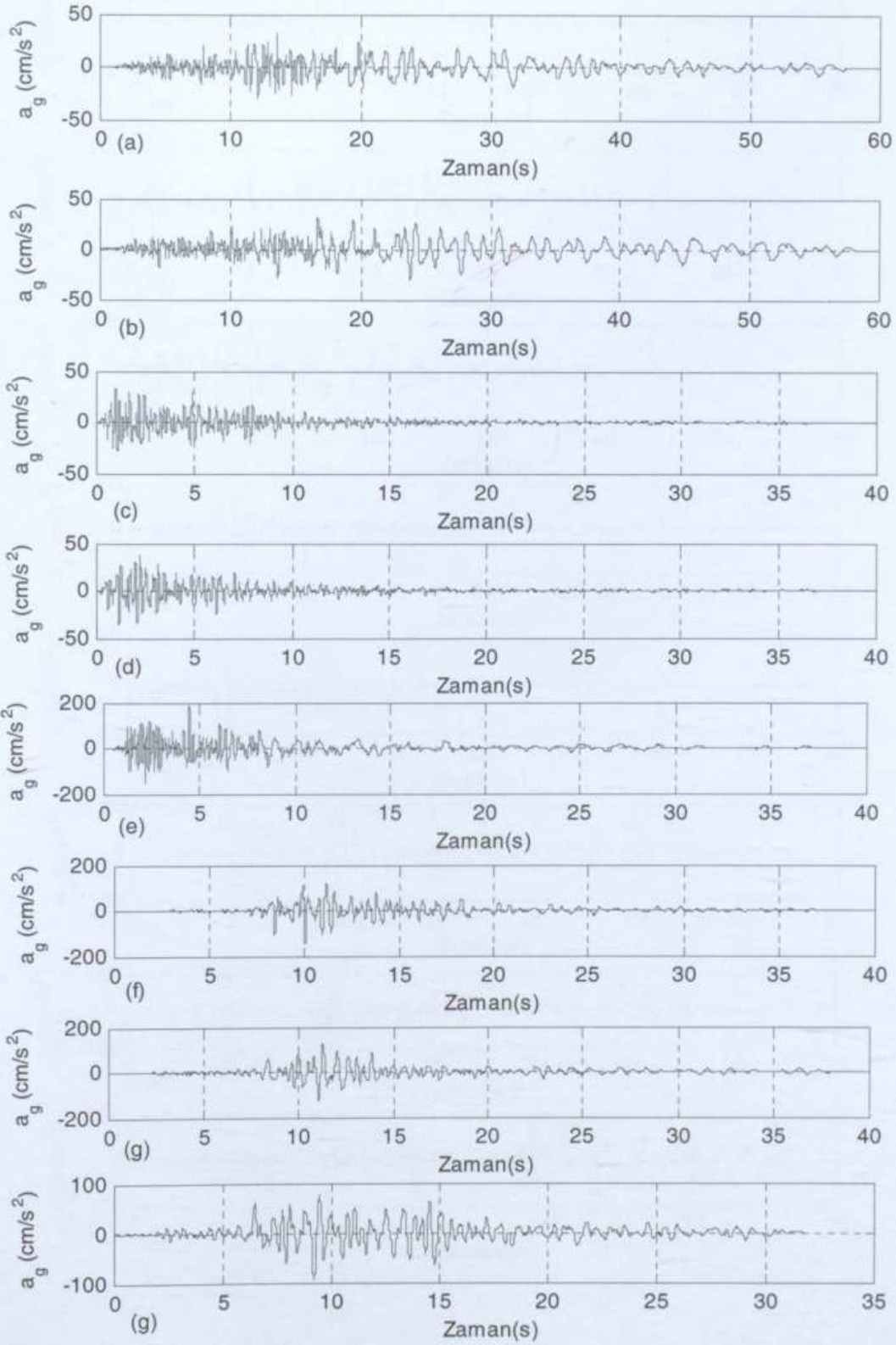
M_u : Dikkate alınan yük grubunun o elemanda neden olduğu en büyük moment

