

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME BİNALARIN  
PERFORMANS DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNİN  
DOĞRUSAL OLMAYAN TEORİ ÇERÇEVESİNDE  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Zeynep DERVİŞOĞLU**

**Balıkesir, Kasım – 2006**

T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

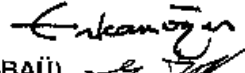
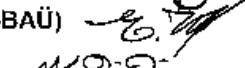

DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME BİNALARIN  
PERFORMANS DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNİN  
DOĞRUSAL OLMAYAN TEORİ ÇERÇEVESİNDE  
KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Zeynep DERVİŞOĞLU

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Erdal İRTEM

Sınav Tarihi : 10 . 11. 2006

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erkan ÖZER (İTÜ)   
Doç. Dr. Erdal İRTEM (Danışman-BAÜ)   
Yrd. Doç. Dr. Konuralp GİRGİN (İTÜ) 

Balıkesir, Kasım- 2006

## ÖZET

# DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME BİNALARIN PERFORMANS DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN TEORİ ÇERÇEVESİNDE KARŞILAŞTIRILMASI

Zeynep DERVİŞOĞLU  
Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı : Doç. Dr. Erdal İRTEM)

Balıkesir, 2006

Son yıllarda doğrusal olmayan teoriyi esas alan hesap yöntemlerindeki gelişmelerle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki gerçek davranışının daha yakından izlenebilmesi ve deprem performansının daha gerçekçi olarak belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ile elde edilen birçok analiz sonucu değerlendirildiğinde bir binanın aynı deprem seviyesi altındaki davranış taleplerinin yöntemlere göre farklı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bu nedenle doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinin irdelenmesi ve güncellenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, TS 500 ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1998)'e göre boyutlandırılmış betonarme binaların farklı deprem seviyeleri için doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440) ve Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY FEMA 356 ve KYK FEMA 440) ile analizleri yapılarak performanslarının belirlenmesi ve elde edilen analiz sonuçlarının çeşitli parametreler (davranış talepleri) ile karşılaştırılması ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, geniş bir periyot aralığındaki, herhangi bir düzensizliği bulunmayan sekiz ayrı betonarme düzlem çerçeve bina belirlenerek incelenmiştir. Binaların performanslarının belirlenmesinde malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teori ve doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi ve Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, incelenen binaların KSY ATC 40 ile elde edilen analiz sonuçlarının her parametre için KSY FEMA 440, KYK FEMA 356 ve KYK FEMA 440'a göre oldukça farklı olduğu belirlenmiştir. Doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinin karşılaştırılmasında kat kesme kuvveti dağılımının yöntemler arasındaki farkı belirlemede etkili bir parametre olmadığı, buna karşılık plastik dönme dağılımının en etkili parametre olduğu sonucuna varılmıştır.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Betonarme bina / elastik ötesi statik itme (pushover) analizi / kapasite eğrisi / performans değerlendirmesi / doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri / kapasite spektrum yöntemi / yerdeğiştirme katsayıları yöntemi

## **ABSTRACT**

### **COMPARISON OF PERFORMANCE EVALUATION METHODS OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS UNDER EARTHQUAKE EFFECTS WITHIN NON LINEAR THEORY FRAMEWORK**

**Zeynep DERViŞOğLU**  
**Balikesir University, Institute of Science**  
**Department of Civil Engineering**

**(M. Sc. Thesis / Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Erdal İRTEM)**

**Balikesir-Turkey, 2006**

In recent years, with improvements on analysis methods based on non-linear theory, more realistic monitoring of behavior of structural systems under external effects and determination of the earthquake performance can be possible. It is determined that response demands under the same earthquake level of a building give different results according to other methods when some analysis results obtained by non-linear static analysis methods are evaluated. For this reason, it is required that non-linear static analysis methods should be investigated and improved.

In this study, it is aimed that performance levels of the reinforced concrete building frames designed according to TS 500 and Turkish Earthquake Code (ABYYHY-1998) are determined by Capacity Spectrum Method (CSM ATC 40 and CSM FEMA 440) and Displacement Coefficients Method (DCM FEMA 356 and DCM FEMA 440) for different earthquake levels and obtained analysis results are compared with each others in term of different parameters. For this purpose, eight different reinforced concrete plane building frames without any structural irregularity, are determined and investigated in a wide period range. Performance levels of buildings are determined by using Capacity Spectrum Method and Displacement Coefficients Method, which are non-linear static analysis methods based on pushover analysis (materially and geometrically non-linear theory included). In the study it is determined that the analysis results obtained from CSM ATC 40 are considerably different from the results of CSM FEMA 440, DCM FEMA 356 and DCM FEMA 440 in terms of the each investigated parameter for all investigated building frames. It is concluded that story shear force distribution is not an effective parameter in comparison of non-linear static analysis methods to determine difference between methods; nevertheless, plastic rotation distribution is the most effective parameter in order to determine difference between methods.

**KEYWORDS:** Reinforced concrete building / pushover analysis / capacity curve / performance evaluation / nonlinear static analysis / capacity spectrum method / displacement coefficient method

## İÇİNDEKİLER

	<i>Sayfa</i>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEYWORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ÖNSÖZ	xvii
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1 Konu	1
1.2 Konu ile İlgili Çalışmalar	3
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	13
<b>2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ</b>	<b>15</b>
2.1 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemler	20
2.1.1 Yapı Malzemelerinin Şekildeğiştirme Özellikleri	21
2.1.1.1 İdeal Malzemeler	22
2.1.2 Beton ve Beton Çeliği için Gerilme-Şekildeğiştirme Bağlılıları	23
2.1.3 Düzlem Çubuk Elemanlarda İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlılıları	25
2.1.4 Betonarme Çubuk Elemanların İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlılıları	26
2.1.4.1 Eğilme Momenti – Birim Dönme ( $M - \chi$ ) Bağlılıtı	26
2.1.4.2 Akma Koşulu (Karşılıklı Etki Diyagramı)	28
2.1.4.3 Betonarme Kesit Davranışının İdealleştirilmesi	29
2.1.4.3.1 Eğilme Momenti - Eğrilik ( $M - \chi$ ) Bağlılıtı	29
2.1.4.3.2 Normal Kuvvet - Birim Boy Değişmesi ( $N - \epsilon$ ) Bağlılıtı	30
2.1.4.3.3 Karşılıklı Etki Diyagramı (Akma Eğrisi)	31
2.1.5 Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmelerin Sürekli Olmaması Hali	32
2.1.5.1 Plastik Mafsalsal Hipotezi	32
2.1.5.2 Plastik Mafsalsal Hipotezinin Esasları	37
<b>3. YAPILARIN PERFORMANSA DAYALI TASARIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ</b>	<b>38</b>
3.1 Performans Hedefi	38
3.2 Deprem Tehlike Seviyeleri	39
3.3 Performans Seviyeleri	40
3.3.1 Yapısal Elemanlara ait Performans Seviyeleri ve Bölgeleri	41

3.3.2	Yapısal Olmayan Elemanlara ait Performans Seviyeleri	43
3.3.3	Bina Performans Seviyeleri	44
<b>4.</b>	<b>DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZ YÖNTEMLERİ</b>	<b>47</b>
4.1	Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY)	48
4.1.1	KSY ATC 40 ile Yerdeğiştirme Talebi ve Performans Noktasının Belirlenmesi	50
4.1.2	KSY FEMA 440 ile Yerdeğiştirme Talebi ve Performans Noktasının Belirlenmesi	56
4.1.3	ATC 40 ve FEMA 440'daki KSY'nin Farkı	62
4.1.4	FEMA 440'daki KSY'nin Sekant Periyodu ile Kullanımı için Yapılan Düzeltme (MADRS)	64
4.2	Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY)	66
4.2.1	YKY FEMA 356 ile Maksimum (Hedef) Yerdeğiştirmenin Belirlenmesi	68
4.2.2	YKY FEMA 440 ile Maksimum (Hedef) Yerdeğiştirmenin Belirlenmesi	71
4.2.3	FEMA 356 ve FEMA 440'daki YKY'nin Farkı	73
<b>5.</b>	<b>SAYISAL UYGULAMALAR</b>	<b>75</b>
5.1	Hesaplarda Yapılan Varsayımlar	75
5.2	Betonarme Binaların Özellikleri	78
5.3	Analizlerde Kullanılacak Deprem Seviyelerinin Belirlenmesi	83
5.4	Performans Seviyelerinin Tanımlanması	86
5.5	Binaların Deprem Performanslarının Elde Edilmesi	87
5.5.1	Binaların Kapasite Eğrilerinin Elde Edilmesi	88
5.5.1.1	Binaların 1.Mod Atalet Kuvveti Dağılımlarının Elde Edilmesi	88
5.5.1.2	Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımlarının Elde Edilmesi	89
5.5.2	Binaların 1. Mod Atalet Kuvveti Dağılımları için KSY (ATC 40 ve FEMA 440) ile Deprem Performanslarının Belirlenmesi	93
5.5.2.1	Binaların 1. Mod Atalet Kuvveti Dağılımları için KSY (ATC 40 ve FEMA 440) ile Yerdeğiştirme Taleplerinin Belirlenmesi	93
5.5.2.2	Binaların 1. Mod Atalet Kuvveti Dağılımları için KSY (ATC 40 ve FEMA 440) ile Elde Edilen Performans Seviyeleri	107
5.5.3	Binaların 1. Mod Atalet Kuvveti Dağılımları için YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ile Deprem Performanslarının Belirlenmesi	111
5.5.3.1	Binaların 1. Mod Atalet Kuvveti Dağılımları için YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ile Yerdeğiştirme Taleplerinin Belirlenmesi	111
5.5.3.2	Binaların 1. Mod Atalet Kuvveti Dağılımları için YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ile Elde Edilen Performans Seviyeleri	119

5.5.4	Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımları için KSY (ATC 40 ve FEMA 440) ile Deprem Performanslarının Belirlenmesi	123
5.5.4.1	Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımları için KSY (ATC 40 ve FEMA 440) ile Yerdeğiştirme Taleplerinin Belirlenmesi	123
5.5.4.2	Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımları için KSY (ATC 40 ve FEMA 440) ile Elde Edilen Performans Seviyeleri	126
5.5.5	Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımları için YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ile Deprem Performanslarının Belirlenmesi	129
5.5.5.1	Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımları için YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ile Yerdeğiştirme Taleplerinin Belirlenmesi	129
5.5.5.2	Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımları için YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ile Elde Edilen Performans Seviyeleri	131
<b>6.</b>	<b>DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZ YÖNTEMLERİNDEN ELDE EDİLEN ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ</b>	<b>134</b>
6.1	Doğrusal Olmayan Statik Analiz Yöntemlerinden Elde Edilen Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	134
6.1.1	Binaların 1. Mod Atalet Kuvveti Dağılımı için YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40, KSY FEMA 440 ve YKY FEMA 356 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	135
6.1.2	Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımı için YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40, KSY FEMA 440 ve YKY FEMA 356 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	155
6.1.3	Analiz Sonuçlarının Parametrik Olarak Karşılaştırılması	168
6.2	Doğrusal Olmayan Statik Analiz Yöntemlerinden Elde Edilen Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	181
<b>7.</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	<b>193</b>
	<b>KAYNAKLAR</b>	<b>196</b>
	<b>EKLER:</b>	
EK A	İncelenen Binaların 1. Mod ve SRSS Dağılımları Kullanılarak Elde Edilen Kapasite Eğrileri	201
EK B	İncelenen Binaların KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440 ile Performans Noktalarının Belirlenmesi	205

## SEMBOL LİSTESİ

Simge	Adı	Birimi
$a_i$	İndirgenmiş talep spektrumunun kapasite spektrumunu kestiği noktanın spektral ivme koordinatı	$m/sn^2$
$a_{pi}$	Tahmini performans noktasının spektral ivme koordinatı (ADRS formatında)	$m/sn^2$
$a_y$	İki doğru parçalı olarak idealleştirilen kapasite spektrumunda akma noktasının spektral ivme koordinatı	$m/sn^2$
$A_o$	Etkin yer ivme katsayısı	
$A_s$	Çekme donatı alanı	$m^2$
$A_g$	Kolon ve perdenin brüt enkesit alanı	$m^2$
$A_s'$	Basınç donatısı alanı	$m^2$
$A_w$	Kiriş enkesit alanı	$m^2$
$b_w$	Enkesit genişliği	m
$B(\beta_{eff})$	İndirgeme katsayısı	
$C_m$	Etkin kütle çarpanı	
$C_0$	Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral deplasmanını, çok serbestlik dereceli bir sistemin tepe yerdeğiştirmesi ile ilişkilendiren katsayı	
$C_1$	Doğrusal–elastik davranış için hesaplanmış yerdeğiştirmeler ile beklenen maksimum elastik olmayan yerdeğiştirmeleri ilişkilendiren katsayı	
$C_2$	Tekrarlı yükler altında histeretik yerdeğiştirme davranışı üzerinde pinching (dinamik yükler altında çatlakların açılıp kapanmasının ve donatı sıyrılmasının iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntısına olan etkisidir) etkisi, rijitlik azalması (stiffness degrading) ve dayanım kaybı (strength degrading) etkisini temsil eden değişiklik katsayısı	
$C_3$	II. Mertebe etkiler nedeniyle arttırılmış yerdeğiştirmeleri temsil eden değişiklik katsayısı	
$d_i$	İndirgenmiş talep spektrumunun kapasite spektrumunu kestiği noktanın spektral yerdeğiştirme koordinatı	m
$d_{pi}$	Tahmini performans noktasının spektral yerdeğiştirme koordinatı (ADRS formatında)	m
$d_y$	İki doğru parçalı olarak idealleştirilen kapasite spektrumunda akma noktasının spektral yerdeğiştirme koordinatı	m
$d$	Enkesitin etkin yüksekliği	m
$E_c$	Betonun elastisite modülü	MPA
$E_D$	Sönümle yutulan enerji	
$E_s$	Donatının elastisite modülü	MPA
$E_{So}$	Maksimum şekil değiştirme enerjisi	



<b>Simge</b>	<b>Adı</b>	<b>Birimi</b>
$f_{ck}$	Betonun karakteristik basınç dayanımı	MPA
$f_{yk}$	Beton çeliğinin karakteristik basınç dayanımı	MPA
$F_i$	Eşdeğer deprem yükleri	kN
$g$	Yerçekimi ivmesi	$m/sn^2$
$h_f$	Döşeme kalınlığı	m
$I$	Bina önem katsayısı	
$I_g$	Betonarme kesitin brüt atalet momenti	$m^4$
$K_e$	Elastik etkin rijitlik	kN/m
$K_i$	Elastik yanal rijitlik	kN/m
$K_s$	Elastik sonrası rijitlik	kN/m
$l_p$	Plastik bölge uzunluğu	m
$m_i$	Binanın kat kütleleri	$kNsn^2/m$
$M$	Eğilme Momenti	kNm
$M_e$	Elastik moment	kNm
$M_p$	Moment taşıma gücü	kNm
$M_d$	Hesap eğilme momenti	kNm
$N$	Eksenel kuvvet	kN
$N_d$	Hesap normal kuvveti	kN
$N_{ob}$	Eksenel basınç kuvveti	kN
$N_{oç}$	Eksenel çekme kuvveti	kN
$N_p$	Normal kuvvet taşıma gücü	kN
$N_K$	Kat adedi	
$P$	Tasarım eksenel kuvvet değeri	
$P_{cr}$	Dallanma burkulması	
$P_B$	Burkulma yükü	
$P_{L1}$	I. mertebe limit yük	
$P_{L2}$	II. mertebe limit yük	
$PF_1$	Birinci moda ait modal katılım çarpanı	
$R_0$	Elastik olmayan dayanım talebinin akma dayanımına oranı	
$R$	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	
$s$	Plastik mafsal bölgesindeki etriye aralığı	cm
$S_a(T_1)$	Yapının birinci doğal periyoduna ( $T_1$ ) karşılık gelen spektral ivme	$m/sn^2$
$S_a$	Spektral ivme	$m/sn^2$
$S_d$	Spektral yerdeğiştirme	m
$S_{ai}$	Kapasite spektrumunda herhangi bir spektral ivme koordinatı	$m/sn^2$
$S_{di}$	Kapasite spektrumunda herhangi bir spektral yerdeğiştirme koordinatı	m
$SR_A$	Spektrumun sabit ivme bölgesindeki spektral indirgeme katsayısı	
$SR_V$	Spektrumun sabit hız bölgesindeki spektral indirgeme katsayısı	
$T$	Periyot	sn
$T_A, T_B$	Spektrum karakteristik periyotları	sn
$T_e, T_{eff}$	Efektif periyot	sn

Simge	Adı	Birimi
$T_i$	Deprem kuvveti yönünde yapının elastik dinamik analiz ile bulunan birinci doğal titreşim periyodu	sn
$T_0$	Davranış spektrumunda sabit ivme bölgesinden sabit hız bölgesine geçişe karşılık gelen karakteristik periyot değeri	sn
$V$	Tasarım kesme kuvvet değeri	kN
$V_i$	Kapasite eğrisinde herhangi bir taban kesme kuvveti koordinatı	kN
$V_S$	Plastik mafsal bölgesindeki etriyelerin karşıladığı kesme kuvveti	kN
$V_T$	Toplam taban kesme kuvveti	kN
$V_y$	İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma dayanımı	kN
$w_i$	i nolu kat ağırlığı	kN
$W$	Yapının toplam ağırlığı	kN
$Z$	Yerel zemin sınıfı	
$\alpha$	Elastik sonrası rijitliğin efektif elastik rijitliğe oranı	
$\alpha_1$	Birinci moda ait modal kütle çarpanı	
$\beta_0$	Eşdeğer viskoz sönüm olarak temsil edilen histeristik sönüm	
$\beta_{eff}$	Etkin viskoz sönüm	
$\beta_{eq}$	Eşdeğer viskoz sönüm	
$\chi$	Birim dönme (eğrilik)	
$\delta_{maks}$	Yapının tepe yerdeğiştirmesi	m
$\delta_T$	Yapının hedef yerdeğiştirmesi	m
$\delta_y$	İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma yerdeğiştirmesi	m
$\delta_i$	Kapasite eğrisinde herhangi bir tepe yerdeğiştirmesi koordinatı	m
$\phi_{i,1}$	Deprem kuvveti doğrultusunda birinci doğal titreşim moduna ait i nolu kattaki normalleştirilmiş genlik	
$\phi_{Tepe,1}$	Deprem kuvveti doğrultusunda birinci doğal titreşim moduna ait en üst kattaki normalleştirilmiş genlik	
$\gamma$	Birim kayma	
$\phi_p$	Plastik mafsalın dönmesi	rad
$\kappa$	Sönüm düzeltme çarpanı	
$\mu$	Süneklik	
$\pi$	Pi sayısı	
$\rho$	Çekme donatısı oranı	
$\rho'$	Basınç donatısı oranı	
$\rho_{den}$	Dengeli donatı oranı	
$\sigma$	Gerilme	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_e$	Akma gerilmesi	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k$	Kopma gerilmesi	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_p$	Orantı sınır gerilmesi	N/mm <sup>2</sup>
$\omega$	Açısal frekans	
$\varepsilon$	Birim boy değişmesi	
$\varepsilon_e$	Akma şekildeğiştirmesi	

<b>Simge</b>	<b>Adı</b>	<b>Birimi</b>
$\epsilon_{co}$	Betonun plastik şekildeğiştirmesinin başlamasına karşılık gelen birim kısılması	
$\epsilon_{cu}$	Betonun izin verilen en bŸyŸk birim kısılması	
$\epsilon_{su}$	Beton eliğinin izin verilen en bŸyŸk birim kısılması	
$\epsilon_{sy}$	Beton eliğinini plastik şekildeğiştirmesinin başlamasına karşılık gelen birim kısılması	
$\Delta l_1$	Doğrusal boydeğiştirmesi	m
$\Delta l_{p1}$	Doğrusal olmayan boydeğişmesi	m
$\Delta l_{p2}$	Doğrusal olmayan boydeğişmesi	m

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No	Adı	Sayfa
Şekil 2.1	Farklı teoriler için <i>yatay yük parametresi–yatay yerdeğiştirme</i> (P-Δ) bağıntıları	18
Şekil 2.2	Dış kuvvetler etkisindeki katı cisim	21
Şekil 2.3	Şematik <i>yük parametresi-şekildeğiştirme</i> (P-Δ) bağıntısı	21
Şekil 2.4	İdeal malzeme davranışları	22
Şekil 2.5	Yapı çeliği ve beton çeliğinde $\sigma - \varepsilon$ diyagramı	24
Şekil 2.6	Betonun eğilmesinde dış basınç lifindeki $\sigma - \varepsilon$ diyagramı	25
Şekil 2.7	Düzlem çubuk elemanda iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler	26
Şekil 2.8	Betonarme kesitlerde M - $\chi$ diyagramı	28
Şekil 2.9	Betonarme kesitlerde $K_1(M,N)=0$ için karşılıklı etki diyagramı (akma eğrisi)	29
Şekil 2.10	Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş M - $\chi$ diyagramı (Tip:1)	30
Şekil 2.11	Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş M - $\chi$ diyagramı (Tip:2)	30
Şekil 2.12	Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş N - $\varepsilon$ diyagramı	31
Şekil 2.13	Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramının idealleştirilmesi	32
Şekil 2.14	<i>Eğilme momenti – eğrilik</i> diyagramı	33
Şekil 2.15	Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler	34
Şekil 2.16	İdealleştirilmiş <i>eğilme momenti – eğrilik</i> diyagramı	35
Şekil 2.17	Plastik mafsalin boyu ve yeri	36
Şekil 3.1	Yapısal elemanlara ait performans seviyeleri ve bölgeleri	41
Şekil 3.2	Yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyeleri	43
Şekil 3.3	Performans hedefleri	44
Şekil 4.1	Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi	50
Şekil 4.2	Kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesi	51
Şekil 4.3	Histeristik sönüme eşdeğer viskoz sönümün belirlenmesi	52
Şekil 4.4	Talep spektrumunun ( $S_a-T$ ), <i>spektral ivme – spektral yerdeğiştirme</i> ( $S_a-S_d$ ) formatına (ADRS) dönüştürülmesi	55
Şekil 4.5	Elastik olmayan şekildeğiştirmelere bağlı olarak elastik spektrumun indirgenmesi	55
Şekil 4.6	Performans noktasının belirlenmesi	56
Şekil 4.7	Kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesi	57
Şekil 4.8	Performans noktasının ADRS formatında belirlenmesi	62
Şekil 4.9	Performans noktasının MADRS ile belirlenmesi	65
Şekil 4.10	Kapasite eğrisinin şematik gösterimi	66
Şekil 4.11	Kapasite eğrisinin doğru parçası ile idealleştirilmesi	67
Şekil 4.12	%5 sönümlü elastik davranış spektrumu ile $S_a(T_1)$ 'in belirlenmesi	70
Şekil 5.1	Beton ve çeliğin <i>gerilme-şekildeğiştirme</i> bağıntıları	76
Şekil 5.2	Kiriş ve kolon için <i>moment-plastik dönme</i> bağıntısı	77
Şekil 5.3	Betonarme binaların geometrik özellikleri (A-A, B-B, 1-1, 2-2 çerçeveleri)	79

<b>Sekil No</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.4	Betonarme çerçevelerin 1. moda ait çatlamış kesit için titreşim periyotları ( $T_1$ )	80
Şekil 5.5	Kiriş boyutları (tüm binalar için aynıdır)	80
Şekil 5.6	Kolon elemanlarına ait tipik karşılıklı etki diyagramı	82
Şekil 5.7	LMSR grubuna ait deprem kayıtlarından elde edilen ivme spektrumları	84
Şekil 5.8	D1 ve D2 deprem seviyelerine ait düzleştirilmiş ivme spektrumları	84
Şekil 5.9	Performans seviyelerinin belirlenmesi	86
Şekil 5.10	1.mod ve SRSS atalet kuvvetleri dağılımları	90
Şekil 5.11	Binaların 1.mod dağılımları kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri	92
Şekil 5.12	Binaların SRSS dağılımları kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri	92
Şekil 5.13	2KÇ binanın 1.mod atalet kuvveti dağılımı ile elde edilen kapasite eğrisi	94
Şekil 5.14	2KÇ'nin kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi	95
Şekil 5.15	2KÇ'ye ait kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesi	97
Şekil 5.16	2KÇ binanın KSY ATC 40 için indirgenmiş ivme spektrumları	100
Şekil 5.17	2KÇ binanın FEMA 440 için indirgenmiş ivme spektrumları	100
Şekil 5.18	2KÇ binanın 1.mod ve D2 için KSY ATC 40 ile performans noktasının belirlenmesi	101
Şekil 5.19	2KÇ binanın 1.mod ve D2 için KSY FEMA 440 ile performans noktasının belirlenmesi	102
Şekil 5.20	Binaların 1.mod dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için KSY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri	110
Şekil 5.21	2KÇ binanın 1.mod atalet kuvveti dağılımı kullanılarak elde edilen kapasite eğrisi	112
Şekil 5.22	2KÇ binanın kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi	113
Şekil 5.23	Binaların 1.mod dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için YKY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri	122
Şekil 5.24	Binaların SRSS dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyesi için KSY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri	128
Şekil 5.25	Binaların SRSS dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyesi için YKY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri	133
Şekil 6.1	2KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	136
Şekil 6.2	4KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	137
Şekil 6.3	6KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	138

<b>Sekil No</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.4	8KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	139
Şekil 6.5	10KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	140
Şekil 6.6	12KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	141
Şekil 6.7	14KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	142
Şekil 6.8	16KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	143
Şekil 6.9	2KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	145
Şekil 6.10	4KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	146
Şekil 6.11	6KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	147
Şekil 6.12	8KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	148
Şekil 6.13	10KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	149
Şekil 6.14	12KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	150
Şekil 6.15	14KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	151
Şekil 6.16	16KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	152
Şekil 6.17	Binaların 1.mod dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için KSY ve YKY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri	154
Şekil 6.18	10KÇ'nin SRSS dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	156
Şekil 6.19	12KÇ'nin SRSS dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	157
Şekil 6.20	14KÇ'nin SRSS dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	158
Şekil 6.21	16KÇ'nin SRSS dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	159
Şekil 6.22	10KÇ'nin SRSS dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	161
Şekil 6.23	12KÇ'nin SRSS dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	162
Şekil 6.24	14KÇ'nin SRSS dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	163
Şekil 6.25	16KÇ'nin SRSS dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları	164
Şekil 6.26	Binaların SRSS dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için KSY ve YKY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri	166

<b>Şekil No</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.27	Binaların 1.mod ve SRSS dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için KSY ve YKY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri	167
Şekil 6.28	Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D1 deprem seviyesine ait yerdeğiştirme talepleri	169
Şekil 6.29	Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D2 deprem seviyesine ait yerdeğiştirme talepleri	169
Şekil 6.30	Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D1 deprem seviyesine ait dayanım talepleri	170
Şekil 6.31	Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D2 deprem seviyesine ait dayanım talepleri	170
Şekil 6.32	Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D1 deprem seviyesine ait maks. plastik dönme talepleri	171
Şekil 6.33	Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D2 deprem seviyesine ait maks. plastik dönme talepleri	171
Şekil 6.34	Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D1 deprem seviyesine ait maks. görelî öteleme talepleri	172
Şekil 6.35	Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D2 deprem seviyesine ait maks. görelî öteleme talepleri	172
Şekil 6.36	KSY ve YKY'nin maksimum yerdeğiştirme talepleri bakımından karşılaştırılması	174
Şekil 6.37	KSY ve YKY'nin maksimum dayanım talepleri bakımından karşılaştırılması	176
Şekil 6.38	KSY ve YKY'nin maksimum plastik dönme talepleri bakımından karşılaştırılması	178
Şekil 6.39	KSY ve YKY'nin maksimum görelî öteleme talepleri bakımından karşılaştırılması	179
Şekil A.1	İncelenen binaların 1. mod dağılımları kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri	202
Şekil A.2	İncelenen binaların SRSS dağılımları kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri	204
Şekil B.1	Binaların D1 deprem seviyesi için 1. mod dağılımlarına göre KSY ATC 40 ile performans noktalarının belirlenmesi	206
Şekil B.2	Binaların D1 deprem seviyesi için 1. mod dağılımlarına göre KSY FEMA 440 ile performans noktalarının belirlenmesi	208
Şekil B.3	Binaların D2 deprem seviyesi için 1. mod dağılımlarına göre KSY ATC 40 ile performans noktalarının belirlenmesi	210
Şekil B.4	Binaların D2 deprem seviyesi için 1. mod dağılımlarına göre KSY FEMA 440 ile performans noktalarının belirlenmesi	212
Şekil B.5	Binaların D1 deprem seviyesi için SRSS dağılımlarına göre KSY ATC 40 ile performans noktalarının belirlenmesi	214
Şekil B.6	Binaların D1 deprem seviyesi için SRSS dağılımlarına göre KSY FEMA 440 ile performans noktalarının belirlenmesi	215
Şekil B.7	Binaların D2 deprem seviyesi için SRSS dağılımlarına göre KSY ATC 40 ile performans noktalarının belirlenmesi	216
Şekil B.8	Binaların D2 deprem seviyesi için SRSS dağılımlarına göre KSY FEMA 440 ile performans noktalarının belirlenmesi	217

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No	Adı	Sayfa
Çizelge 2.1	Yapı sistemlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan davranışına neden olan etkenler	17
Çizelge 3.1	ATC 40 ve FEMA 356'da tanımlanan bina performans seviyeleri	45
Çizelge 4.1	Sönüm düzeltme çarpanı ( $\kappa$ ) değerleri	53
Çizelge 4.2	Yapısal davranış tipleri	54
Çizelge 4.3	Minimum $SR_A$ ve $SR_V$ değerleri	55
Çizelge 4.4	Etkin sönümün ( $\beta_{eff}$ ) hesabı için gerekli katsayılar	58
Çizelge 4.5	Etkin periyodun ( $T_{eff}$ ) hesabı için gerekli katsayılar	60
Çizelge 4.6	Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ile performans noktasının belirlenmesinde ATC 40 ve FEMA 440 arasındaki farklılıklar	63
Çizelge 4.7	$C_0$ düzeltme katsayısı değerleri	69
Çizelge 4.8	Etkin kütle çarpanı ( $C_m$ ) için değerler	70
Çizelge 4.9	$C_2$ düzeltme katsayısı için değerler	71
Çizelge 4.10	Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) ile hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesinde FEMA 356 ve FEMA 440 arasındaki farklılıklar	74
Çizelge 5.1	Kolon ve kirişler için çatlamış kesit rijitlik değerleri	78
Çizelge 5.2	Binaların ortak karakteristik özellikleri	79
Çizelge 5.3	Betonarme çerçevelerin kat kütleleri ve periyotları	80
Çizelge 5.4	Çerçevelerde kiriş elemanlarının boyutları ve özellikleri	81
Çizelge 5.5	Betonarme çerçeve binalarda kolon elemanlarının boyutları ve özellikleri	82
Çizelge 5.6	Analizlerde kullanılan LMSR grubu depremlere ait genel özellikler	85
Çizelge 5.7	Kirişlerin performans seviyesi sınırlarına ait $\square_p$ değerleri	86
Çizelge 5.8	Kolonların performans seviyesi sınırlarına ait $\square_p$ değerleri	87
Çizelge 5.9	Bina performans seviyeleri ve bölgeleri sınırlarına ait maksimum görel kat ötelemesi değerleri	87
Çizelge 5.10	Binaların 1.mod ve SRSS dağılımlarına ait atalet kuvvetleri	91
Çizelge 5.11	2KÇ'nin dinamik özellikleri	95
Çizelge 5.12	2KÇ'nin kapasite eğrisi ve kapasite spektrumu koordinatları	96
Çizelge 5.13	2KÇ'nin 1.mod ve D2 için KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440 ile hesaplanan parametreler	99
Çizelge 5.14	2KÇ'nin 1. mod dağılımlarına göre KSY ile hesaplanan performans noktaları	103
Çizelge 5.15	Binaların 1. mod ve D1 için KSY ATC 40 analiz sonuçları	104
Çizelge 5.16	Binaların 1. mod ve D2 için KSY ATC 40 analiz sonuçları	104
Çizelge 5.17	Binaların 1. mod ve D1 için KSY FEMA 440 analiz sonuçları	105
Çizelge 5.18	Binaların 1. mod ve D2 için KSY FEMA 440 analiz sonuçları	106



<b>Çizelge No</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.19	Binaların 1. mod ve D1, D2 için KSY ATC 40 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri	108
Çizelge 5.20	Binaların 1. mod ve D1, D2 için KSY FEMA 440 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri	109
Çizelge 5.21	Binaların 1. mod ve D1 için YKY FEMA 356 analiz sonuçları	117
Çizelge 5.22	Binaların 1. mod ve D2 için YKY FEMA 356 analiz sonuçları	117
Çizelge 5.23	Binaların 1. mod ve D1 için YKY FEMA 440 analiz sonuçları	118
Çizelge 5.24	Binaların 1. mod ve D2 için YKY FEMA 440 analiz sonuçları	118
Çizelge 5.25	Binaların 1. mod ve D1, D2 için YKY FEMA 356 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri	120
Çizelge 5.26	Binaların 1. mod ve D1, D2 için YKY FEMA 440 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri	121
Çizelge 5.27	Binaların SRSS ve D1 için KSY ATC 40 analiz sonuçları	124
Çizelge 5.28	Binaların SRSS ve D2 için KSY ATC 40 analiz sonuçları	124
Çizelge 5.29	Binaların SRSS ve D1 için KSY FEMA 440 analiz sonuçları	125
Çizelge 5.30	Binaların SRSS ve D2 için KSY FEMA 440 analiz sonuçları	125
Çizelge 5.31	Binaların SRSS ve D1, D2 için KSY ATC 40 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri	127
Çizelge 5.32	Binaların SRSS ve D1, D2 için KSY FEMA 440 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri	127
Çizelge 5.33	Binaların SRSS ve D1 için YKY FEMA 356 analiz sonuçları	130
Çizelge 5.34	Binaların SRSS ve D2 için YKY FEMA 356 analiz sonuçları	130
Çizelge 5.35	Binaların SRSS ve D1 için YKY FEMA 440 analiz sonuçları	130
Çizelge 5.36	Binaların SRSS ve D2 için YKY FEMA 440 analiz sonuçları	131
Çizelge 5.37	Binaların SRSS ve D1, D2 için YKY FEMA 356 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri	132
Çizelge 5.38	Binaların SRSS ve D1, D2 için YKY FEMA 440 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri	132
Çizelge 6.1	Binaların 1.mod dağılımına ait D1 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=0.532g$ ) için KSY ve YKY'nin karşılaştırılması	144
Çizelge 6.2	Binaların 1.mod dağılımına ait D2 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=1.064g$ ) için KSY ve YKY'nin karşılaştırılması	153
Çizelge 6.3	Binaların SRSS dağılımına ait D1 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=0.532g$ ) için KSY ve YKY'nin karşılaştırılması	160
Çizelge 6.4	Binaların SRSS dağılımlarına ait D2 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=1.064g$ ) için KSY ve YKY'nin karşılaştırılması	165
Çizelge 6.5	1. mod, SRSS dağılımı ve D1 deprem seviyesi için YKY FEMA 440'a göre incelenen periyot bölgelerine göre parametrelerin karşılaştırılması	180
Çizelge 6.6	1. mod, SRSS dağılımı ve D2 deprem seviyesi için YKY FEMA 440'a göre incelenen periyot bölgelerine göre parametrelerin karşılaştırılması	180

## **ÖNSÖZ**

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, betonarme binaların doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440) ve Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY FEMA 356 ve YKY FEMA 440) ile analizleri yapılarak performanslarının belirlenmesi ve elde edilen analiz sonuçlarının çeşitli parametrelerle karşılaştırılması ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında desteğini, bilgisini ve uzmanlığını benden esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Erdal İRTEM'e en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmam boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Arş. Gör. Dr. Kaan TÜRKER ve Arş. Gör. Umut HASGÜL'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Bana her konuda yardımcı olan ve hep yanımda olduklarını bildiğim dostlarıma çok teşekkür ediyorum.

Her zaman yanımda oldukları, anlayışları, sabırları ve destekleri için aileme, özellikle babam İnş. Yük. Müh. Zeki DERVİŞOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

**Balıkesir, 2006**

**Zeynep DERVİŞOĞLU**

## **1. GİRİŞ**

### **1.1 Konu**

Son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'ndeki 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge, Japonya'daki 1995 Kobe ve Türkiye'deki 1999 Marmara depremlerinde birçok yapıda ağır hasar ve göçme meydana gelmiş, ayrıca çok sayıda can kaybı olmuştur. Bunun üzerine yürürlükteki deprem yönetmelikleri sorgulanmış ve bilimsel araştırma projeleri başlatılmıştır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde yaşanan depremlerde meydana gelen büyük hasar sonucu, yapıların deprem etkileri altında yeterli bir dayanımını öngören performans kriterine alternatif olarak, yerdeğiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır, [1].

Yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirme çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Performans kriterini esas alan yöntemlerin geliştirilmesine yönelik olarak, Structural Engineers Association of California (SEAO) tarafından yayınlanan Bluebook [2] ve Vision 2000 [3], Applied Technology Council (ATC) tarafından ATC 40 [4] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından FEMA 273 [5], FEMA 356 [6], projeleri geliştirilmiştir. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB), Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) ve Earthquake Engineering

Research Institute (EERI) tarafından yürütölen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır.

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerin kullanımı FEMA 273, FEMA 356 ve ATC 40'ın yayınlanmasından sonra hızla artmıştır. Araştırmacılar aynı deprem seviyesi altındaki aynı binalar için doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinin farklı davranış talepleri verdiğini ortaya koymuşlardır. Bu davranış taleplerindeki farklılıklar ilgili yöntemler üzerinde araştırmalar yapılarak yöntemlerin birbirleri ile kıyaslanmasını gerektirmiştir. Bunun sonucu olarak yöntemlerin yapı davranış taleplerini belirlemekteki eksikliklerini gidermek ve daha güvenilir doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri geliştirmek amacıyla ATC 55 projesi başlatılmıştır. ATC 55 projesi kapsamında doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) ile ilgili araştırmalar yapılmış ve FEMA 440 [7] raporunda ilgili yöntemlerin değerlendirilmesi ve bu yöntemlerin geliştirilmesi (güncellenmesi) ile ilgili bilgiler yayınlanmıştır.