M_n : Kesitin plastik moment taşıma gücü

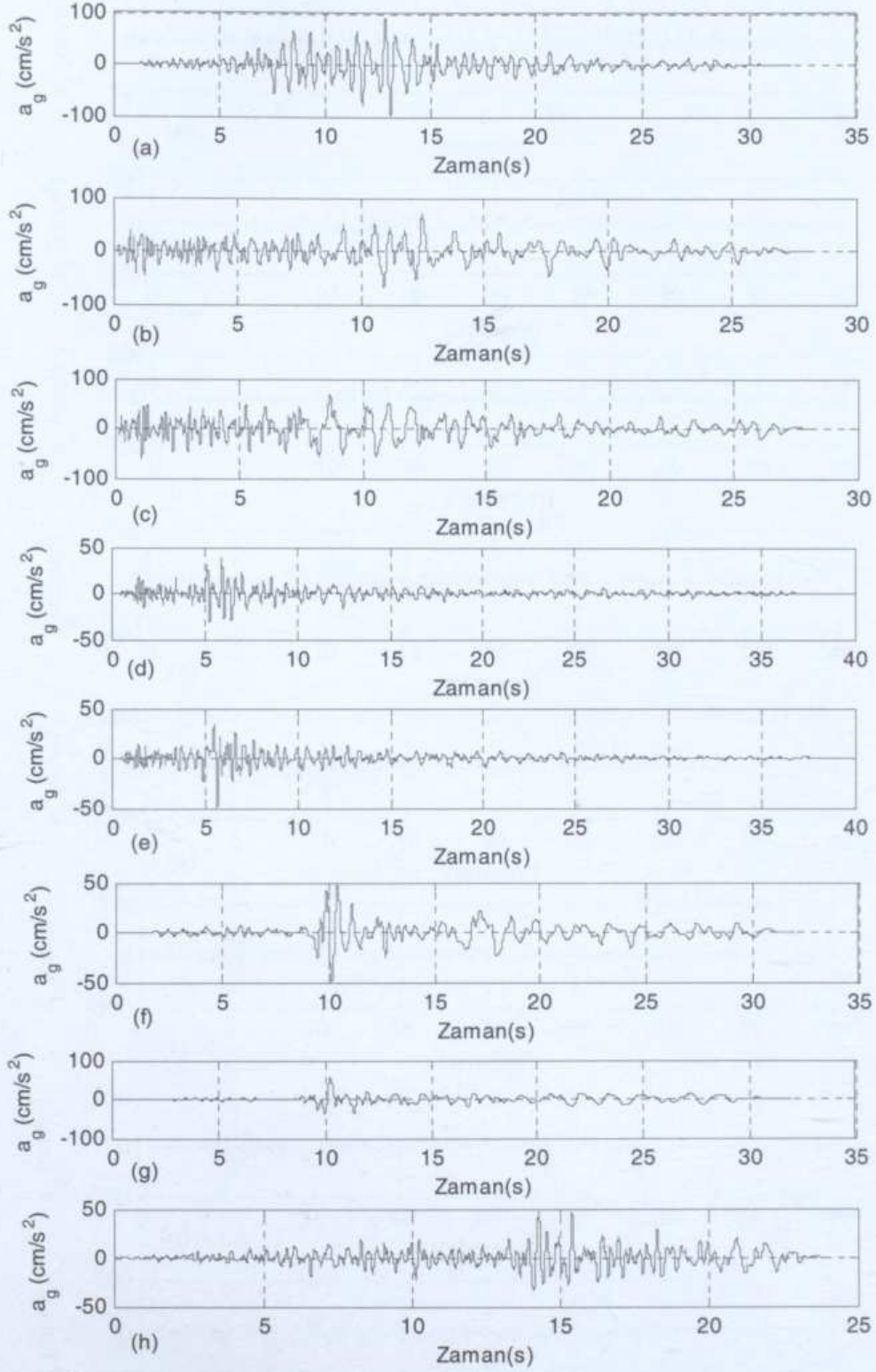
$\phi = \phi_c$: Basınç için taşıma gücü katsayısı (0,85)

ϕ_b : Eğilme momenti için taşıma gücü katsayısı (0,90)