Benzer bilimsel araştırmalar Türkiye'de de yapılmış ve 1998 Türk Deprem Yönetmeliği güncellenmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bunun sonucunda Bayındırlık ve İşkan Bakanlığı tarafından 06 Mart 2006 tarihli Resmi gazetede yayımlanan ve bu tarihten bir yıl sonra yürürlüğe girecek olan "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" hazırlanmıştır [8]. Bu yeni deprem yönetmeliğinin 7. Bölümünde "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" ve 7.6. Bölümünde ise "Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler ile Belirlenmesi" başlığı altında ayrıntılı bilgilere yer verilmiştir.

## 1.2 Konu ile İlgili Çalışmalar

Konu ile ilgili yapılmış çalışmaların incelenmesi iki grupta ele alınmıştır. İlk grupta performans dayalı tasarım ve değerlendirme konusunda ve ikinci grupta doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri konusundaki literatür incelenerek özetlenmiştir.

### a) *Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme konusundaki çalışmalar*

- BlueBook [2] (1991)'de, performansa dayalı tasarım ile ilgili son gelişmelerin yer aldığı deprem tasarımı ile genel hususlara (performans hedefleri, yatay yükler, yöntemler vb.) yer verilmiştir.
- VISION 2000 [3] (1995)'de, 1994 Northridge depreminden sonra, geçmiş depremlerden edinilen tecrübelerden de yararlanarak performansa dayalı tasarımın ilk adımları atılarak yapılar için performans hedefleri, performans seviyeleri, deprem tehlike seviyelerinin tanımlamaları yapılmıştır. Projede ayrıca performansa dayalı tasarım için doğrusal olmayan analiz yöntemlerine, bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarına yer verilerek performansa dayalı tasarımın genel çerçevesi çizilmiştir.
- ATC 40 [4] (1996)'da, betonarme yapıların deprem yükleri altındaki performansının değerlendirilmesi, onarımı ve güçlendirilmesi ile ilgili konulara yer verilmiştir. Aynı zamanda doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri, yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmesi için performans hedefleri, yapılarda karşılaşılan yapısal eksikliklere ve bunların giderilmesi için onarım ve güçlendirme teknikleri de açıklanmıştır. Ayrıca yapıların performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesi için modelleme parametreleri ve bu parametrelere ait sınırlar da verilmiştir.

- FEMA 273 [5] (1997)'de, betonarme, çelik, ahşap ve hafif metal yapıların deprem yükleri altındaki performansının belirlenmesi, onarımı ve güçlendirilmesi hakkında tanımlamalara ve yaklaşımlara, doğrusal ve doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerine yer verilmiştir. Aynı zamanda deprem tehlike seviyeleri, performans hedefleri bina performans seviyelerinin vb. tanımları yapılmış ve sınır değerleri belirtilmiştir. Ayrıca, taşıyıcı sistem elemanları için modelleme parametreleri ve davranış sınırlarına ait kriterler önerilmiştir.
- Eurocode8 [9] (2003)'de, yapıların performans gereksinimlerine ve bunun için gerekli performans kriterlerine, depreme dayanıklı yapı tasarımı için temel kurallara, betonarme, çelik, kompozit, ahşap ve yığma yapılar için tasarım ilkelerine, tasarım için analiz yöntemlerine, yapıların performans değerlendirmelerini yapabilmek için yapısal davranış parametrelerine ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerine yer verilmiştir.
- Eurocode8 [10] (2004)'de, yapıların performans değerlendirmelerini yapabilmek için performans tanımlamalarına, yapısal değerlendirme için gerekli tanımlamalara, yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmeleri için modelleme parametrelerine ve doğrusal olmayan analiz (statik ve dinamik) yöntemlerine ayrıntılı olarak yer verilmiştir.
- FEMA 356 [6] (2000)'de, FEMA 273 projesinin 2000 yılında düzenlemesi ile ön standart olarak ortaya çıkan bu projede, betonarme, çelik, ahşap ve hafif metal yapıların performans esaslı tasarım ve değerlendirmede yeni yaklaşım ve önerilere yer verilmiştir. Deprem yükleri altındaki yapıların performanslarının belirlenmesi, onarımı ve güçlendirilmesi ile ilgili yöntem ve yaklaşımlar sunulmuştur. Ayrıca, betonarme ve çelik elemanlara ait yapısal davranış kriterleri revize edilmiştir.

- FEMA 440 [7] (2004)'da ATC 40'da açıklanan Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve FEMA 356'da yer alan Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi'nin (YKY), yapı davranış taleplerini belirlemedeki parametreler değerlendirilmiştir. ATC 55 kapsamında ortaya çıkan bu raporda, yöntemlerde belirlenen eksiklikleri gidermek ve daha güvenilir doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri geliştirmek amacıyla yöntemlerin değerlendirilmesi ve bu yöntemlerin geliştirilmesi (güncellenmesi) ile ilgili bilgiler yer almıştır. Ayrıca ATC 40'daki etkin sönümün hesaplanması, eşdeğer doğrusallaştırma ve FEMA 356'daki hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesinde kullanılan katsayılar ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ) üzerine yapılan çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

*b) Doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri konusundaki çalışmalar*

- Özer [11] (1987)'de, düzlem çerçevelerde ikinci mertebe limit yükün hesabı için genel bir yük artımı yöntemi geliştirmiştir. Bu çalışmada malzemenin elasto-plastik davranışı ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisi gözönüne alınarak, plastik mafsalsal hipotezi, bileşik iç kuvvet durumunu da kapsayacak şekilde genişletilmektedir. Buna bağlı olarak yöntemde düşey yüklere bağlı olarak hesaplanan normal kuvvetler için sabit düşey yükler ve monotonik artan yatay yükler altında hesap yapılarak, ikinci mertebe etkileri doğrusallaştırılmaktadır. Sistemde her plastik dönme yeni bir bilinmeyen olarak alınmakta ve plastik kesitteki akma koşulunu ifade eden her yeni denklem mevcut denklem takımına ilave edilmektedir. Sonuç olarak; her plastik kesit oluşumunda yeni bilinmeyene ait satır ve kolonun indirgenmesiyle denklem takımının yeniden kurulup çözülmesine gerek duyulmamaktadır. Geliştirilen bu yöntemde, plastik kesitlerdeki plastik şekildeğiştirmeler ilave bir hesap yapmaya gerek kalmadan direkt olarak hesaplanabilmektedir.
- İrtem [12] (1991) tarafından yapılan çalışmada, [11]'de açıklanan yük artımı yöntemi uzay çubuk sistemler için geliştirilmiş olup ikinci

mertebe limit yük belirlenebilmekte ve yapı davranışı izlenebilmektedir. Çalışmada, bileşik eğik eğilme etkisindeki çelik kutu ve benzeri kesitler için üç boyutlu doğrusallaştırılmış akma yüzeyleri önerilmiş ve geliştirilen yöntemin bu tip kesitlerden oluşan uzay çerçeveler üzerinde uygulaması yapılmıştır. Yöntemin sayısal uygulamaları için bir bilgisayar programı (İMEP-3D) hazırlanmıştır.

- Girgin [13] (1996)'da betonarme uzay çubuk sistemlerin ikinci mertbe limit yükünün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi amacıyla bir yük artımı yöntemi geliştirmiş ve bu yöntemin geliştirilmesinde [11]'de esasları açıklanan yük artımı yönteminden yararlanılmıştır. Bu çalışmada, malzeme bakımından doğrusal olmayan betonarme sistemlerde akma koşullarının doğrusal denklemlere dönüştürülmesi amacıyla, bileşik eğik eğilme etkisindeki betonarme çubuk elemanlar için doğrusal bölgelerden oluşan idealleştirilmiş bir üç boyutlu akma yüzeyi önerilmiş ve doğrusal olmayan burulma şekildeğiştirmelerinin sistem davranışına etkisi de gözönüne alınmıştır. Ayrıca, bilinmeyen sayısının azaltılmasını ve katsayılar matrisinin indirgenme işleminin hızlandırılmasını sağlayan bir algoritma önerilmiş ve bu şekilde geliştirilen yöntemin çok katlı büyük betonarme yapı sistemlerinin ikinci mertbe elasto-plastik hesabına etkin olarak uygulanmasını sağlamıştır. Buna bağlı olarak bir bilgisayar programı hazırlanmıştır (PARC).
- Freeman [14] (1998)'de, ilk kez 1970'li yıllarda binaların sismik değerlendirilmesi amacıyla ortaya çıkan kapasite spektrum yöntemi ve bu yöntemin gelişimi ve sağladığı üstünlükler açıklanmıştır. Çalışmada, yöntemin binaların performans değerlendirilmeleri, onarımı ve güçlendirilmeleri kapsamında ATC 40 projesine dahil edilmesine yer verilmiştir. Yöntem bir örnek üzerinde ayrıntılı olarak açıklanmış ve sonuçları spektral formatı kullanan diğer yöntemlerle (eşit yerdğiştirme yöntemi, inelastik davranış spektrumu yöntemi ve sekant yöntemi) karşılaştırılmıştır.



- Fajfar [15] (1999)'da önerdiği yeni bir grafik yöntemle (N2) yapıların farklı yer hareketleri ile kapasitelerini belirlemiş ve Kapasite Spektrum Yöntemi sonuçları ile karşılaştırmalar yapmıştır. Bu çalışmada, Kapasite Spektrum Yönteminde inelastik talep spektrumu kullanma yaklaşımı ayrıntılı olarak ele alınmış ve kolay kullanılabilir bir formatta N2 Metodu olarak adlandırılan yeni bir yöntem sunulmuştur. Geliştirilmiş Kapasite Spektrum Yöntemi olarak da ifade edilen bu yöntem yerdeğiştirme esaslı tasarım yönteminin tersten uygulanması esasına dayanmaktadır. Geliştirilmiş Kapasite Spektrum Yönteminin uygulanması iki örnek üzerinde gösterilmiştir.
- Zhao ve Kwan [16] (1999)'da artan yatay yüke maruz çok katlı yapılarda yük-şekildeğiştirme bağıntısını belirlemek için basitleştirilmiş bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemi uygulamak için betonarme çekirdekli 51 katlı çelik bir çerçeve yapı sistemi ele alınmıştır. Geleneksel pushover analizi ile karşılaştırıldığında geliştirilen yöntemin yapının temel özelliklerini kullandığı ve bu yöntemin daha kolay ve daha kullanışlı olduğu belirlenmiştir.
- Albanesi vd. [17] (2000)'de ATC 40 dokümanında önerilen iteratif yöntemler, maksimum yerdeğiştirme ve ivmeyi değerlendirerek, doğrusal olmayan yapıların sismik taleplerini geliştirmek amacıyla açıklanmıştır. Ayrıca yöntemlerin sonuçları doğrusal olmayan dinamik iterasyonla, iki doğru parçalı (bilineer) model ve Takeda modeli ile, eşit enerji ve eşit yerdeğiştirme kabulleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ATC 40 yöntemi daha basit olan eşit enerji ve eşit yerdeğiştirme prensiplerine göre eşit veya daha az sonuçlar vermiştir.
- Aschheim ve Black [18] (2000)'de yeni yapıların sismik tasarımı ve mevcut yapıların değerlendirilebilmesi için sismik talebin yeni bir spektral gösterimi olan Akma Noktası Spektrumu Yöntemi'ni geliştirmiştir. Önerilen yöntemin maksimum yerdeğiştirmeyi tahmin

etmekte FEMA 273\274 ve ATC 40'daki doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerine katılması önerilmiştir. Çalışmada önerilen yöntem iki adet, farklı kriterlere göre boyutlandırılmış 4 katlı çelik çerçeve, 15 yer hareketi ve bilinear ve rijitlik azalması histeretik modelleri için hesaplanmıştır.

- Chopra ve Goel [19] (2000)'de ATC 40 da anlatılan doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ile yapılan yaklaşımlar anlatılmıştır. ATC40'da yer verilen Yöntem A'daki eksiklikler tanımlanmıştır. Sonuç olarak ATC 40 yöntemleri spektrumun hız-hassas ve yerdeğiştirme-hassas bölgelerindeki elastik tasarım spektrumuna göre çok daha yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Çalışmada, bu periyot bölgelerindeki sistemler için inelastik bir sistemin maksimum deformasyonu eşit yerdeğiştirme kuralı kullanılarak elastik tasarım spektrumundan hesaplanmıştır. Diğer taraftan iteratif yöntemler bir çok eşit doğrusal sistemin analizini gerektirmektedir. Buna rağmen, söz konusu yöntemlerin yanlış sonuçlar verdiği belirlenmiştir.
- Zamfirescu ve Fajfar [20] (2001)'de yapıların doğrusal olmayan sismik analizlerinin değerlendirebilmesi için 6 basitleştirilmiş yöntem özetlenmiştir. Bunun yanında pushover analiz gerektirmeyen iki basit yöntem açıklanmıştır. Bu yöntemlerin sonuçları doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları ile çok katlı çerçeveler üzerinde karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak uygulanan yöntemlerin genellikle yeterli doğrulukta sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Fakat yöntemler basitlik, şeffaflık ve teorik arka planın netliği konularında farklılıklar göstermektedir.
- Miranda ve Garcia [21] (2001)'de tek serbestlik dereceli sistemlerin maksimum inelastik yerdeğiştirmelerine hesaplamada kullanılan 6 farklı doğrusal olmayan statik analiz yöntemi incelenmiştir. Bu yöntemler ile inelastik yapıların maksimum yerdeğiştirme taleplerini tahmin etmekte doğrusal elastik sistemlerin maksimum yerdeğiştirme

taleplerini kullanmışlardır. Bu yöntemlerin uygulanmasında elasto-plastik ve rijitlik azalması modelleri kullanılmıştır. Sonuç olarak tüm yöntemlerin avantajları ve dezavantajları ortaya konulmuştur.

- Lew ve Kunnath [22] (2001)'de yapıların sismik tepkilerinin belirlenmesinde FEMA 273'de belirtilen doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemleri değerlendirmek üzere, iki çelik ve iki betonarme bina boyutlandırılarak, doğrusal olmayan statik analizler yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinin kat öteleme taleplerini tahmin etmekte doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri kadar etkili olmadığı görülmüştür.
- Moghadam [23] (2002)'de yüksek modların etkin olduğu çok katlı binalarda pushover analizlerinin sonuçlarını kullanarak, yapıların maksimum sismik etkilerini tahmin eden bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin uygulanabilmesi için 20 katlı bir bina seçilmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen bu yöntem pushover analizini yüksek binalarda da uygulanabilir duruma getirilmiştir.
- Iancovici vd. [24] (2002)'de betonarme binaların performans kavramına dayalı sismik kapasite değerlendirme yöntemleri ile analizleri yapılmıştır. Bu analizler kapasite spektrum yöntemi ve zaman tanım alanındaki hesap yöntemleriyle 1995 Kobe Depreminde hasar gören betonarme bir bina üzerinde kapasite spektrum yönteminin dikkat çeken sınırları kullanılarak analizleri yapılmış ve çeşitli parametreler bakımından incelenmiştir.
- Falcao ve Bento [25] (2002)'de kapasite eğrisi elde edilen yapıların performansını değerlendirmek ve karşılaştırmak üzere doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden kapasite spektrum yöntemi, yerdeğiştirme katsayıları yöntemi ve N2 metodu kullanılmıştır. Hesaplanan davranış büyüklükleri, doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve doğrusal olmayan

statik analiz sonuçlarının düzenli yapı sistemlerinde sismik talepler hakkında yeterli bilgi sağladığı görülmüştür.

- Albanesi ve Nuti [26] (2002)'de pushover analize dayalı Kapasite Spektrum Yöntemi, Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi ve N2 Metodu gibi en sık kullanılan doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri tanımlanmış ve yöntemler arasındaki farklılıklar vurgulanmıştır. Bu yöntemlerin beklenen sismik davranış büyüklükleri ve güvenilirlik dereceleri farklı zemin tipleri için değerlendirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen sonuçlar doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Buna bağlı olarak az katlı yapılarda elde edilen sonuçlar doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi ile elde edilen sonuçlara yakın değerler verdiği görülmüştür.
- Jan vd. [27] (2003)'de geleneksel doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinin yüksek binaların inelastik sismik taleplerini belirlemedeki eksiklikleri nedeniyle yüksek mod etkilerini gözönüne alan yeni bir basitleştirilmiş pushover analiz yöntemi geliştirilmiştir. Önerilen yöntemin uygulanması için 5 farklı yükseklikteki binalar örnek alınmıştır. Çalışma sonucunda önerilen yöntem, tepe yerdeğiştirmesi, kat öteleme talepleri , plastik mafsallı dönmeleri gibi parametreler bakımından yüksek binaların önemli özelliklerini tahmin etmekte daha kesin sonuçlar verdiği belirlenmiştir.
- Lin ve Chang [28] (2003)'de yapıların doğrusal olmayan davranışlarını doğrusal olmayan statik analizlerle açıklamak için Kapasite Spektrum Yöntemi, güçlendirilmiş betonarme binaların değerlendirilmesi ve uyarlanması için geliştirilmiştir. Elasto-plastik tek serbestlik dereceli sistemler için Kapasite Spektrum Yöntemi'nin başarısı sadece davranış spektrumunu oluşturmak için seçilen ivme tepkisine ve eşdeğer viskoz davranış oranlarını hesaplamak için geliştirilen modele bağlıdır. Bu yöntemle göre pseudo-ivme tepkisi spektrumu ( $PS_a$ ) talep diyagramını oluşturmak için kullanılmıştır. Tip A histeretik modelini

kullanan ATC-40'daki Kapasite Spektrum Yöntemi'nin özellikle %10'dan fazla sönüm oranına ve 0.15sn'den uzun periyotlara sahip sistemler için yetersiz olabileceği belirlenmiştir. Bu çalışma Kapasite Spektrum Yöntemi'nin başarısını arttırmak için talep diyagramını oluştururken  $PS_a$  yerine gerçek mutlak ivme tepki spektrumunun ( $S_a$ ) kullanılması önerilmiştir. Geliştirilen yöntemin adım adım uygulaması ve örnekleri sunulmuştur.

- Luco vd. [29] (2003)'de yapısal performans değerlendirmesi ve tasarımı için çok zaman alan doğrusal olmayan dinamik analizler yerine yapıların sismik yapısal taleplerini tahmin etmenin daha hızlı olacağı vurgulanmıştır. Bu çalışmada kullanılan tahminlerin hassaslığı ve eğilimleri; (i) verilen yapının elastik modal titreşim özellikleri, (ii) yapının doğrusal olmayan statik pushover analizi, (iii) ve belirtilen yer hareketi kayıtları için elastik ve inelastik tek dereceli zaman tanım alanı kayıtları değerlendirilmiştir. Çalışmada moment aktaran çerçeve çelik (SMRF) binalardaki kılçık (fishbone) modelleri doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarıyla ilgili olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda önce kılçık modellerini kullanarak elde edilen tahminlerin hassaslığını aynı binaların tipik "tam çerçeveli" modellerine eşdeğer olduğu belirlenmiştir.
- Lin vd. [30] (2004)'de yapıların performansa dayalı tasarımı için FEMA 273'deki Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi ve ATC 40'daki Kapasite Spektrum Yöntemi gibi doğrusal olmayan yöntemlerin kesinliği deneysel çalışmalarla doğrulanmıştır. 3 adet betonarme kolon üzerinde yapılan Psedeu-dinamik testler, çevirimsel yükleme testleri ve pushover analizleri ile Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi ve Kapasite Spektrum Yöntemleri ile elde edilen maksimum inelastik deformasyon talepleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca çalışma, inelastik tasarım spektrumu kullanılarak geliştirilen Kapasite Spektrum Yöntemi'ni de içermektedir. Çalışmanın sonucu olarak, Yerdeğiştirme Katsayıları Yönteminin pik yerdeğiştirmeleri yaklaşık %28 daha fazla,

Kapasite Spektrum Yönteminin ise %20 daha az belirlendiği görülmüştür.

- Türker [31] (2005)'de yüksek modların etkin olduğu binaların deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışının belirlenmesi amacıyla, etkin bir Çok Modlu Uyarlamalı Yük Artımı Yöntemi (ÇMUYAY) geliştirmiştir. Yöntemin betonarme binalar üzerindeki sayısal uygulamalarına olanak sağlamak üzere MEPARCS adı verilen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu çalışmada, geliştirilen yöntem lineer olmayan dinamik analiz (LODA), 1. mod esaslı geleneksel lineer olmayan statik analiz (G-LOSA) ve FEMA 356'da önerilen üniform ve modal dağılımları için LOSA ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda ÇMUYAY'nin diğer üç dağılımdan elde edilen sonuçlara göre LODA'e daha yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir.
- Kalkan ve Kunnath [32] (2006)'da doğrusal olmayan dinamik analizlerin çok sayıda deprem kaydı gerektirmesi ve doğrusal olmayan statik analizlerin FEMA 356'da önerilen yük dağılımları kullanılarak yüksek mod etkilerini belirlemedeki yetersizliği nedeniyle yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Uyarlamalı modal birleştirme isimli yöntemi incelemek amacıyla 6 ve 13 katlı çelik moment aktaran çerçeve binalar ile 7 ve 20 katlı betonarme moment aktaran çerçeve binalar boyutlandırılmıştır. Çalışma sonucunda, Uyarlamalı modal birleştirme yönteminin katlar arası öteleme ve plastik dönme gibi pik davranışların ölçümlerini çalışmada incelenen diğer doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden daha tutarlı olarak tahmin ettiğini göstermiştir.
- Fragiaco vd. [33] (2006)'da sismik performansı değerlendirmede pushover analiz esaslı doğrusal olmayan statik yöntemleri kullanıldığında bunun doğruluk derecesi incelenmiştir. Doğrusal olmayan statik yöntemleri tek serbestlik dereceli sistemler, kayma tipi çok serbestlik dereceli sistemler ve rijit düğüm noktalı moment aktaran çelik bir çerçeve için Eurocode 8'deki elastik

spektrumla uyumlu olarak oluşturulan on deprem yer hareketi gözönüne alınarak uygulanan doğrusal olmayan dinamik analiz ile karşılaştırılmıştır. Yutulan daha küçük enerjili histeretik çevrimler daha kısa periyotlar için daha düşük davranış gösterirken, daha uzun periyotlu tek serbestlik dereceli sistemlerin histeretik modelden bağımsız olarak eşit yerdeğiştirme yaklaşımını sağladığı belirlenmiştir. Bu sonuç, düşük ve yüksek süneklilik düzeyine sahip sistemlerin gerçek davranışını sırasıyla daha az ve daha fazla hesaplayan ATC 40 Kapasite Spektrum Yöntemi ile belirlenenin tam tersi olduğu görülmüştür. Bunun tersine Vidic, Fajfar ve Fischinger tarafından önerilen inelastik spektrum yönteminin, tüm taşıyıcı sistem tipi için daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

### **1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Bu çalışmada, betonarme binaların doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440) ve Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY FEMA 356 ve KYK FEMA 440) ile analizleri yapılarak performanslarının belirlenmesi ve elde edilen analiz sonuçlarının çeşitli parametrelerle karşılaştırılması ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda öncelikle, herhangi bir düzensizliği bulunmayan ve geniş bir periyot aralığındaki sekiz farklı betonarme çerçeve bina belirlenerek yürürlükteki Türk Standartları (TS 498 [34], TS 500 [35]) ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1998) [36] esaslarına göre boyutlandırılacaktır. Sonra, incelenen betonarme binaların doğrusal olmayan teoriye göre elastik ötesi statik itme (pushover) analizi yapılarak kapasite eğrileri belirlenecektir. İncelemeler her binanın bir çerçevesi üzerinde yapılacaktır.

Daha sonra, çok sayıdaki gerçek deprem kayıtlarından yararlanılarak elde edilen düzleştirilmiş spektrum eğrisi ve bunun 2 misli ölçeklendirilmiş hali (iki farklı deprem seviyesi) için, doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden ATC 40'daki KSY (KSY ATC 40), FEMA 356'daki YKY (YKY FEMA 356) ve bu yöntemlerin binaların maksimum yerdeğiştirme taleplerini belirlemedeki eksiklikleri (etkin sönüm, yerdeğiştirme katsayıları) gidermek üzere ATC 55 projesi kapsamında ortaya konulan FEMA 440 raporundaki geliştirilmiş KSY (KSY FEMA 440) ve YKY (YKY FEMA 440) ile incelenen betonarme çerçeve binaların yerdeğiştirme ve dayanım talepleri belirlenerek, kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, kat yatay yerdeğiştirmeleri ve maksimum kat plastik dönme talepleri elde edilecektir. Doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden KSY ve YKY, hesaplanan bu parametreler için birbirleriyle karşılaştırılarak farklı periyot bölgeleri için değerlendirmeleri yapılacaktır.



## 2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

Mevcut yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin belirlenmesinde, çok kere ileri analiz yöntemlerine başvurulması gerekli olmaktadır. Doğrusal olmayan teoriyi esas alan hesap yöntemlerindeki gelişmelerle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki gerçek davranışının daha yakından izlenebilmesi, özellikle yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelere bağlı deprem performansının daha gerçekçi olarak belirlenebilmesi mümkün olmaktadır. Aynı zamanda bu gelişmelerle, söz konusu yöntemlerin pratiğe uygulanabilmesi giderek daha sistematik hale gelmekte ve kolay uygulanabilir olmaktadır, [37].

Diğer taraftan, yeni tasarlanacak binaları daha gerçekçi ve daha ekonomik olarak boyutlandırmak ve onlara daha estetik görünüm kazandırmak için, yapı sistemlerinin daha da narin yapılabilmesi isteği her geçen gün artmaktadır. Günümüzde bunu sağlamak amacıyla, yapı malzemelerinin orantılı sınır gerilmenin üzerindeki taşıma kapasitelerini de gözönüne alan plastik (elastik ötesi) hesap yöntemlerinden yararlanılabilmektedir. Ancak, narin yapılarda yerdeğiştirmeler önem kazanmakta ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin de gözönüne alınması gerekmekte ve bunun sonucu olarak, yapı sistemlerinin dış etkiler altında gerek malzeme davranışı (elastik ötesi), gerekse geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan analizinin yapılabilmesi gerekmektedir. Bunun için doğrusal olmayan analiz yöntemlerine gereksinim duyulmaktadır, [37].

Bir yapı sisteminin dış etkiler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır. Bu nedenler aşağıda verilmiştir.

- a- Malzemenin *iç kuvvet-şekildeğiştirme* bağıntılarının, diğer bir ifadeyle bünye denklemlerinin doğrusal olmaması.
- b- Geometri değişimlerinin etkisi nedeniyle denge denklemlerinin doğrusal olmaması.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışına neden olan etkenler ve bu etkenleri gözönüne alan teoriler ile ilgili bilgiler Çizelge 2.1'de özetlenmiştir, [1].

Yerdeğiştirmelerin denge denklemlerinde ihmal edilebilecek kadar küçük kabul edilemeyeceği sistemlerde denge denklemleri şekildeğiştirmiş sistem eksenini üzerinde yazılması gerekmektedir.

Yerdeğiştirmelerin geometrik uygunluk koşullarında ihmal edilebilecek kadar küçük kabul edilemeyeceği sistemlerde ise, geometrik süreklilik denklemlerinin de şekildeğiştirmiş sistem eksenini üzerinde yazılması gerekmektedir.

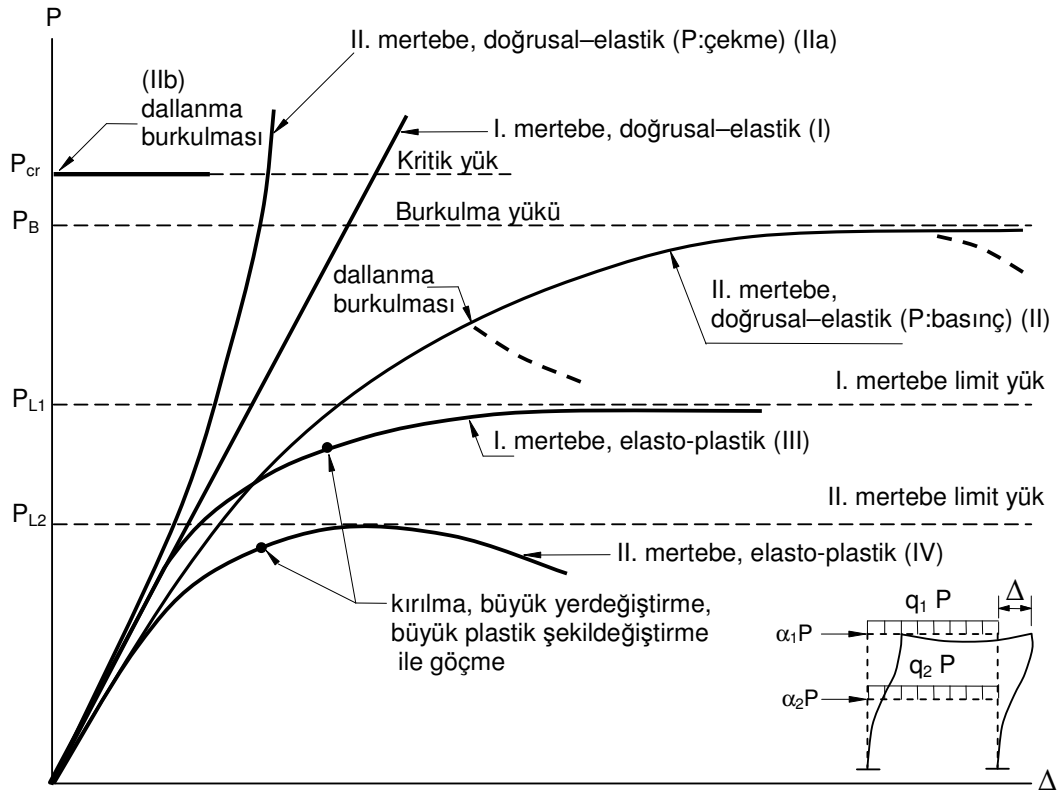
Çizelge 2.1 Yapı sistemlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan davranışına neden olan etkenler [1]

Çözümün Sağlanması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
	Birinci Mertebe Doğrusal Elastik Teori	Malzeme Bakımından	Geometri Değişimleri Bakımından		Her İki Bakımdan	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Yerdeğiştirme Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Yerdeğiştirme Teorisi
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntıları)	<i>Doğrusal-Elastik</i>	<i>Doğrusal-Elastik Değil</i>	<i>Doğrusal-Elastik</i>	<i>Doğrusal-Elastik</i>	<i>Doğrusal-Elastik Değil</i>	<i>Doğrusal-Elastik Değil</i>
Denge Denklemlerinde Yerdeğiştirmeler	küçük (ihmal ediliyor)	küçük (ihmal ediliyor)	küçük <b>Değil</b> (gözönüne alınıyor)	küçük <b>Değil</b> (gözönüne alınıyor)	küçük <b>Değil</b> (gözönüne alınıyor)	küçük <b>Değil</b> (gözönüne alınıyor)
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yerdeğiştirmeler	küçük (ihmal ediliyor)	küçük (ihmal ediliyor)	küçük (ihmal ediliyor)	küçük <b>Değil</b> (gözönüne alınıyor)	küçük (ihmal ediliyor)	küçük <b>Değil</b> (gözönüne alınıyor)

Sabit düşey yükler ve monotonik artan yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen *yatay yük parametresi-yatay yerdeğiştirme* ( $P-\Delta$ ) bağıntıları Şekil 2.1'de şematik olarak gösterilmiştir, [1].

Malzemenin artan yüklerle birlikte sınırsız (sürekli) olarak *doğrusal-elastik* davranış gösterdiği varsayımının yapıldığı bir yapı sisteminin, artan dış yükler altında birinci mertebe teorisine göre elde edilen davranışı Şekil 2.1'de (I) doğrusu ile temsil edilmektedir. Geometri değişimlerinin

denge denklemlerine etkisinin, diğer bir deyişle, elemanlardaki aksel kuvvetlerden oluşan ikinci mertebe etkilerinin hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde ise, sistemdeki elemanların aksel kuvvetinin basınç veya çekme olmasına göre yapı sisteminin davranışı farklı olabilmektedir. Örneğin aksel kuvvetin basınç olması halinde, Şekil 2.1'deki (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklere daha da çok artan yerdeğiştirmeler karşı gelmektedir. Dış yüklerin şiddetini ifade eden yük parametresi (P) artarak *doğrusal-elastik* burkulma yükü adı verilen bir  $P_B$  değerine eşit olunca yerdeğiştirmeler daha da hızla artarak sonsuza erişir ve bu durumda sistem burkularak göçer. Bazı özel durumlarda, burkulmadan sonra artan yerdeğiştirmelere azalan yük parametresi karşı gelebilir. Örneğin asma sistemler gibi aksel kuvvetin çekme olduğu durumlarda ise, Şekil 2.1'de (IIa) ile gösterilen P- $\Delta$  diyagramı pekleşen özellik gösterir, [1].



Şekil 2.1 Farklı teoriler için yatay yük parametresi-yatay yerdeğiştirme (P- $\Delta$ ) bağıntıları

Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekildeğiştirmeyen sistemlerde, P yük parametresinin bir  $P_{cr}$  değerinde Şekil 2.1'de (IIb) eğrisinde görüldüğü gibi yerdeğiştirmeler aniden artarak sonsuza ulaşır, bu dallanma burkulması olarak tanımlanmaktadır. Dallanma burkulmasına neden olan yüke kritik yük ( $P_{cr}$ ) denilmektedir. Kritik yük genellikle  $P_B$  burkulma yükünden biraz büyük veya ona eşittir. Dallanma burkulması, bazı hallerde Şekil 2.1 (II) eğrisinde olduğu gibi burkulmadan önce şekildeğiştiren sistemlerde de oluşabilir, [1].

Malzemenin doğrusal olmayan davranış gösterdiği sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde *doğrusal-elastik* sınırı aşmakta ve bu kesitler ve çevresindeki sınırlı bölgede doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmeler meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler genel olarak oluştuğu sistem elemanı üzerinde sürekli olarak yayılmaktadır. Buna karşılık, kopma sırasındaki toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranının büyük olduğu, yani sünek davranış gösteren malzemedan yapılmış sistemlerde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsallık (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin *doğrusal-elastik* davrandığı varsayılabilir. Bu varsayım plastik mafsallık hipotezi olarak isimlendirilmektedir. Plastik mafsallık hipotezinin esas alındığı bir yapı sisteminin birinci mertebeye göre hesabında Şekil 2.1 (III) eğrisinde görüldüğü gibi, oluşan plastik mafsallar nedeniyle sistemin tümü veya bir bölümü mekanizma durumuna gelebilir. Bu duruma karşı gelen yüke birinci mertebeye limit yük adı verilir ve  $P_{L1}$  ile gösterilir, [1].

Malzeme davranışı ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan etkinin gözönüne alınması halinde, yani yapı sisteminin ikinci mertebeye *elasto-plastik* teoriye göre hesabı ile elde edilen P- $\Delta$  diyagramı Şekil 2.1'de (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu diyagram ilk kritik kesitte *doğrusal-elastik* sınırın aşılmasına kadar Şekil 2.1'deki (II) eğrisini izlemekte,

daha sonra oluşan plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle artan yatay yük parametresine karşılık daha hızlı artan yerdeğiştirmeler gelmektedir. Plastik mafsallarda hipotezinin esas alındığı yapı sistemlerinde, dış yükler artarak bir  $P_{L2}$  sınır değerine eşit olunca, meydana gelen plastik mafsallar nedeniyle rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer, diğer bir deyişle,  $P-\Delta$  diyagramında  $P_{L2}$ 'den sonra artan yerdeğiştirmelere azalan  $P$  yükleri karşı gelir. Sistemde stabilite yetersizliğine neden olan bu yük parametresine ikinci mertebeli limit yük ( $P_{L2}$ ) denilmektedir, [1].

Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yerdeğiştirmeler, büyük plastik şekildeğiştirmeler ile betonarme sistemlerde oluşan büyük çatlaklar ve kırılmalar nedeniyle yapı işletme dışı (göçme) kalabilir, [1].

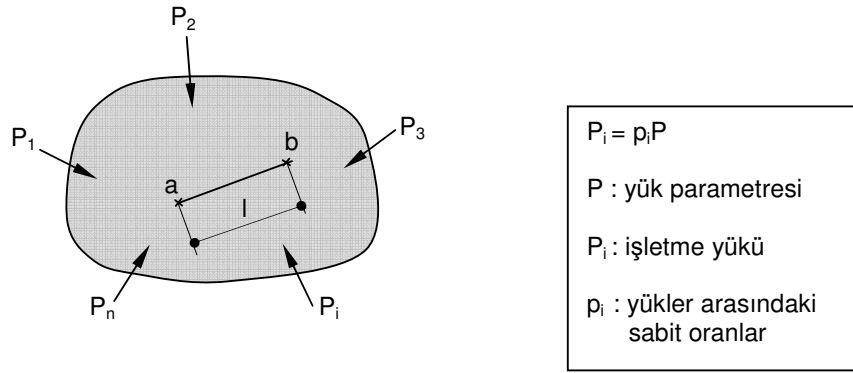
Yapı sistemlerinin değişen dış etkiler altındaki doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi, taşıma kapasitelerinin belirlenmesi ve özellikle deprem etkileri altında yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı performans değerlendirmelerinde, plastik mafsallarda teorisini esas alan yöntemleri uygulayarak gerçekçi çözümler elde edilebilmektedir. Deprem etkisi altındaki yapıların performanslarının gerçekçi bir biçimde elde edilebilmesi için öncelikle malzeme ve geometri değişimleri bakımından (iki bakımdan) doğrusal olmayan teoriye göre analizi yapılarak kapasite eğrisinin elde edilmesi gerekmektedir.