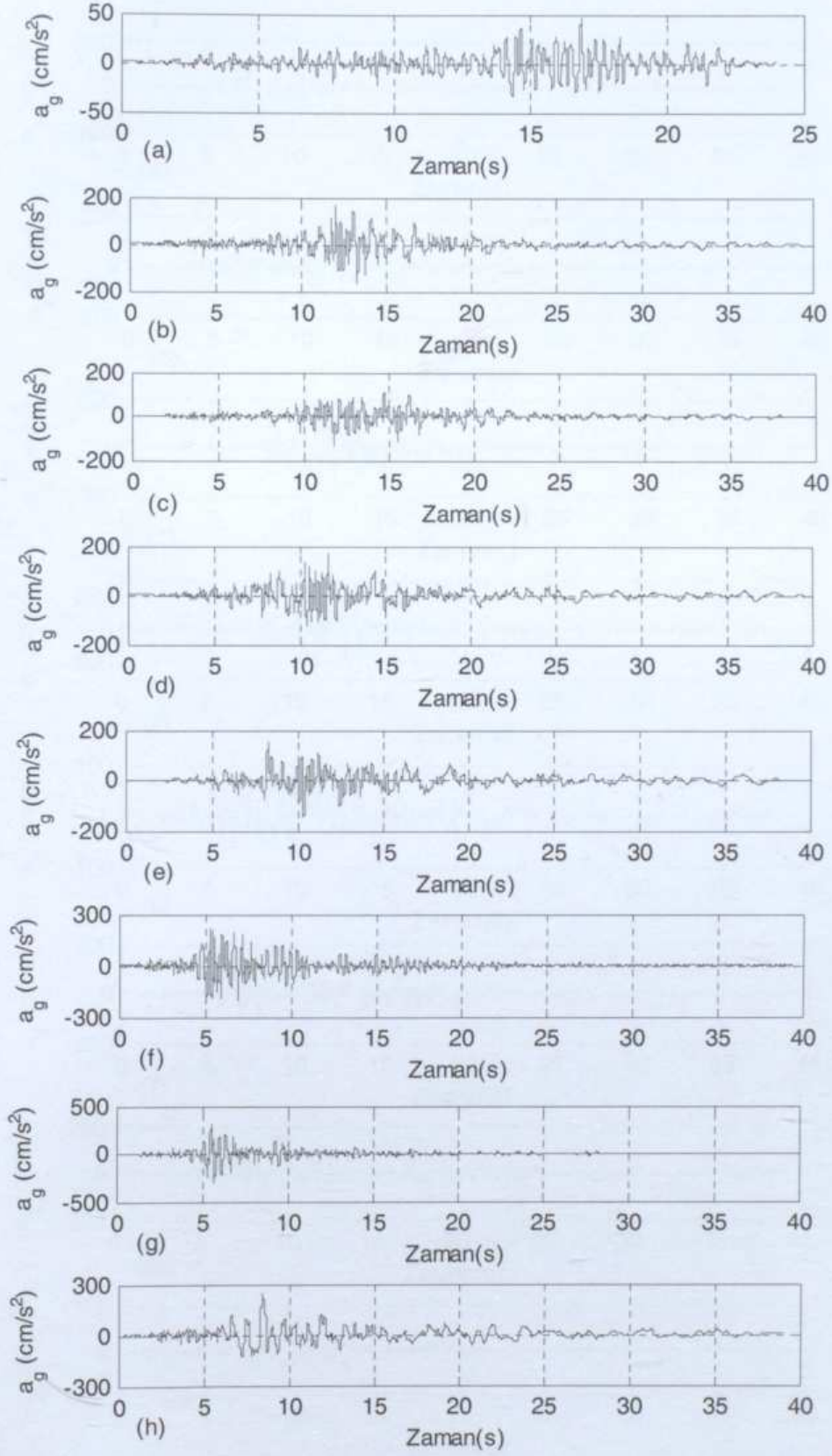
Ek 4 Kullanılan deprem kayıtları



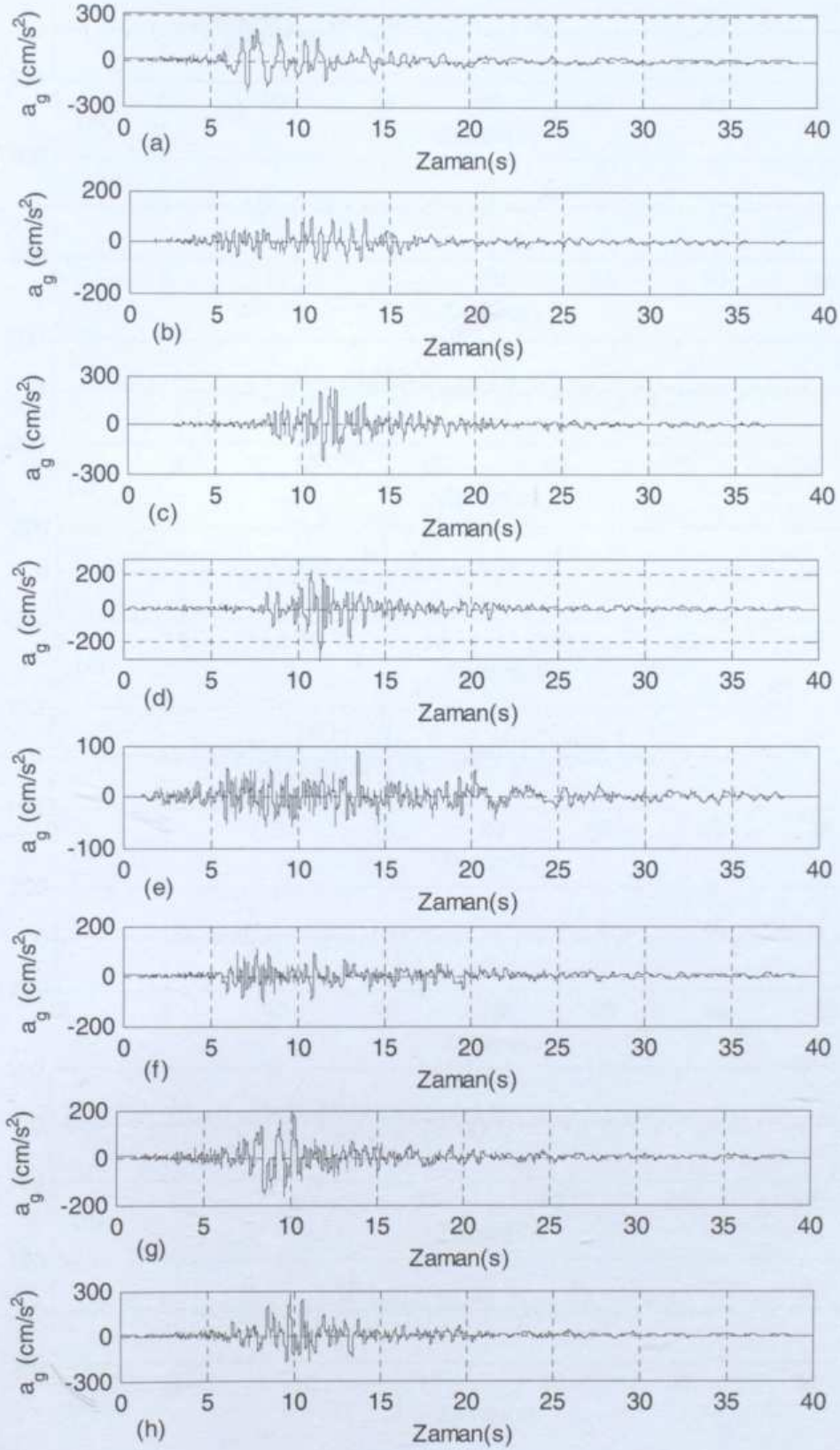
Şekil Ek 4.1 Kullanılan depremlerin ivme kayıtları (a) Dep 01 (b) Dep 02 (c) Dep 03 (d) Dep 04 (e) Dep 05 (f) Dep 06 (g) Dep 07 (h) Dep 08



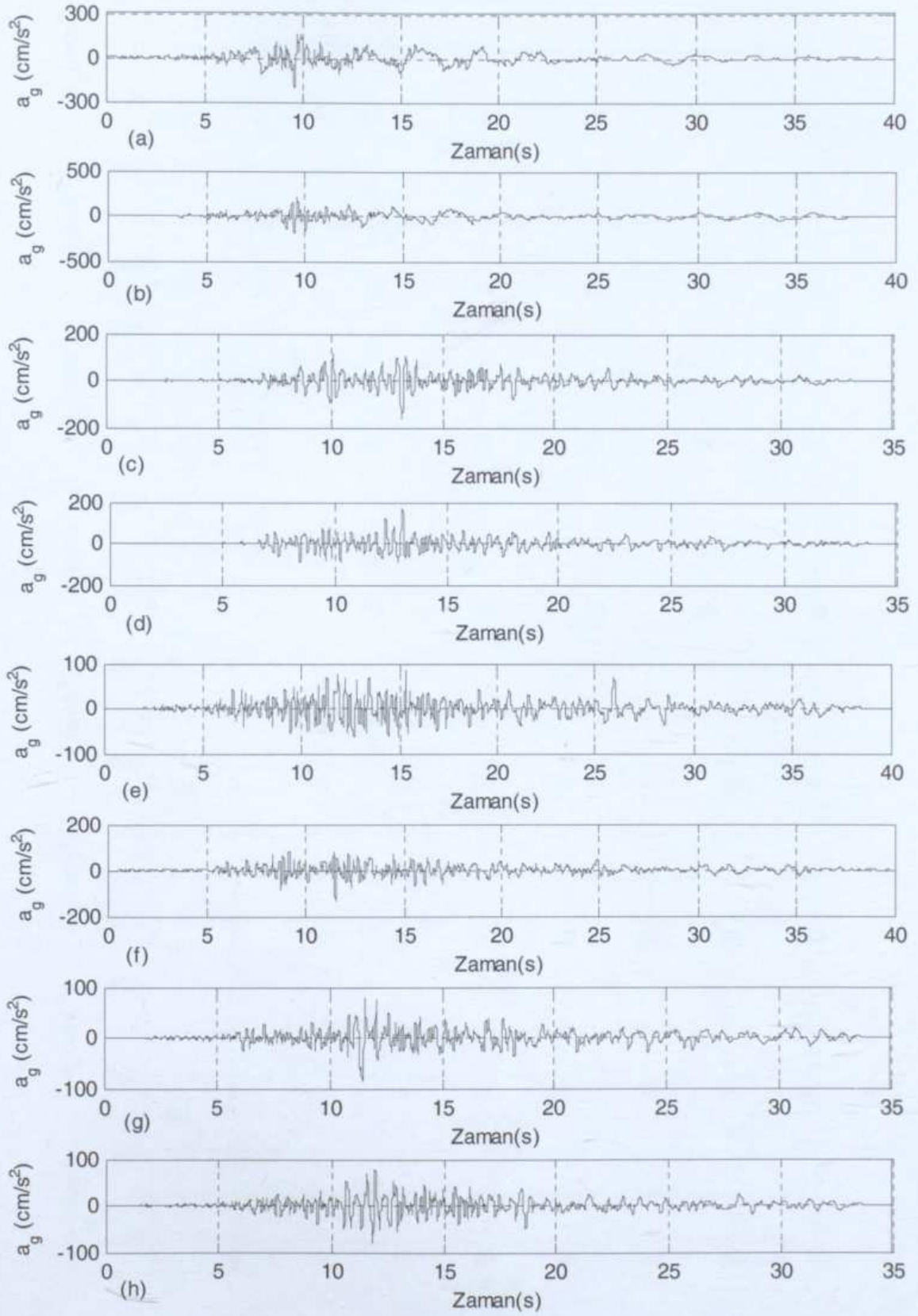
Şekil Ek 4.2 Kullanılan depremlerin ivme kayıtları (a) Dep 09 (b) Dep 10 (c) Dep 11 (d) Dep 12 (e) Dep 13 (f) Dep 14 (g) Dep 15 (h) Dep 16



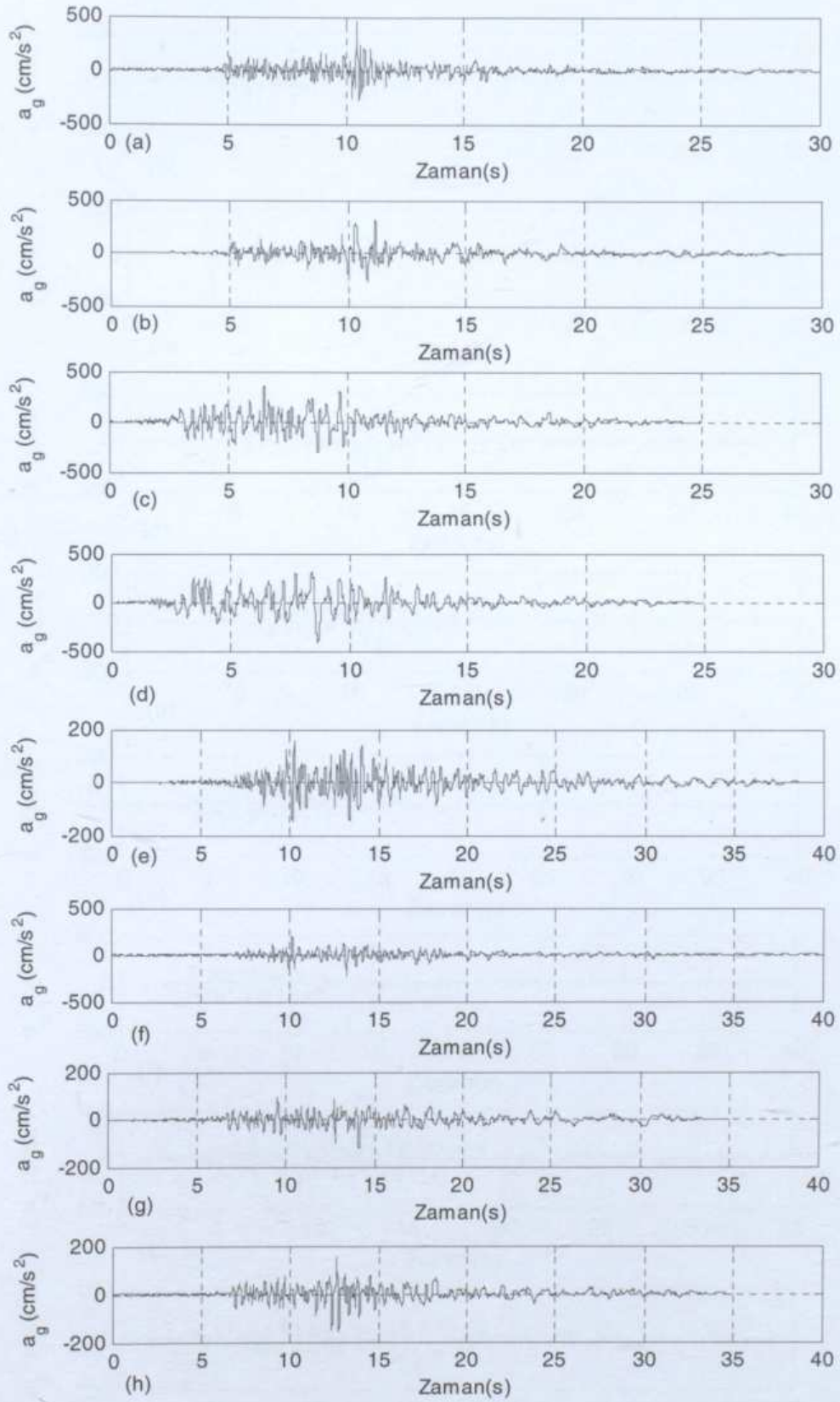
Şekil Ek 4.3 Kullanılan depremlerin ivme kayıtları (a) Dep 17 (b) Dep 18 (c) Dep 19 (d) Dep 20 (e) Dep 21 (f) Dep 22 (g) Dep 23 (h) Dep 24