## 2.1 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemler

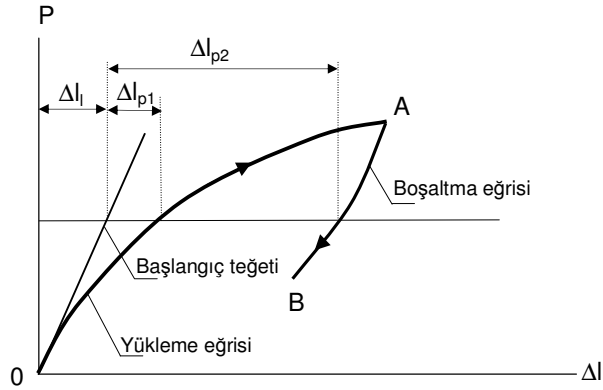
Bu bölümde, çeşitli yapı malzemelerinin *gerilme-şekildeğiştirme* bağıntıları ile betonarme çubuklarda *iç kuvvet-şekildeğiştirme* bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları açıklanacaktır.

## 2.1.1 Yapı Malzemelerinin Şekildeğiştirme Özellikleri

Şekil 2.2'de görülen katı bir cisim, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan  $P_i$  dış kuvvetlerinin etkisi altındadır. Bu dış kuvvetlerin büyüklüğünü tanımlayan  $P$  yük parametresinin değişimi ordinata, bu kuvvetlerden dolayı katı cismin üzerindeki  $a$  ve  $b$  noktaları arasındaki  $l$  uzunluğunun  $\Delta l$  değişimi apsise taşınarak çizilen  $P$ - $\Delta l$  diyagramı Şekil 2.3'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Dış kuvvetler etkisindeki katı cisim



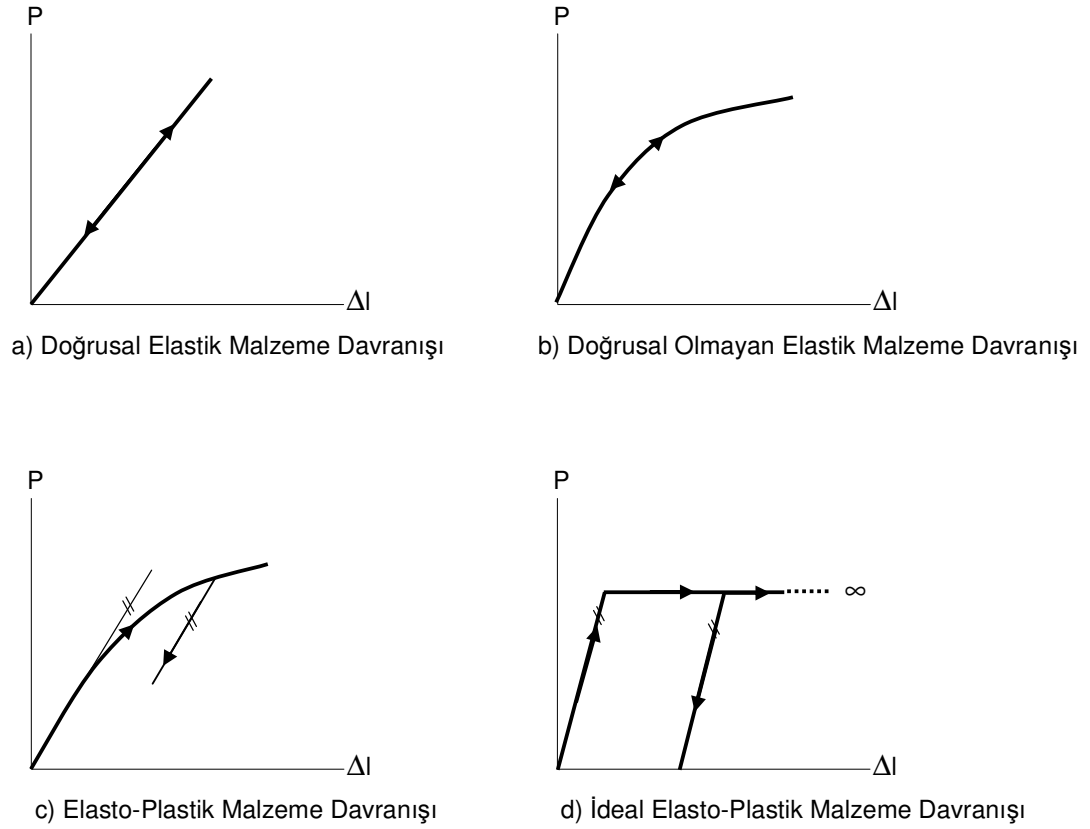
Şekil 2.3 Şematik yük parametresi-şekildeğiştirme ( $P$ - $\Delta l$ ) bağıntısı

Bu diyagramın, artan yük parametresi için elde edilen  $OA$  bölümüne yükleme eğrisi, yüklerin kaldırılması durumuna karşı gelen  $AB$  bölümüne de boşaltma eğrisi denilmektedir. Eğrinin başlangıç teğeti ile ordinat eksenindeki  $\Delta l_1$  şekildeğiştirmeleri doğrusal şekildeğiştirmeler, başlangıç teğeti

ile yükleme ve boşaltma eğrileri arasında kalan  $\Delta l_{p1}$  ve  $\Delta l_{p2}$  şekildeğiştirmeleri ise doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler olarak tanımlanmaktadır, [1].

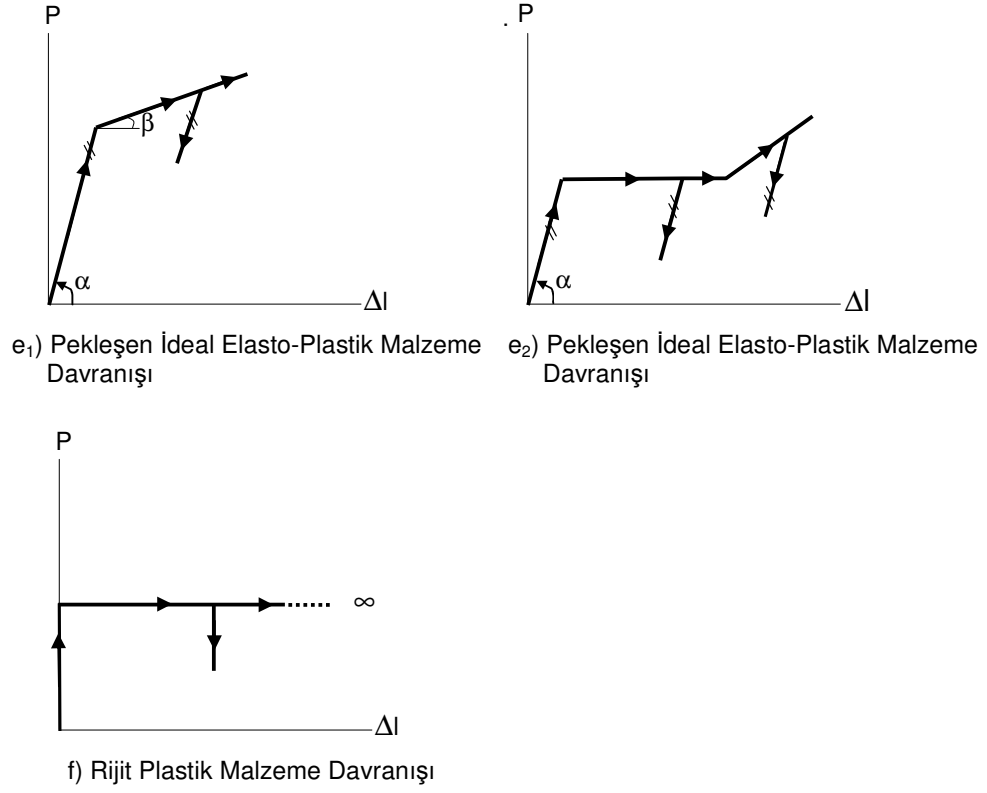
### 2.1.1.1 İdeal Malzemeler

Yapı sistemlerinde kullanılan gerçek malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri üzerinde bazı idealleştirmeler yapılmış ve bu şekilde tanımlanan ideal malzemelerin başlıcaları için yükleme boşaltma eğrileri Şekil 2.4'de gösterilmiştir, [1].



Şekil 2.4 İdeal malzeme davranışları



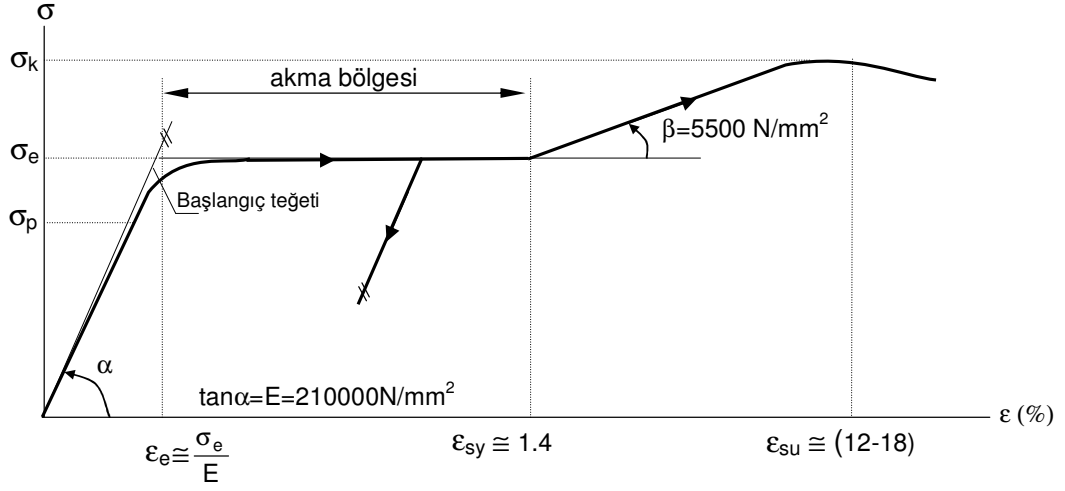


Şekil 2.4 İdeal malzeme davranışları (devam)

### 2.1.2 Beton ve Beton Çeliği için Gerilme-Şekildeğiştirme Bağlılıları

Yapı çeliği ve beton çeliğinin aksenal çekme deneyi sonucunda elde edilen ve eğilme etkisindeki betonun dış basınç lifinin *gerilme-şekildeğiştirme* ( $\sigma - \varepsilon$ ) diyagramları Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da ve bu diyagramlara ait bazı sayısal değerler aşağıda verilmiştir, [1].

a) Yapı çeliği ve beton çeliği (Şekil 2.5)



Şekil 2.5 Yapı çeliği ve beton çeliğinde  $\sigma$  - $\epsilon$  diyagramı

Burada;

$\sigma_k$  : kopma gerilmesi,

$\sigma_e$  : akma gerilmesi,

$\epsilon_e$  : akma şekildeğiştirmesi,

$\sigma_p$  : orantı sınır (doğrusal orantılı sınır) gerilmesi

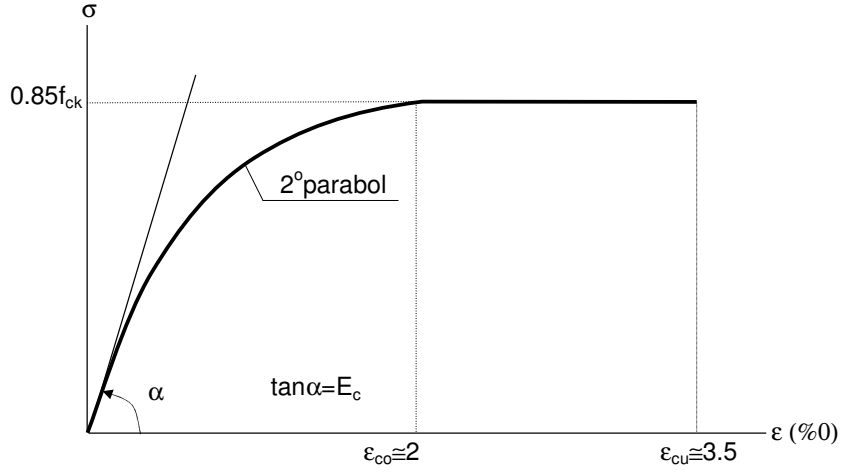
olarak tanımlanmaktadır.

S420 beton çeliği için;

$$\sigma_k = 500 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_e = 420 \text{ N/mm}^2$$

olduğu bilinmektedir.

b) Betonun eğilmesinde dış basınç lifindeki  $\sigma$ - $\epsilon$  bağıntısı (Şekil 2.6)



Şekil 2.6 Betonun eğilmesinde dış basınç lifindeki  $\sigma$  - $\epsilon$  diyagramı

Burada;

$f_{ck}$  : Betonun karakteristik basınç dayanımı,

$\epsilon_{co}$  : Betonun plastik şekildeğişirmesinin başlamasına karşılık gelen birim kısalması,

$\epsilon_{cu}$  : Betonun izin verilen en büyük birim kısalması

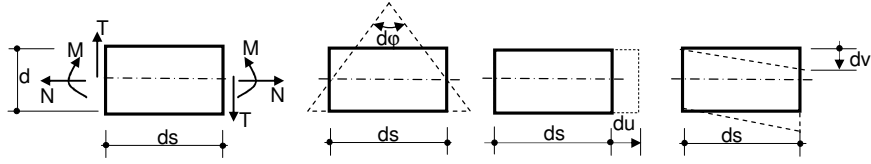
olarak tanımlanmaktadır.

### 2.1.3 Düzlem Çubuk Elemanlarda İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağıntıları

Bilindiği gibi, düzlemi içindeki kuvvetlerin etkisi altında bulunan düzlem çubuk elemanlarda oluşan iç kuvvetler (kesit zorları), M eğilme momenti, N normal kuvveti ve T kesme kuvvetidir. ds boyundaki bir çubuk elemanın bir yüzünün diğer yüzüne göre bağıl (rölatif) yerdeğiştirmelerinin kesit zorları doğrultularındaki bileşenleri ds elemanının şekildeğiştirmeleri olarak tanımlanmaktadır. Bunlar,  $d\phi$  kesitin dönmesini,  $d_u$  ve  $d_v$  sırasıyla kesitin çubuk eksenine ve ona dik doğrultudaki yerdeğiştirmelerini göstermek üzere

$$\begin{aligned}\chi &= d\phi / ds & : & \text{ birim dönme (eğrilik),} \\ \epsilon &= du / ds & : & \text{ birim boy değişmesi,} \\ \gamma &= dv / ds & : & \text{ birim kayma}\end{aligned}$$

olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.7), [1].



Şekil 2.7 Düzlem çubuk elemanda iç kuvvetler ve şekil değişimleri

### 2.1.4 Betonarme Çubuk Elemanların İç Kuvvet-Şekil Değişirme Bağlılıkları

Betonarme çubuk elemanların iç kuvvet-şekil değişirme bağıntılarının incelenmesinde şu temel varsayımlar ve esaslar gözönünde tutulmaktadır, [1].

- Düzlem olan dik kesit şekil değiştirdikten sonra da düzlem kalmaktadır.
- Beton ve donatı arasında tam aderans bulunmaktadır.
- Çatlamış betonun çekme dayanımı terkedilmektedir.
- Betonun  $\sigma - \epsilon$  diyagramı için Şekil 2.6'da verilen parabol + dikdörtgen modeli esas alınmıştır.
- Beton çeliğinin  $\sigma - \epsilon$  diyagramı için ideal *elasto-plastik* malzeme davranışı gösterdiği varsayılmıştır.

#### 2.1.4.1 Eğilme Momenti – Birim Dönme ( M - $\chi$ ) Bağlılığı

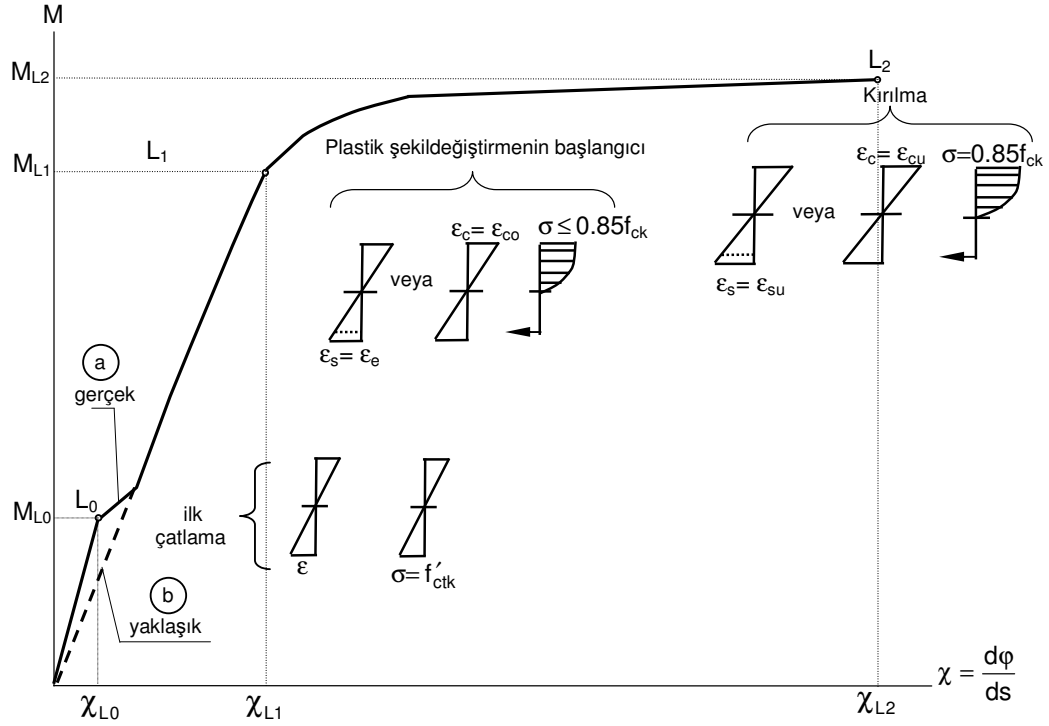
Sabit normal kuvvet altında, artan eğilme momenti ile zorlanan betonarme bir kesitte M eğilme momenti ile  $\chi$  birim dönmesi (eğriliği) arasındaki bağıntı üç bölgeden oluşmaktadır. Şekil 2.8'deki bölgeleri

sınırlayan  $L_0$  ,  $L_1$  ve  $L_2$  noktalarına karşı gelen durumlar aşağıda açıklanmıştır, [1].

$L_0$  : Beton kesitin dış çekme lifinde çatlakların başladığı durumdur. Dış çekme lifindeki normal gerilme eğilmedeki betonun çekme dayanımına eşit olunca betonda çatlaklar meydana geldiği kabul edilmektedir.  $L_0$  çatlama noktasına karşı gelen  $M_{L_0}$  momentinin hesabında beton kesitin homojen olduğu varsayılmakta ve betonun  $\sigma - \varepsilon$  bağıntısı *doğrusal-elastik* olarak alınmaktadır, [1].

$L_1$  : Betonun dış basınç lifinde veya çekme donatısında plastik şekildeğiştirmelerin başlamasına karşı gelen durumdur. Plastik şekildeğiştirmelerin betonda  $\varepsilon_{c0} = 0.002$  birim kısılmasında, çelikte ise  $\varepsilon_e = \frac{\sigma_e}{E}$  akma sınırında başladığı gözönünde tutulmaktadır.  $M_{L_1}$  eğilme momentinin hesabında betonun çekme dayanımı hesaba katılmamaktadır, [1].

$L_2$  : Eğilme momenti artarak kesitin taşıma gücü adı verilen  $M_{L_2} = M_p$  değerine eşit olunca basınç bölgesindeki beton ezilerek kırılır veya çekme donatısı kopar. Basınç bölgesindeki betonun ezilerek kırılması birim kısılmanın  $\varepsilon_{cu}$  sınır değerine erişmesi suretiyle meydana gelir. Sargısız betonda kısa süreli yükler için  $\varepsilon_{cu} \cong 0.0035$  olan bu sınır değer, sargı donatısına bağlı olarak artmaktadır. Betonarme kesitlerin boyutlandırılmasında, çekme donatısının kopması yerine, genellikle çelikteki birim uzamanın  $\varepsilon_{su} = 0.01$  değeri ile sınırlandırılması esas alınmamaktadır, [1].

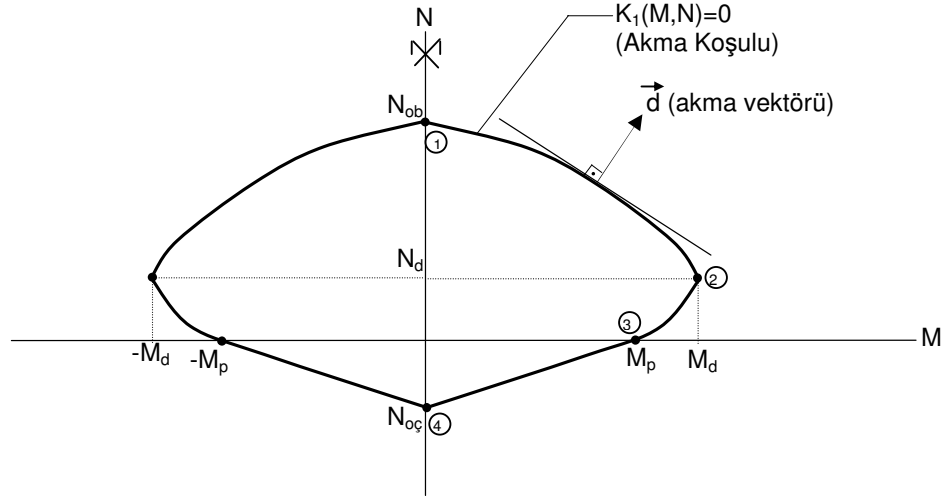


Şekil 2.8 Betonarme kesitlerde M -  $\chi$  diyagramı

#### 2.1.4.2 Akma Koşulu (Karşılıklı Etki Diyagramı)

Normal kuvvet ve tek eksenli eğilme momenti etkisindeki betonarme bir kesitin taşıma gücünü (akma koşulu  $K_1(M,N)=0$ ) ifade eden karşılıklı etki diyagramı (akma eğrisi) Şekil 2.9'da şematik olarak gösterilmiştir.

Akma eğrisi dört karakteristik nokta ile tanımlanmaktadır. Akma eğrisinin idealleştirilmesinde (doğrusallaştırılmasında) yararlanılabilecek olan bu noktalar aksenal basınç, basit eğilme ve aksenal çekme hallerine karşı gelen sırasıyla (1), (3) ve (4) noktaları ile kesitin en büyük eğilme momenti taşıma gücüne sahip olduğu dengeli duruma karşı gelen (2) noktasıdır, [1].



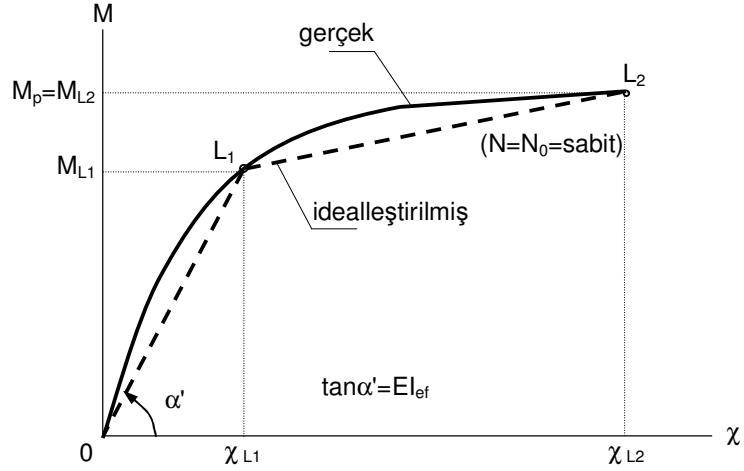
Şekil 2.9 Betonarme kesitlerde  $K_1(M,N)=0$  için karşılıklı etki diyagramı (akma eğrisi)

### 2.1.4.3 Betonarme Kesit Davranışının İdealleştirilmesi

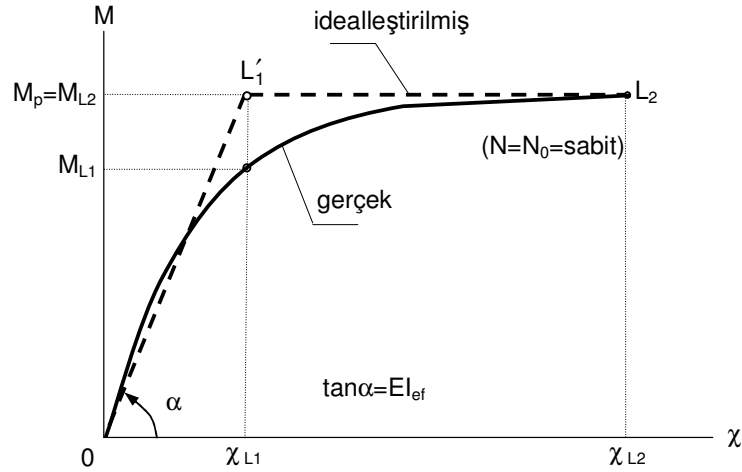
#### 2.1.4.3.1 Eğilme Momenti - Eğrilik ( $M - \chi$ ) Bağıntısı

Betonarme kesitlerde eğilme *momenti–eğrilik* bağıntısının idealleştirilmesi için önerilen modellerden ikisi aşağıda açıklanmıştır. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde sürekli olarak yayıldığı gözönüne alındığı hesap yöntemlerinde genellikle Şekil 2.10'da gösterilen idealleştirmeden yararlanır. Şekil 2.10'da 0 başlangıç noktası ile gerçek  $M - \chi$  eğrisi üzerinde koordinatları  $(\chi_{L1}, M_{L1})$  olan  $L_1$  noktası ve bu nokta ile yine gerçek  $M - \chi$  eğrisi üzerinde koordinatları  $(\chi_{L2}, M_{L2}=M_p)$  olan  $L_2$  noktası, doğru parçaları ile birleştirilerek idealleştirilmiş  $M - \chi$  elde edilir. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik kesit (plastik mafsal) adı verilen belirli noktalarda toplandığı (yığıldığı) varsayımına dayanan hesap yöntemlerinde ise Şekil 2.11'de gösterilen idealleştirmeden yararlanır. Şekil 2.11'de 0 başlangıç noktası ile gerçek  $M - \chi$  eğrisi üzerindeki  $(\chi_{L1}, M_{L1})$  noktasından geçerek koordinatları  $(\chi_{L1}, M_{L2}=M_p)$  olan  $L'_1$  noktası ve bu nokta

ile gerçek  $M - \chi$  eğrisi üzerindeki koordinatları  $(\chi_{L2}, M_{L2}=M_p)$  olan  $L_2$  noktası, doğru parçaları ile birleştirilerek idealleştirilmiş  $M - \chi$  elde edilir, [1].



şekil 2.10 Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş  $M - \chi$  diyagramı (Tip:1)

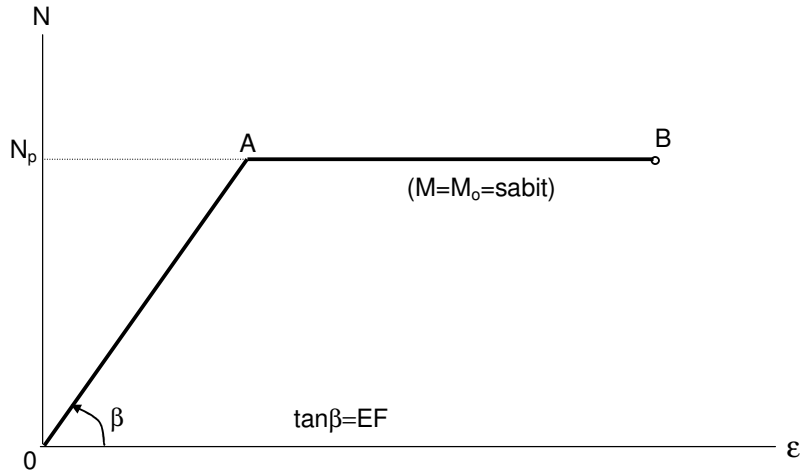


şekil 2.11 Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş  $M - \chi$  diyagramı (Tip:2)

#### 2.1.4.3.2 Normal Kuvvet - Birim Boy Değişmesi ( $N - \epsilon$ ) Bağıntısı

Eğilme *momenti-eğrilik* bağıntısına benzer olarak, *normal kuvvet-birim boy değişmesi* ( $N-\epsilon$ ) diyagramı da iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilebilmektedir (şekil 2.12).



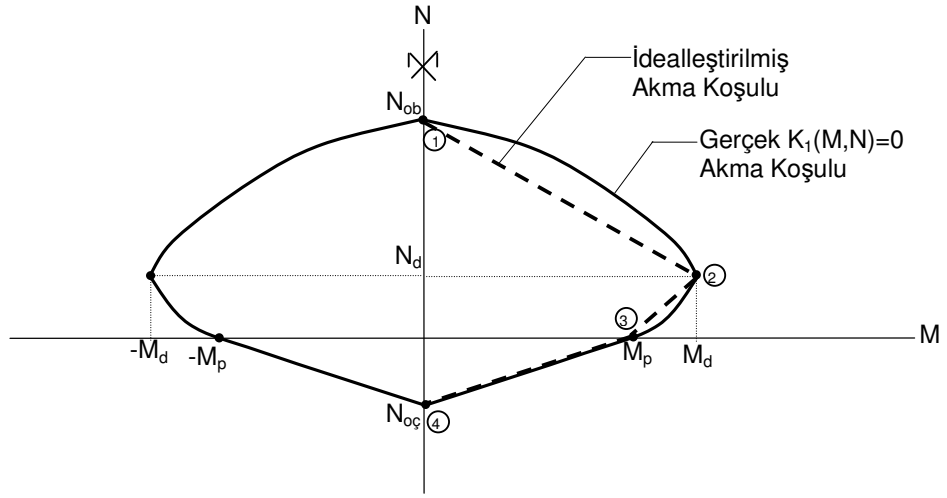


Şekil 2.12 Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş N -  $\epsilon$  diyagramı

Bu diyagramda ;  $N_p$  , sabit  $M = M_0$  eğilme momenti altında betonarme kesitin normal kuvvet taşıma gücünü,  $EF$  ise uzama rijitliğini göstermektedir. Uygulamada çok kere karşılaşıldığı gibi normal kuvvetin basınç olması halinde,  $EF$  rijitliği olarak brüt beton kesitin uzama rijitliği kullanılmaktadır. Normal kuvvetin çekme olması veya büyük dışmerkezlilik durumlarında ise, çatlama kesit rijitliği kullanılmaktadır, [1].

#### 2.1.4.3.3 Karşılıklı Etki Diyagramı (Akma Eğrisi)

Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki betonarme bir kesitte, kesitin taşıma gücünü ifade eden karşılıklı etki diyagramının nasıl idealleştirilebileceği Şekil 2.13'de açıklanmıştır. Pozitif eğilme momenti bölgesindeki idealleştirilmiş akma eğrisinin (1), (2), (3) ve (4) noktalarını birleştiren üç doğru parçasından meydana geldiği varsayılmaktadır.



Şekil 2.13 Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramının idealleştirilmesi

Simetrik donatılı simetrik kesitlerde, gerçek ve idealleştirilmiş akma eğrileri N eksenine göre simetriktir. Gerçek ve idealleştirilmiş akma eğrileri karşılaştırıldığında, önerilen idealleştirmenin güvenli yönde olduğu, diğer bir deyişle gerçek akma koşulu için bir alt sınır oluşturduğu görülmektedir, [1].

### 2.1.5 Doğrusal Olmayan Şekildeğişmelerin Sürekli Olmaması Hali

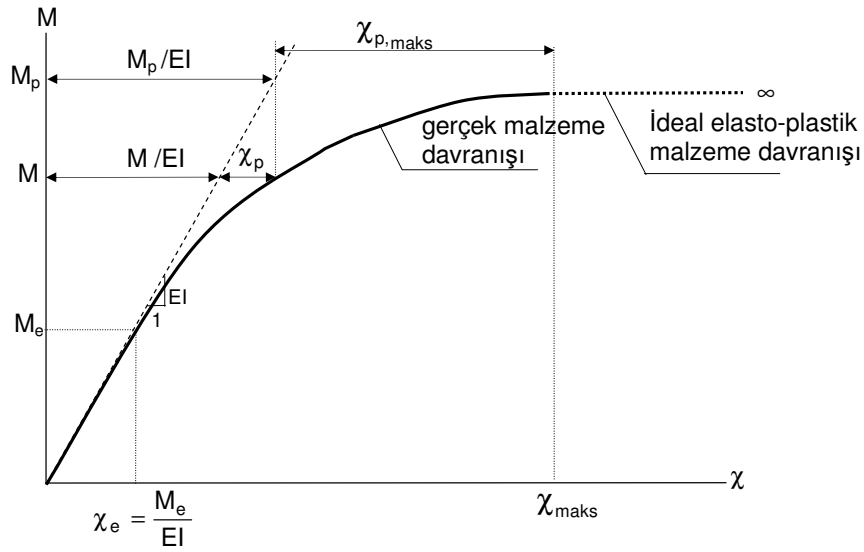
Malzeme bakımından doğrusal olmayan yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekildeğişmelerin plastik mafsallık (plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı varsayılmaktadır, [1].

#### 2.1.5.1 Plastik Mafsallık Hipotezi

Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren yapı sistemlerinde (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar), plastik mafsallık hipotezi yapılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir.

Göçme anındaki toplam şekildeğişimlerin doğrusal şekildeğişimlere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekildeğişimlerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğişimlerinin plastik mafsalları verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin *doğrusal-elastik* davrandığı varsayılabilir. Bilindiği gibi, bu hipoteze plastik mafsalları hipotezi adı verilmektedir, [1].

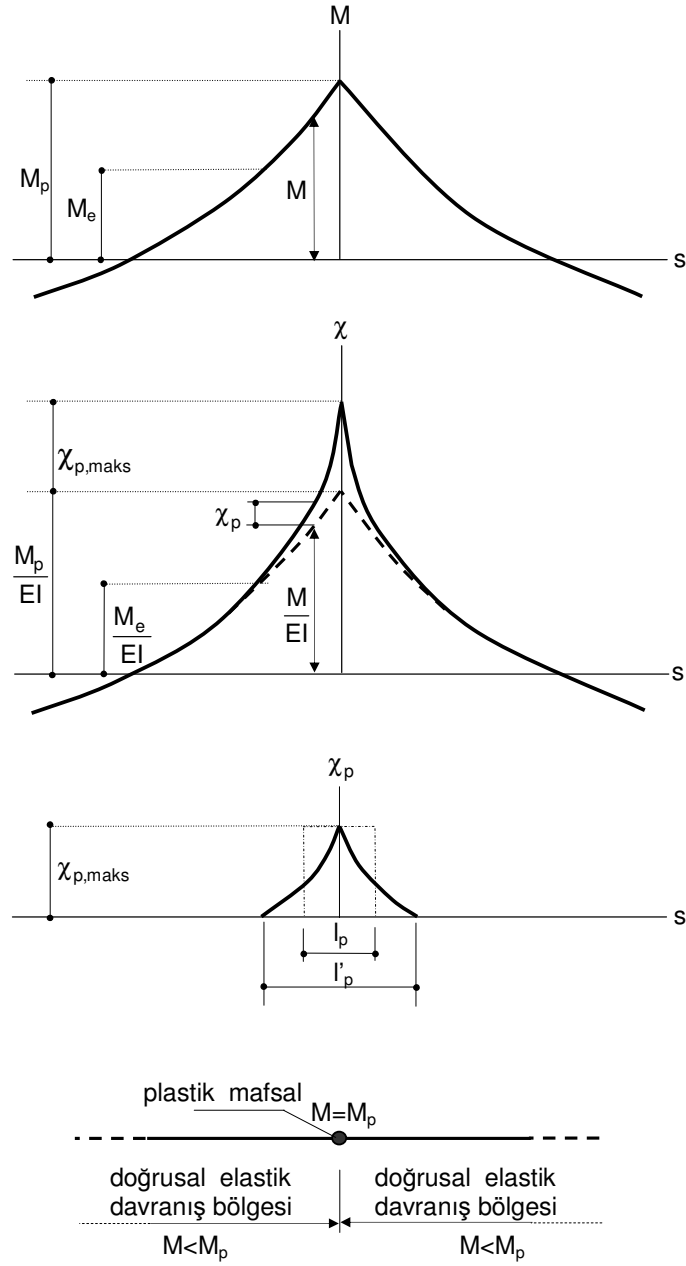
Gerçek *eğilme momenti – eğrilik* bağıntısı Şekil 2.14’de ve doğrusal olmayan şekildeğişimler Şekil 2.15’de görülmektedir.