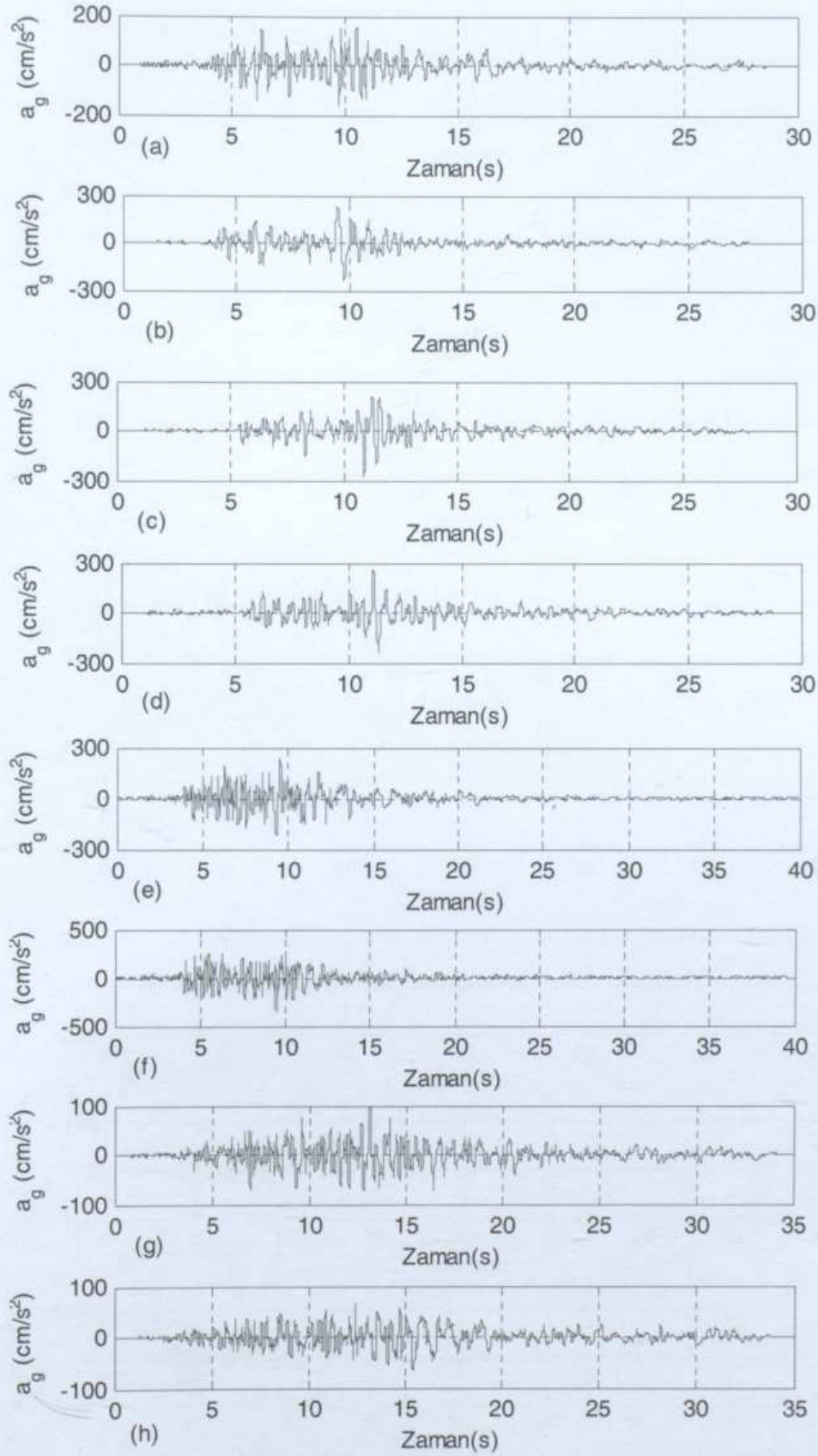
Şekil Ek 4.4 Kullanılan depremlerin ivme kayıtları (a) Dep 25 (b) Dep 26 (c) Dep 27 (d) Dep 28 (e) Dep 29 (f) Dep 30 (g) Dep 31 (h) Dep 32