Şekil 2.14 *Eğilme momenti – eğrilik* diyagramı

Plastik mafsalları hipotezinde, çubuk elemanı üzerinde  $l_p$  uzunluğundaki bir bölgeye yayılan doğrusal olmayan (plastik) şekildeğişimlerin (2.1) bağıntısında gösterildiği gibi plastik mafsalları olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada,  $\phi_p$  plastik mafsalları dönmesini göstermektedir, [1].

$$\phi_p = \int_{l_p} \chi_p d_s \quad (2.1)$$

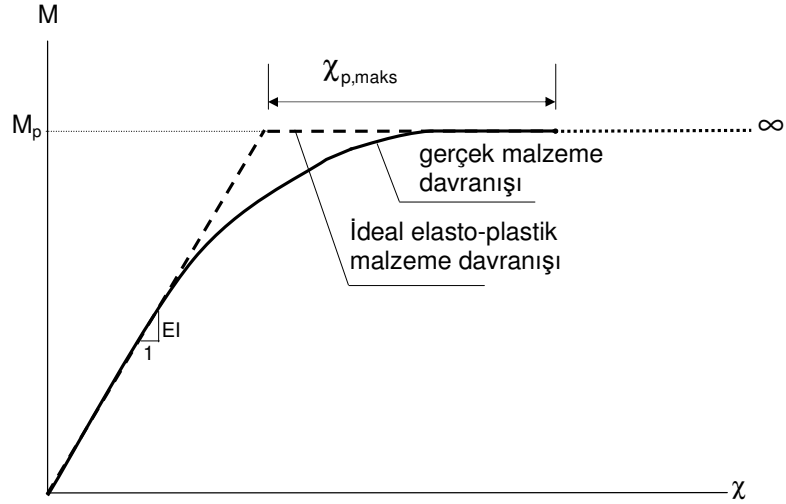


Şekil 2.15 Doğrusal olmayan şekildeğştirmeler

Plastik mafsal hipotezinin uygulanmasında, gerçek *eğilme momenti – eğrilik* bağıntısı, iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmiştir. Bu idealleştirme (2.2) ve (2.3) bağıntılarına göre yapılmıştır (Şekil 2.16).

$$M \leq M_p \text{ için } \chi = \frac{M}{EI} \quad (2.2)$$

$$M = M_p \text{ için } \chi \rightarrow \chi_{p,maks} \quad (2.3)$$



Şekil 2.16 İdealleştirilmiş eğilme momenti – eğrilik diyagramı

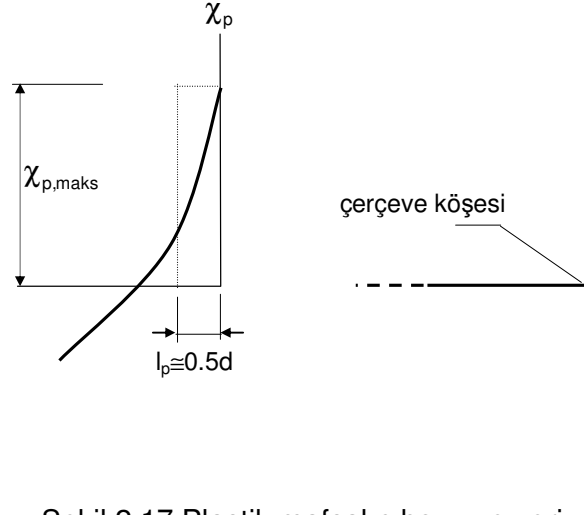
Artan dış yükler altında plastik mafsalın dönmesi artarak dönme kapasitesi adı verilen bir sınır değere eşit olunca, meydana gelen büyük plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelir. Yapı sisteminin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsal dönmelerinin dönme kapasitesine ulaşması ise, yapının tümünün kullanılamaz hale gelmesine, diğer bir deyişle göçmesine neden olmaktadır. Dönme kapasitesi eğilme momenti diyagramının şekline ve  $M-\chi$  bağıntısına bağlı olarak (2.4) bağıntısı ile belirlenmektedir, [1].

$$\Phi_{p,maks} = \int_{l_p} \chi_p d_s \quad (\chi_p \rightarrow \chi_{p,maks}) \quad (2.4)$$

Dönme kapasitesinin yaklaşık olarak hesabı için (2.5) bağıntısı kullanılabilir.

$$\Phi_{p,maks} = l_p \chi_{p,maks} \quad (2.5)$$

Burada  $l_p$  plastik bölge uzunluğunu (plastik mafsallık boyunu) ifade eder ve yaklaşık olarak enkesit yüksekliğinin (eğilme momenti eksenine dik olan enkesit boyutu) ( $d$ ) yarısıdır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Plastik mafsallık boyu ve yeri

Betonarme yapı sistemlerinde dönme kapasitesinin ( $\chi_{p, maks}$ ) değeri çeşitli etkenlere bağlıdır. Bunların başlıcaları aşağıda verilmiştir.

- Betonarme betonu ve beton çeliğinin  $\sigma - \epsilon$  diyagramlarını belirleyen  $\epsilon_{cu}$  ve  $\epsilon_{su}$  sınır birim boy değişimleri,
- betonarme betonunun  $\epsilon_{cu}$  birim boy değişmesini etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni,
- plastik bölge uzunluğunu etkileyen en kesit boyutları,
- eğilme momenti diyagramının şeklidir.

Diğer taraftan, performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde, dönme kapasitesinin belirlenmesinde yapıdan beklenen performans seviyesi de etken olmaktadır, [1].

### 2.1.5.2 Plastik Mafsal Hipotezinin Esasları

Plastik mafsal hipotezinin esasları aşağıda üç ana madde halinde verilmiştir.

**1-** Bir kesitteki eğilme momenti artarak  $M_p$  plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsal oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti  $M=M_p$  olarak sabit kalır ve kesit serbestçe döner. Plastik mafsaldaki  $\varphi_p$  plastik dönmesi artarak  $\varphi_{p,maks}$  dönme kapasitesine ulaşınca kesit kullanılamaz duruma gelir.

**2-** Plastik mafsallar arasında eleman davranışı *doğrusal – elastiktir*.

**3-** Kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde,  $M_p$  plastik momenti yerine, kesitteki  $N$  normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment ( $M_p'$ ) değeri esas alınmaktadır, [1].

### **3. YAPILARIN PERFORMANSA DAYALI TASARIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Son yıllarda performansa dayalı tasarım kavramı, yapı mühendisleri tarafından güçlü deprem hareketlerindeki yapısal davranışın daha iyi anlaşılması ve yapı tasarımıdaki önemli faydalarından dolayı bu terimin içeriğiyle ilgilenilmesi ile deprem mühendisliği alanında popüler bir ifade haline gelmiştir. Yapıların çeşitli deprem etkileri altında istenilen performans seviyesine göre tasarlanması performansa dayalı tasarımın genel ilkesidir. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yapı sahibinin, kullanıcının ve sosyal çevrenin çeşitli ihtiyaç ve hedefleri doğrultusunda öngörülen bir performans seviyesi için yapıların düşey ve yatay (deprem) yükler altında tasarımını, değerlendirilmesini ve yapımını esas alan bir yaklaşımdır.

Yapıların performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesi üç temel aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, yapı için bir performans hedefi seçilir. Bu aşamada, performans hedefinin seçilebilmesi için deprem tehlike seviyelerinin ve yapı için öngörülecek olan performans seviyesinin de belirlenmesi gerekir. İkinci aşamada, öngörülen deprem tehlike seviyeleri için doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ile yapının analizi yapılır. Üçüncü aşamada ise yapının performans seviyesi değerlendirilmektedir. Bu aşamada, yapı için öngörülen performans seviyesinin gerçekleşip gerçekleşmediğinin kontrolü yapılmaktadır, [38].

#### **3.1 Performans Hedefi**

Belirli bir deprem hareketi altında, yapı için öngörülen yapısal performans, performans hedefi olarak tanımlanır. Başka bir deyişle performans hedefi, öngörülen deprem tehlike seviyesi için binanın kullanımı,



bina içindeki kullanım fonksiyonlarının önemi, binanın deprem sonrası olabilecek onarım maliyeti vb. koşullara bağlı olarak istenen performans seviyesinin tanımlanması olarak ifade edilmektedir. Bir yapı için, birden fazla deprem tehlike seviyesi için farklı performans hedefleri öngörülebilir. Performans hedeflerinin tanımlanması, deprem tehlike seviyelerinin belirlenmesi ve performans seviyelerinin seçilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Bu aşamalar ayrıntılı olarak aşağıda açıklanmıştır.

### 3.2 Deprem Tehlike Seviyeleri

Performansa dayalı değerlendirme ve tasarımda gözönüne alınmak üzere, farklı düzeyde deprem hareketleri tanımlanmıştır. Bu deprem hareketleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içindeki aşılma olasılıkları ile benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı (dönüşüm periyodu) ile ifade edilirler.

- ATC 40'da üç farklı deprem tehlike seviyesine, diğer bir ifadeyle üç ayrı sismik risk seviyesine ait tanımlar aşağıda verilmiştir, [4].
  - a) Servis (kullanım) Depremi (SE) : 50 yıl içinde aşılma olasılığı %50 olan ve geri dönüşüm periyodu 72 yıl olan depremdir. Bu deprem etkisi, tasarım depreminin yaklaşık 0.50 sidir.
  - b) Tasarım Depremi (DE) : 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan ve geri dönüşüm periyodu 474 yıl olan depremdir. Bu deprem TDY'nde (ve bir çok ülke yönetmeliklerinde) tasarımda esas alınan depremdir.
  - c) Maksimum Deprem (ME) : 50 yıl içinde aşılma olasılığı %5 olan ve geri dönüşüm periyodu 975 yıl olan depremdir. Bu deprem etkisi, tasarım depreminin yaklaşık 1.25~1.50 katıdır.

<b>ATC 40'da</b>	<u>Aşılma olasılığı</u>	<u>Ortalama dönüş periyodu</u>
	50 yıl içinde %50 (SE)	72 yıl
	50 yıl içinde %10 (DE)	474 yıl
	50 yıl içinde %5 (ME)	975 yıl

- FEMA 356'da dört farklı deprem tehlike seviyesine ait tanımlar aşağıda verilmiştir, [6].

<b>FEMA 356'da</b>	<u>Aşılma olasılığı</u>	<u>Ortalama dönüş periyodu</u>
	50 yıl içinde %50(SE)	72 yıl
	50 yıl içinde %20	225 yıl
BSE-1	50 yıl içinde %10(DE)	474 yıl
BSE-2	50 yıl içinde %2 (ME)	2475 yıl

FEMA 356 'da tanımlanan deprem tehlike seviyelerinden, 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan deprem Temel Güvenlik Depremi - 1 (BSE-1) ve 50 yıl içinde aşılma olasılığı %2 olan deprem Temel Güvenlik Depremi - 2 (BSE-2) ile gösterilmiştir, [6].

### 3.3 Performans Seviyeleri

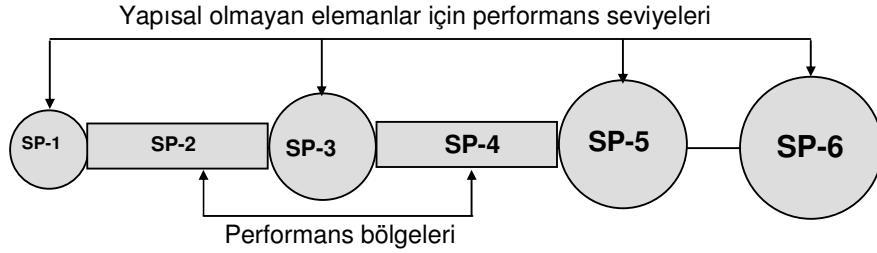
Performans seviyeleri verilen bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenmektedir. Yapısal performans seviyesi, yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans seviyelerinin birlikte değerlendirilmelerinden oluşmaktadır. Bu nedenle her yapısal

performans seviyesi, yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans seviyelerinin bir kombinasyonu olarak belirlenmektedir, [38].

### 3.3.1 Yapısal Elemanlara ait Performans Seviyeleri ve Bölgeleri

Yapıların performans seviyeleri belirlendikten sonra yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarında oluşan şekildeğiştirme düzeylerinin belirlenebilmesi için ATC 40'da ve FEMA 356'da farklı performans seviyeleri ve performans bölgeleri açıklanmıştır.

Yapısal elemanlara ait üç farklı performans seviyesi ve iki farklı performans bölgesi tanımlanmıştır. Bunlar Şekil 3.1 'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Yapısal elemanlara ait performans seviyeleri ve bölgeleri

Yapısal elemanlar için performans seviyeleri ve bölgelerine ait tanımlamalar, genel başlıklarıyla birlikte aşağıda verilmiştir.

- a) *Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesi (SP-1)* : Bu yapısal performans seviyesi sadece çok sınırlı yapısal hasarların olduğu deprem sonrası hasar durumu anlamına gelmektedir. Yapının yatay ve düşey kuvvetlerini karşılayan taşıyıcı sistemleri, deprem öncesi dayanım ve rijitliğinin neredeyse tamamını sürdürmektedir. Yapısal hasarın sonucu olarak hayati tehlike yaratan yaralanma

riski çok düşüktür ve bazı küçük yapısal onarımlar gerekse de bunlar genellikle tekrar kullanım için zorunlu değildir, [6].

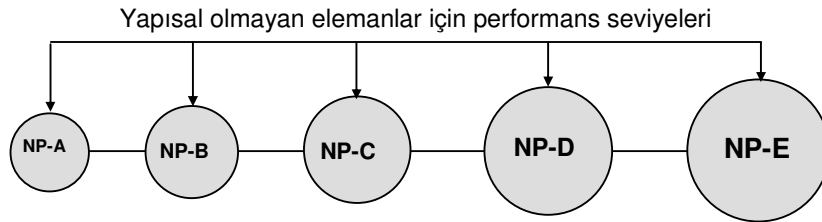
- b) *Hasar Kontrol Yapısal Performans Bölgesi (SP-2)* : Bu hasar bölgesi (SP-1) ve (SP3) performans seviyeleri aralığındadır. Hasar kontrol bölgesi tasarımı, onarım zamanını ve işlevdeki kesintiye en aza indirmek ve kısmen değerli ekipman ve içeriği korumak için kullanılabilir, [6].
- c) *Yaşam Güvenliği Yapısal Performans Seviyesi (SP-3)* : Bu performans seviyesi, deprem sonrası yapıda önemli hasarın olduğu fakat yapının kısmen veya tamamen göçmesine kadar kalan sınırdaki hasar durumu anlamına gelmektedir. Bazı yapısal elemanlar ciddi hasar görmüşse de bu yapı içinde yada dışında kısmi göçme meydana gelmemiştir. Deprem esnasında yaralanmalar olabilir. Ancak yapısal hasarın sonucu olarak hayati tehlike yaratan yaralanma riskinin çok az olması beklenmektedir. Binanın tekrar kullanılmadan önce muhtemelen geniş ölçüde yapısal onarımın yapılması beklenir. Ancak bazı hallerde ekonomik nedenlerden dolayı binanın onarılması pratik açıdan mümkün olmayabilir. Hasarlı binada hemen göçme riski olmasa da yapısal onarımlar yapmak veya tekrar kullanım öncesinde geçici olarak önlem almak uygun bulunmaktadır, [6].
- d) *Sınırlı Güvenlik Yapısal Performans Bölgesi (SP-4)* : Bu hasar bölgesi (SP-3) ve (SP-5) performans seviyeleri aralığındadır, [6].
- e) *Göçme Önleme Yapısal Performans Seviyesi (SP-5)* : Deprem sonrasında yapının kısmen veya tamamen göçme tehlikesinde olduğu durum anlamına gelmektedir. Yapıda kalıcı hasar meydana gelmiştir. Yapının rijitliğinde ve yatay kuvvet dayanımında önemli ölçüde azalma vardır. Ayrıca daha sınırlı bir ölçüde düşey yük taşıma kapasitesinde de azalma meydana gelmiştir. Ancak düşey

yüklere karşı koyan bütün taşıyıcı sistem elemanları da düşey yükünü taşımaya devam etmektedir. Yapıdan taşıyıcı sistem elemanlarının kırılması ve kopması sonucu ciddi yaralanma riski vardır. Yapının onarımı teknik olarak pratik olmadığı gibi, artçı bir deprem göçmeyi tetikleyebileceğinden tekrar kullanım için güvenli değildir, [6].

- f) *Performansın Gözönüne Alınmadığı Durum (SP-6)* : Bu performans seviyesinde bazı bina sahipleri rehabilitasyon programında yapının kendi performansını değil de yapısal olmayan zayıflıkları göstermek isteyebilir (Örneğin parapetler veya tehlikeli madde konteynırlarını sabitlemek gibi...). Bu tür rehabilitasyon programları bazen etkili olur. Çünkü bir sismik tehlikeyi önlemek maliyette önemli bir düşüşü sağlar, [6].

### 3.3.2 Yapısal Olmayan Elemanlara ait Performans Seviyeleri

ATC 40'da ve FEMA 356'da yapısal olmayan elemanlara ait beş farklı performans seviyesi tanımlanmıştır. Bunlar Şekil 3.2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyeleri

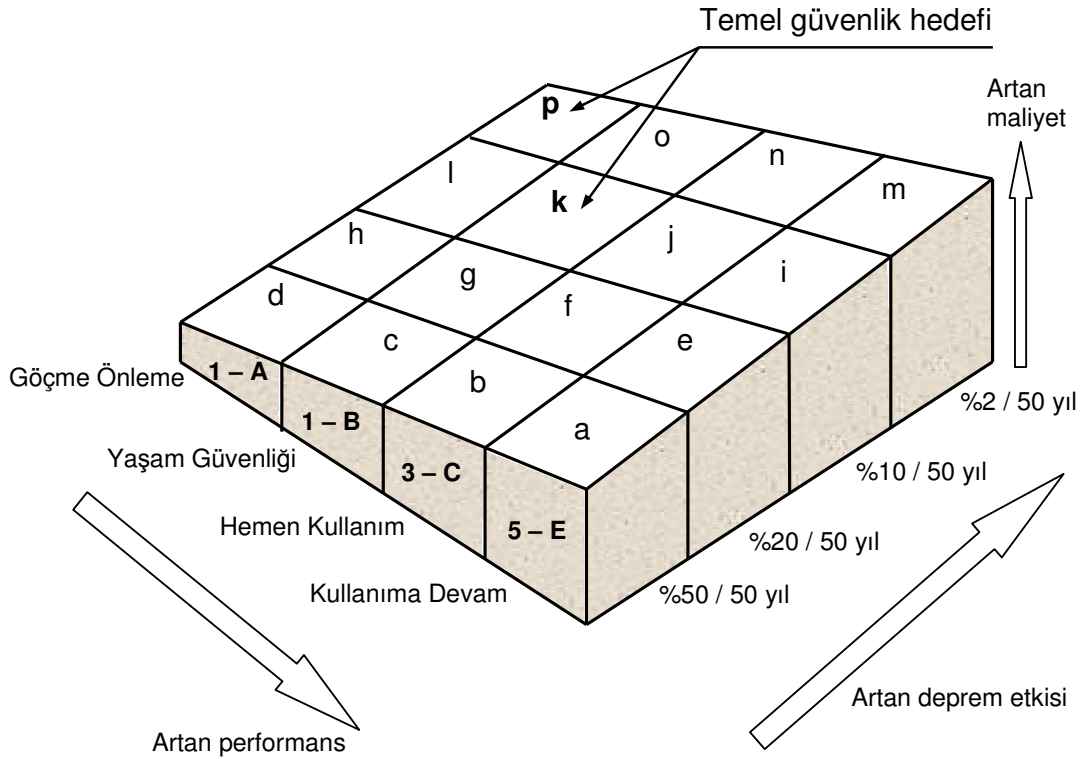
Yapısal olmayan elemanlar için performans seviyelerine ait, genel başlıklar aşağıda verilmiştir, [6].

- a) Kullanıma Devam Performans Seviyesi (NP-A)

- b) Hemen Kullanım Performans Seviyesi (NP-B)
- c) Yaşam Güvenliği Performans Seviyesi (NP-C)
- d) Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (NP-D)
- e) Performansın Gözönüne Alınmadığı Durum (NP-E)

### 3.3.3 Bina Performans Seviyeleri

Bina performans seviyeleri, yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının performans seviyelerinin değişik kombinasyonları ile elde edilmektedir, (Şekil 3.3) ve (Çizelge 3.1).



Şekil 3.3 Performans hedefleri

Burada *Basit güvenlik hedefi* ( $p + k$ ), BSE-1 (Tasarım depremi) deprem tehlikesi için yaşam güvenliği, BSE-2 (Maksimum deprem) deprem tehlikesi için göçme önleme bina performans seviyesi hedefini elde eden performans hedefidir.