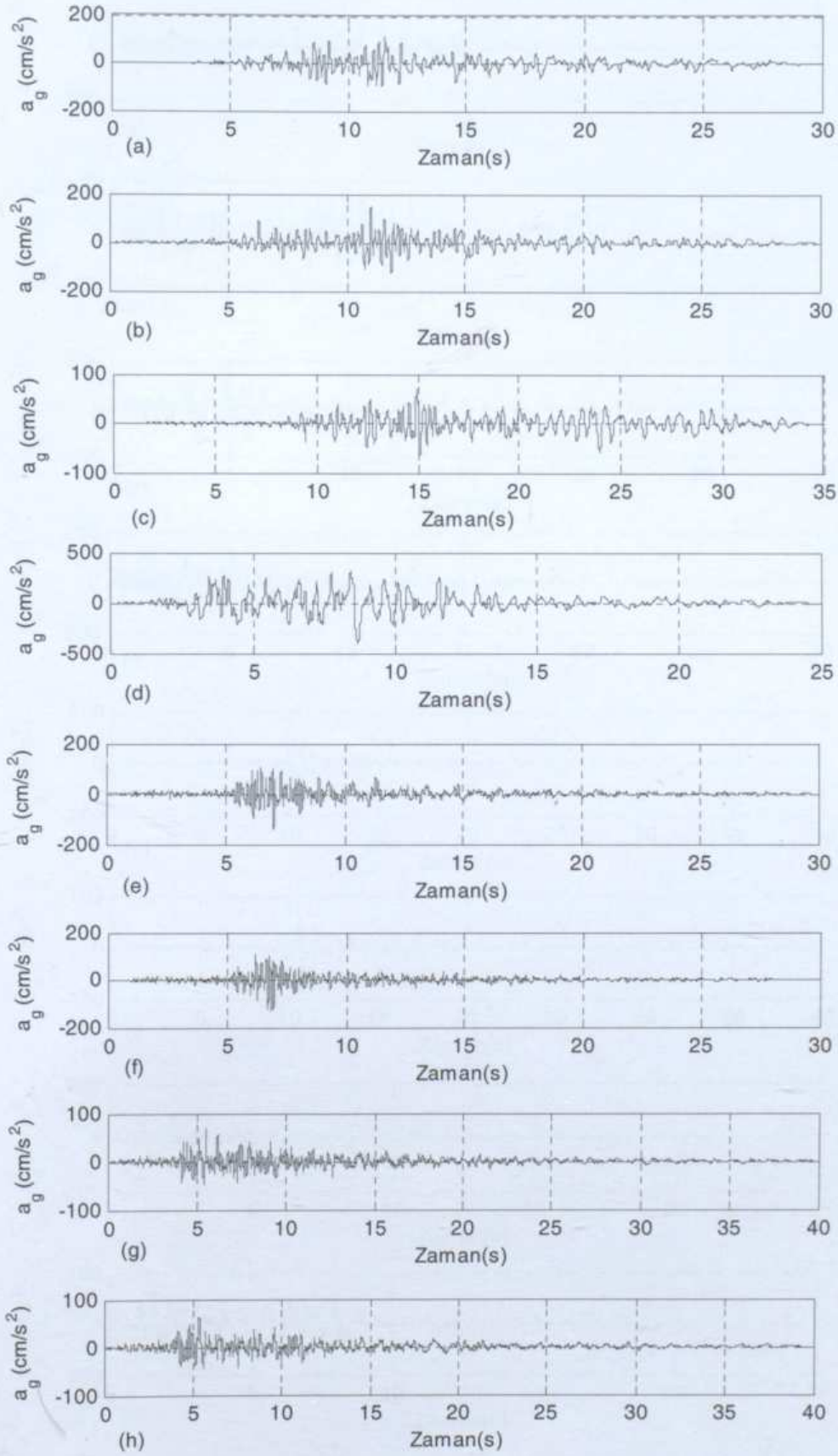
Şekil Ek 4.5 Kullanılan depremlerin ivme kayıtları (a) Dep 33 (b) Dep 34 (c) Dep 35 (d) Dep 36 (e) Dep 37 (f) Dep 38 (g) Dep 39 (h) Dep 40



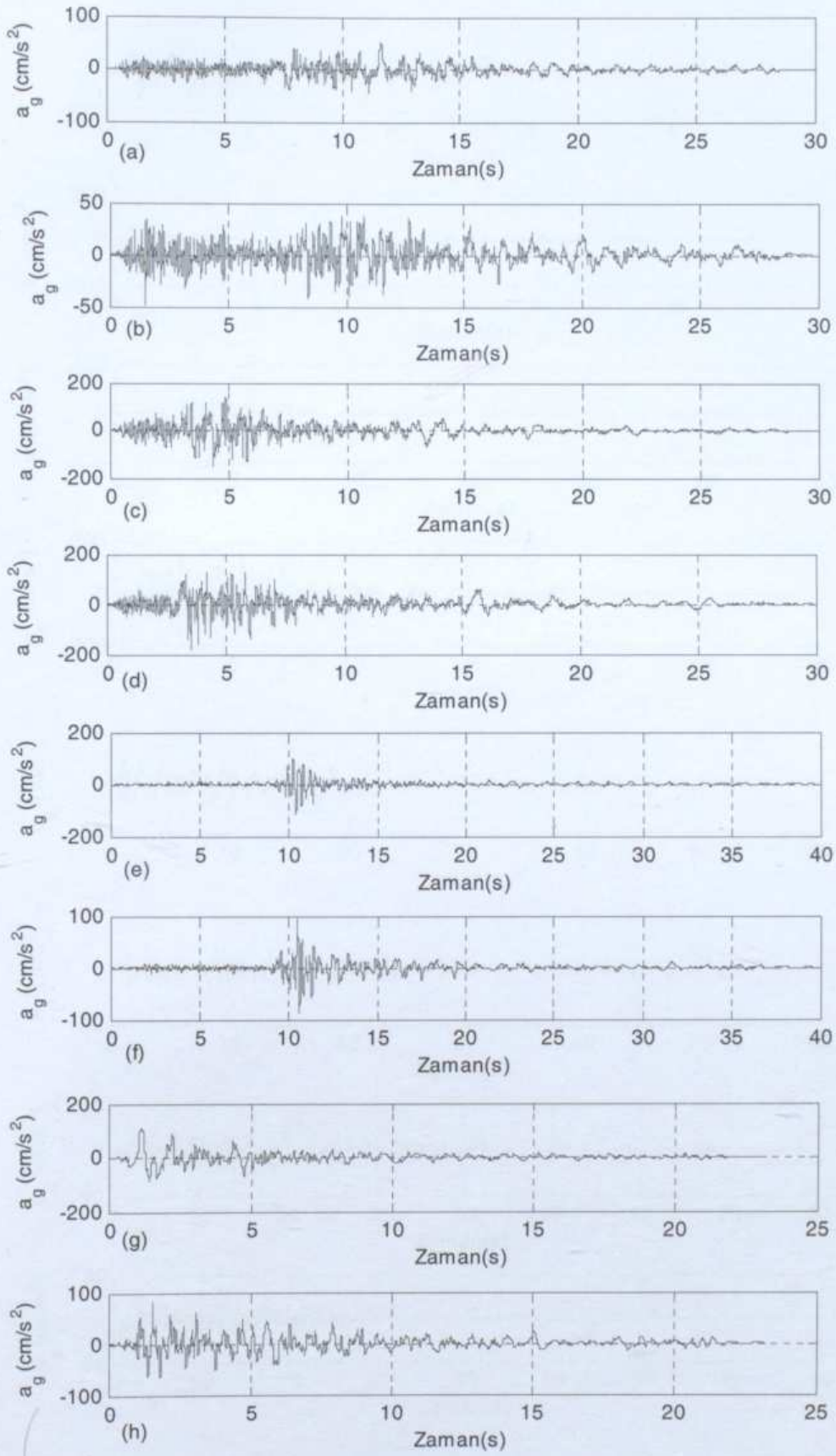
Şekil Ek 4.6 Kullanılan depremlerin ivme kayıtları (a) Dep 41 (b) Dep 42 (c) Dep 43 (d) Dep 44 (e) Dep 45 (f) Dep 46 (g) Dep 47 (h) Dep 48



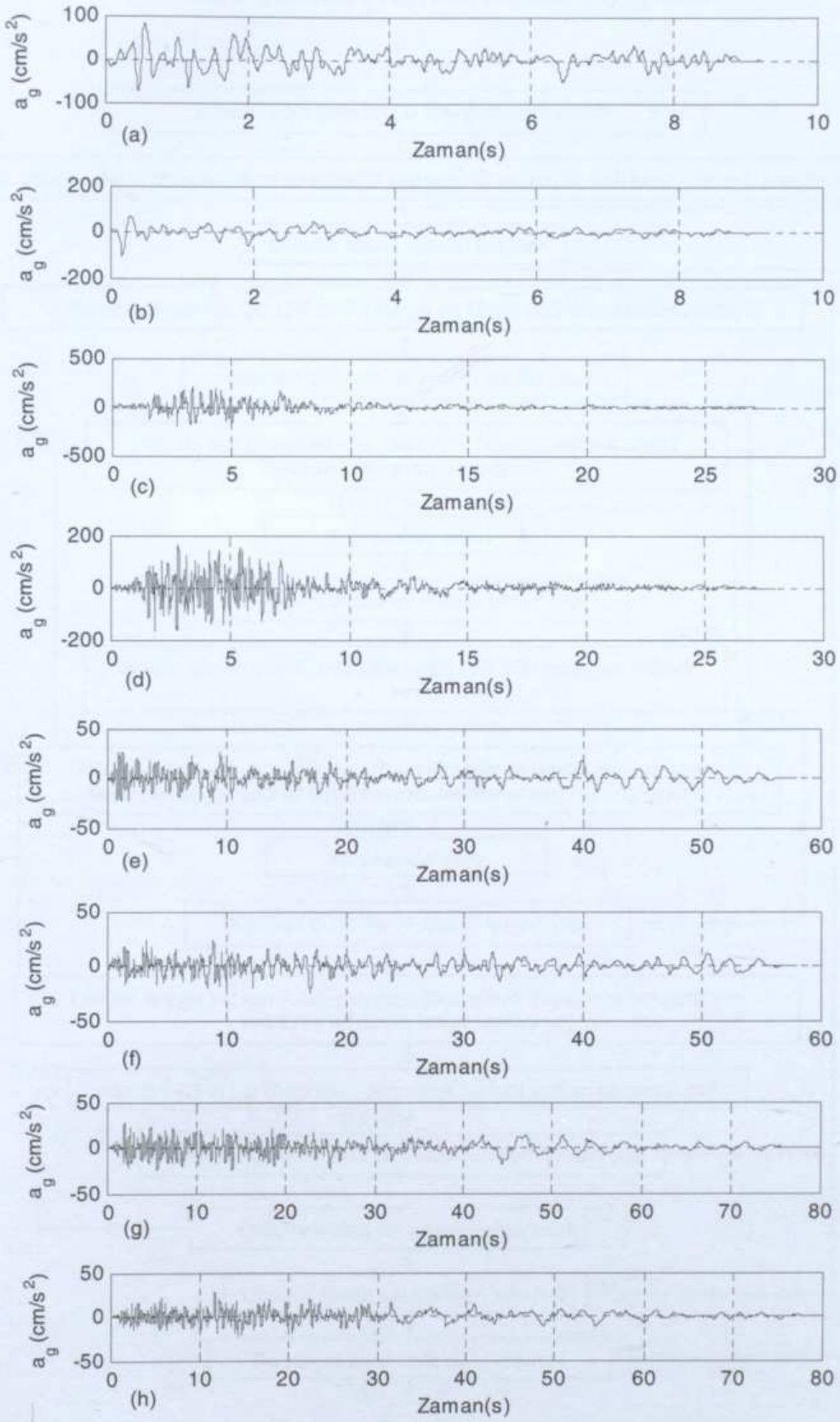
Şekil Ek 4.7 Kullanılan depremlerin ivme kayıtları (a) Dep 49 (b) Dep 50 (c) Dep 51 (d) Dep 52 (e) Dep 53 (f) Dep 54 (g) Dep 55 (h) Dep 56



Şekil Ek 4.8 Kullanılan depremlerin ivme kayıtları (a) Dep 57 (b) Dep 58 (c) Dep 59 (d) Dep 60 (e) Dep 61 (f) Dep 62 (g) Dep 63 (h) Dep 64

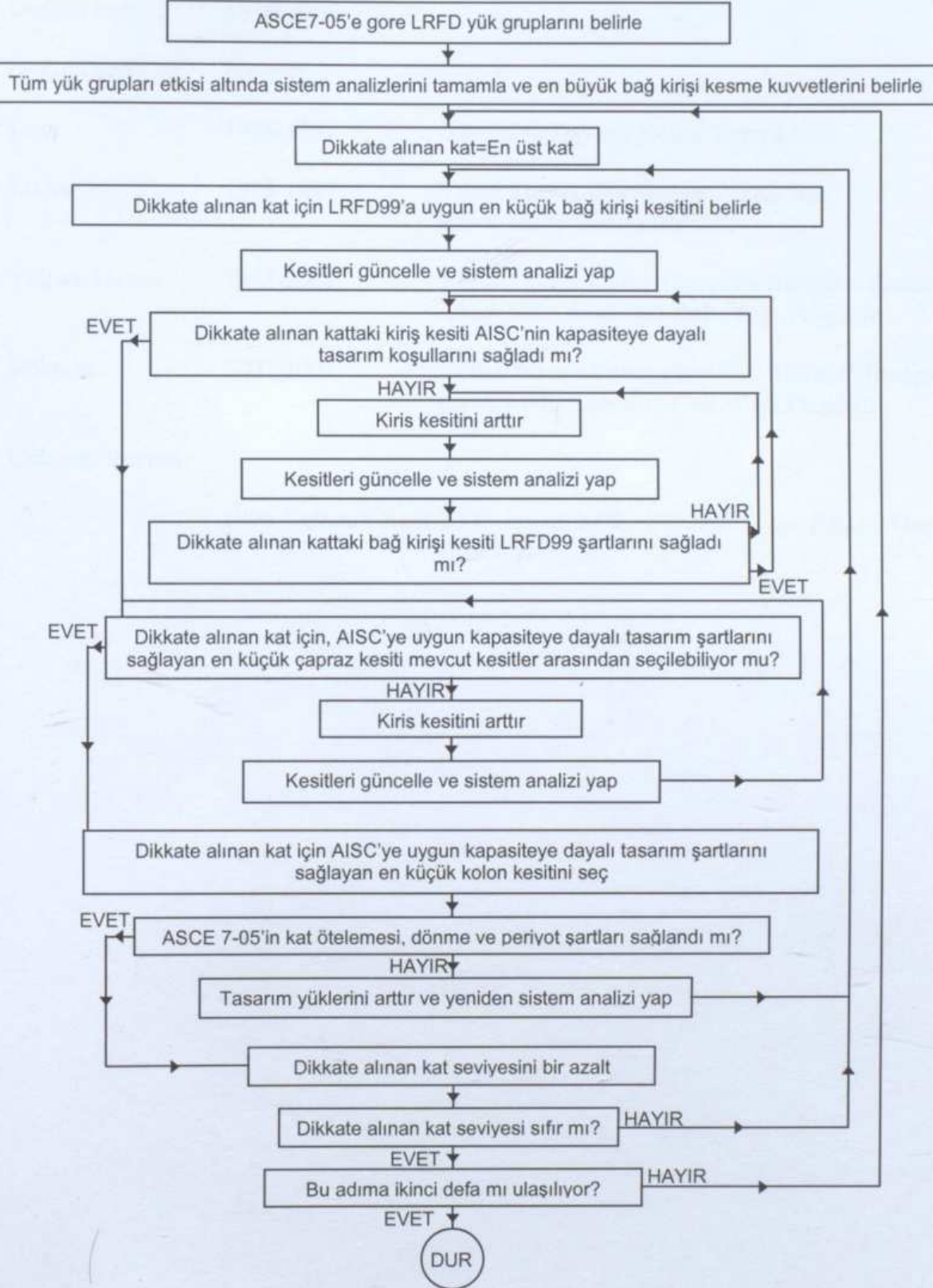


Şekil Ek 4.9 Kullanılan depremlerin ivme kayıtları (a) Dep 65 (b) Dep 66 (c) Dep 67 (d) Dep 68 (e) Dep 69 (f) Dep 70 (g) Dep 71 (h) Dep 72



Şekil Ek 4.10 Kullanılan depremlerin ivme kayıtları (a) Dep 73 (b) Dep 74 (c) Dep 75 (d) Dep 76 (e) Dep 77 (f) Dep 78 (g) Dep 79 (h) Dep 80

Ek 5 Tasarım Programının Akış Diyagramı



Şekil Ek 5.1 Tasarım programının akış diyagramı (Özhendekci ve Özhendekci, 2007)

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	18.03.1976	
Doğum yeri	Kayseri	
Lise	1986-1993	Özel TED Kayseri Koleji Vakfı Lisesi
Lisans	1993-1997	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1998-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı
Doktora	2001-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurum:

1998-Devam ediyor YTÜ İnşaat Müh. Bölümü, Yapı ABD, Araştırma
Görevlisi