Çizelge 3.1 ATC 40 ve FEMA 356'da tanımlanan bina performans seviyeleri

BİNA PERFORMANS SEVİYELERİ						
Yapısal Olmayan Elemanların Performans Seviyeleri	Yapısal Elemanların Performans Seviyeleri ve Bölgeleri					
	SP-1	SP-2	SP-3	SP-4	SP-5	SP-6
	Hemen kullanım	Hasar kontrol (Bölge)	Yaşam güvenliği	Sınırlı güvenlik (Bölge)	Göçmenin önlenmesi	Gözönüne alınmayan
<b>NP-A</b> Kullanıma devam	<b>1 -A</b>	2-A	KÖ	KÖ	KÖ	KÖ
<b>NP-B</b> Hemen kullanım	<b>1 -B</b>	2-B	3-B	KÖ	KÖ	KÖ
<b>NP-C</b> Yaşam güvenliği	1 -C	2-C	<b>3-C</b>	4-C	5-C	6-C
<b>NP-D</b> Azaltılmış hasar	KÖ	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
<b>NP-E</b> Gözönüne alınmayan	KÖ	KÖ	3-E	4-E	<b>5-E</b>	Kabul edilmez

KÖ : Kullanılması önerilmeyen bina performans seviyesi

ATC 40'da ve FEMA 356'da tanımlanan ve Çizelge 3.1'de gösterilen bina performans seviyelerinden en yaygın olarak kullanılanları (1-A, 1-B, 3-C, 5-E) genel başlıklarıyla aşağıda verilmiştir.

- a) *Kullanıma Devam Performans Seviyesi (1-A)* : Hedeflenen bu bina performans seviyesinde, binaların yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında çok az hasar oluşması veya hiç hasar oluşmaması beklenir. Bu hedeflenen bina performans seviyesini karşılayan yapılar yaşam güvenliği açısından oldukça küçük risk gösterir. Çok düşük seviyelerdeki deprem yer hareketlerinde çoğu bina bu hedef bina performans seviyesini karşılamalıdır. Bununla birlikte deprem sonrası kullanımı gereken binalar dışındaki binalarda bu hedef bina performans seviyesi, şiddetli yer hareketleri için ekonomik olarak pratik olmayacaktır, [6].
- b) *Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B)* : Hedeflenen bu bina performans seviyesinde, binaların yapısal elemanlarında minimum hasar oluşması veya hasar oluşmaması ve yapısal olmayan

elemanlarında az hasar oluşması beklenmektedir. Deprem sonrası binanın hemen kullanımı mümkün olsa da, normal durumda işlev görmesinden önce bazı temizlik ve onarım yapmak ve hizmetlerin yeniden sağlanmasını beklemek gerekebilir. Bu hedef bina performans seviyesinde yaşam güvenliği riski çok düşüktür. Orta şiddette deprem seviyesinde bir çok bina sahibi bu performans seviyesini yerine getirmek isteyebilir. Ayrıca bazı bina sahipleri bu performans şiddetli deprem yer hareketi altındaki önemli binalar için isteyebilir, [6].

c) *Yaşam Güvenliği Performans Seviyesi (3-C)* : Hedeflenen bu bina performans seviyesinde, binaların yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında büyük hasarlar oluşabilmektedir. Binanın tekrar kullanımından önce onarımlara ihtiyaç duyulabilir ve onarım ekonomik olarak pratik olmayabilir. Bu hedef bina performans seviyesindeki binalarda yaşam güvenliği riski düşüktür. Birçok bina sahibi şiddetli deprem yer hareketleri için bu hedef bina performans seviyesini karşılamasını ister, [6].

d) *Göçme Önleme Performans Seviyesi (5-E)* : Hedeflenen bu bina performans seviyesinde, binalarda, yapısal olmayan elemanların göçmesinden kaynaklanan önemli bir yaşam güvenliği tehlikesi oluşturur. Buna karşın binanın kendisi göçmediği için yapısal elemanlardan kaynaklanan yaşam güvenliği riski düşüktür. Bu seviyeyi karşılayan bir çok bina tam bir ekonomik kayıp olacaktır. Bu seviye, ciddi can güvenliği tehlikelerini ve nispeten maliyeti azalttığı için bazen zorunlu olarak uygulanan sismik rehabilitasyon düzenlemelerinde temel olarak seçilir, [6].



#### 4. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZ YÖNTEMLERİ

Yapıların performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesinin yapılabilmesi için öncelikle yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışının belirlenmesi gerekmektedir. Günümüzde yapıların deprem etkisi altındaki doğrusal olmayan davranışının belirlenebilmesinde dinamik ve statik analiz yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri ile yapı davranışı daha gerçekçi olarak belirlenebilse de bu yöntemler oldukça karmaşık, zaman alıcı ve çok fazla sayıda yerel deprem kaydı gerektirdiğinden, pratikte mühendislerin günlük kullanımları için uygun olmamaktadır. Bu nedenle, daha uygulanabilir olan basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri daha yaygın olarak kullanılmakta ve bu konudaki araştırmalar önem kazanmaktadır.

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri temel olarak, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre yapının sabit düşey yükler ve monotonik artan yatay yükler altındaki dayanımını temsil eden *yatay kuvvet-yatay yerdeğiştirme* ( $P-\Delta$ ) ilişkisinin elde edilmesine ve belirli bir deprem seviyesi için bu ilişkinin değerlendirilmesine dayanmaktadır. Kapasite eğrisi olarak isimlendirilen *yatay kuvvet-yatay yerdeğiştirme* bağıntısının yapının limit durumuna kadar elde edilmesi ile yapının zayıf elemanları ve bunların yerleri, olabilecek kısmi ve toptan göçme mekanizma durumları ve tüm yapının yatay deprem yükü elde edilebilmektedir. Doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ile mevcut yapıların ve yeni tasarlanacak yapıların taşıyıcı sistem elemanlarının şekildeğiştirme talepleri belirlenerek, belirli bir deprem seviyesi için yapıdan istenen performans seviyesinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilebilmektedir.

Bugün literatürdeki yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmesinde kullanılan yerdeğiştirme esaslı doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinin başlıcaları şunlardır;

- Kapasite Spektrumu Yöntemi (KSY)
- Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY)
- Sekant Yöntemi
- Inelastik Spektrum Yöntemi (N2)
- Akma Noktası Spektrumu Yöntemi (ANSY)
  - Modal Pushover Analiz (MPA)
  - Artımsal Davranış Spektrumu Analizi (ADSA)

Tez çalışmasının bu bölümünde, yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmesinde kullanılan doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) incelenmiştir. Doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden ATC 40 ve FEMA 356'da yer verilen ve bu yöntemlerin ATC 55 Projesi kapsamında geliştirildiği (güncellendiği) KSY ve YKY'ne yer verilmiş ve bu yöntemlerde yapılan değişiklikler (güncellemeler) bu bölüm altında açıklanmıştır.

#### **4.1 Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY)**

Bu yöntem, belirli bir deprem yer hareketi için yapıya yüklenen yerdeğiştirme talebi (istemi) ile yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır. Binada deprem yükleri altında elastik olmayan şekildeğiştirmeler meydana gelmektedir. Bu şekildeğiştirmeler binanın sönümünü artırır dolayısıyla deprem talebini (istemini) azaltır. Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY), binada meydana gelen elastik olmayan şekildeğiştirmelere bağlı olarak elastik talep spektrumu indirgeyip kapasite ve talebin eşit olduğu noktayı belirlemeye çalışır.

*Performans noktası* adı verilen bu noktada, binadan istenilen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmektedir, [38].

Bu yöntemde performans noktası belirlenirken kapasite eğrisi, talep spektrumu ile karşılaştırılması gerektiği için, spektral formata dönüştürülür. Ancak, talep spektrumu tek serbestlik dereceli sisteme ait olduğundan, çok serbestlik dereceli sisteme ait kapasite eğrisinin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem, birinci doğal moda ait modal kütle çarpanı ( $\alpha_1$ ) ve modal katılım çarpanı ( $PF_1$ ) kullanılarak (4.1), (4.2), (4.3) ve (4.4) bağıntıları ile belirlenebilir (Şekil 4.1), [4]. Kapasite Spektrum Yöntemi ile performans noktasının elde edilmesinde, geleneksel olarak kullanılan *Spektral ivme-Periyot* ( $S_a-T$ ) yerine *Spektral ivme-Spektral yerdeğiştirme* ( $S_a-S_d$ ) (ADRS) formatı kullanılmaktadır, [4].

$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i \phi_{i,1} / g) \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i / g) \right] \left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i \phi_{i,1}^2 / g) \right]} \quad (4.1)$$

$$PF_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i \phi_{i,1} / g) \right]}{\left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i \phi_{i,1}^2 / g) \right]} \quad (4.2)$$

$$S_a = \frac{V_T / W}{\alpha_1} \quad (4.3)$$

$$S_d = \frac{\delta_{maks}}{PF_1 \phi_{Tepe,1}} \quad (4.4)$$

Bu bağıntılarda,

$S_a, S_d$  : Spektral ivme, spektral yerdeğiştirme,

$V_T, \delta_{maks}$  : Toplam taban kesme kuvveti, yapının maksimum tepe yerdeğiştirmesi,

$W$  : Yapının toplam ağırlığı,

$\phi_{Tep,1}$  : Birinci moda ait en üst kattaki normalleştirilmiş genlik,

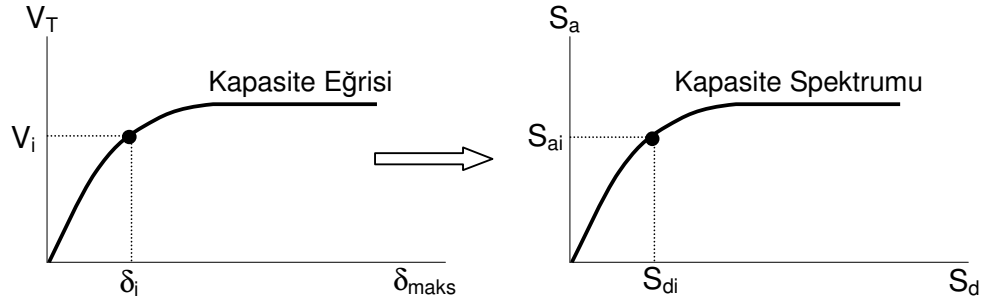
$\phi_{i,1}$  : Birinci moda ait (i) nolu kattaki normalleştirilmiş genlik,

$N_K$  : Yapının kat adedi,

$w_i$  : (i) numaralı katın ağırlığı,

$g$  : Yerçekimi ivmesi ( $9.81 \text{ m/sn}^2$ )

olarak tanımlanmaktadır.

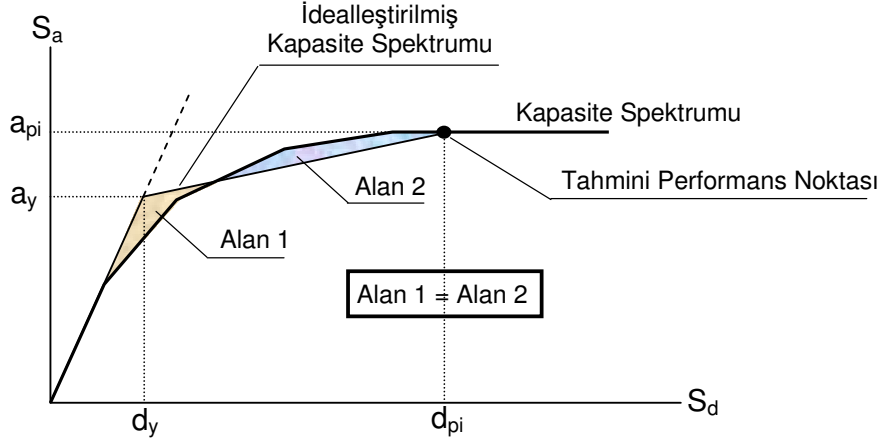


Şekil 4.1 Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

#### **4.1.1 KSY ATC 40 ile Yerdeğiştirme Talebi ve Performans Noktasının Belirlenmesi**

Verilen bir bina ve deprem için yerdeğiştirme talebi, deprem esnasında yapının beklenen maksimum davranışının bir tahminidir. Deprem yükleri altındaki yapı elastik olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle rijitlik kaybeder, rijitlik kaybettikçe binanın periyodu ve sönümü artar. Kapasite spektrumu yardımıyla, yutulan enerji miktarı ve buna karşılık gelen eşdeğer sönüm, yaklaşık olarak hesaplanır. Bunun için öncelikle kapasite spektrumu üzerinde

bir nokta performans noktası olarak tahmin edilir ve spektrum eğrisi iki doğru parçası ile idealleştirilir, [38]. Bu idealleştirme, kapasite spektrum eğrisi ile iki doğru parçalı idealleştirilmiş eğrinin arasında kalan alanların (Alan 1= Alan 2) eşit olması şeklinde yapılmaktadır (Şekil 4.2), [4].



Şekil 4.2 Kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesi

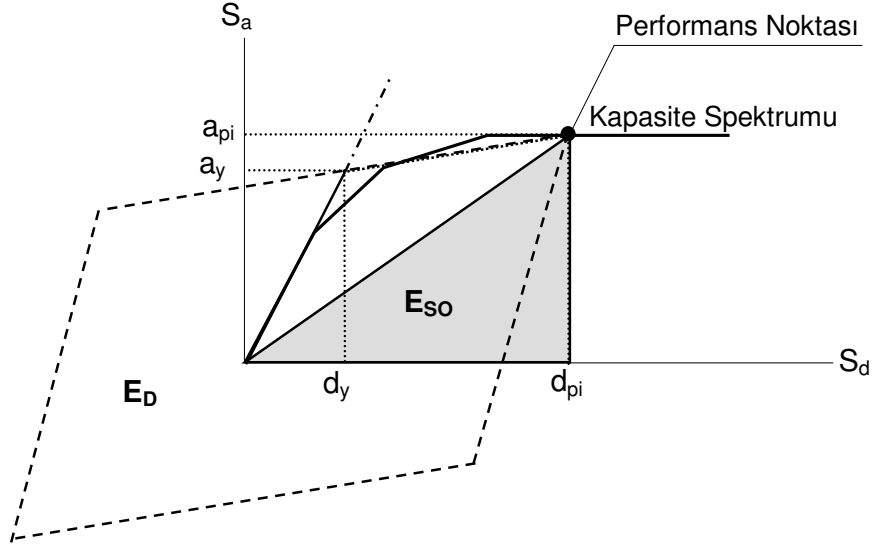
Burada;

- $a_y$  : İki doğru parçalı olarak idealleştirilen kapasite spektrumunda akma noktasının spektral ivme koordinatı,
- $d_y$  : İki doğru parçalı olarak idealleştirilen kapasite spektrumunda akma noktasının spektral yerdeğiştirme koordinatı,
- $a_{pi}$  : Tahmini performans noktasının spektral ivme koordinatı (ADRS formatında),
- $d_{pi}$  : Tahmini performans noktasının spektral yerdeğiştirme koordinatı (ADRS formatında)

olarak tanımlanmaktadır.

Kapasite spektrumu, iki doğru parçası ile idealleştirildikten sonra binanın sönümü hesaplanabilmektedir. Deprem hareketinin binaya elastik bölge dışında etkiğinde oluşan sönüm, binanın doğasında olan viskoz sönümle histeristik sönümün bir kombinasyonu ile temsil edilir. Kapasite Spektrum Yöntemi farklı süneklik seviyelerini gösteren indirgenmiş elastik spektrumu elde etmek için bu sönümü kullanılmaktadır. Histeristik sönüm, binanın deprem kuvvetine (taban kesme kuvveti) karşı kritik yerdeğiştirme

grafığı çizildiğinde oluşan çevrim içinde kalan alanla ilişkilidir (Şekil 4.3). (4.5) bağıntısı ile hesaplanabilen histeristik sönüm, eşdeğer viskoz sönüm ile temsil edilebilir. Eşdeğer viskoz sönüm ( $\beta_{eq}$ )  $d_{pi}$ 'nin maksimum bir yerdeğiştirmesi ile ilişkilidir ve (4.6) bağıntısıyla hesaplanabilmektedir, [4].



Şekil 4.3 Histeristik sönümüne eşdeğer viskoz sönümün belirlenmesi

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{SO}} \quad (4.5)$$

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5 \quad (4.6)$$

Burada;

- $\beta_0$  : Eşdeğer viskoz sönüm olarak temsil edilen histeristik sönüm,
- $E_{SO}$  : (4.7-a) bağıntısı ile hesaplanabilen maksimum şekildeğiştirme enerjisi,
- $E_D$  : (4.7-b) bağıntısı ile hesaplanabilen sönümle yutulan enerji (hareketin tek bir çevriminde yapı tarafından yutulan enerji)

olarak tanımlanmaktadır, [4].

$$E_{SO} = a_{pi} d_{pi} / 2 \quad (4.7-a)$$

$$E_D = 4[(a_{pi} d_{pi} - a_y d_y - (d_{pi} - d_y)(a_{pi} - a_y) - 2d_y(a_{pi} - a_y))] = 4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi}) \quad (4.7-b)$$

Böylece (4.6) bağıntısı ile yüzde olarak elde edilen histeristik sönüm ifadesi, (4.8) bağıntısı ile eşdeğer viskoz sönüm şeklinde hesaplanabilir.

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{(a_{pi} d_{pi})/2} * 100 = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (4.8)$$

Yeterli sünekliliğe sahip olmayan mevcut betonarme binalar, deprem etkisi altında rijitlik ve dayanım azalması vb. etkenlerden dolayı her zaman Şekil 4.3'deki gibi tam histeristik çevrim yapamazlar. Bu nedenle yeterli sünekliliğe sahip olmayan betonarme binalar için, (4.6) bağıntısı ile hesaplanan eşdeğer viskoz sönüm ile histeristik çevrim ve sönüm önemli derecede hatalı bulunmaktadır. Bu etkileri dikkate alarak ( $\kappa$ ) sönüm düzeltme çarpanı kullanılır. Binanın yapısal davranışına ve deprem hareketinin süresine bağlı olan bu düzeltme çarpanı ( $\kappa$ ) üç farklı yapısal davranış tipi için ATC 40'da verilmiştir (Çizelge 4.1), [4].

Çizelge 4.1 Sönüm düzeltme çarpanı ( $\kappa$ ) değerleri [4]

Yapısal Davranış Tipi	$\beta_0$ (%)	$\kappa$
<b>Tip A</b>	$\leq 16.25$	1.00
	$> 16.25$	$1.13 - \frac{0.51(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
<b>Tip B</b>	$\leq 25$	0.67
	$> 25$	$0.845 - \frac{0.446(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
<b>Tip C</b>	Her $\beta_0$ değeri için	0.33

Çizelge 4.1'de Tip A, stabil olarak Şekil 4.3'e çok benzer tam histeristik çevrim yapan binalar içindir ve  $\kappa = 1.00$  olarak alınır. Tip B, histeristik çevrim alanının orta seviyede bir azalmasını gösterir ve bu tür binalar için  $\kappa = 0.667$  olarak alınır. Tip C, histeristik çevrim alanında kalıcı azalmalar oluşur, zayıf histeristik çevrim yapan binalar içindir ve  $\kappa = 0.333$  olarak alınır. Yapısal davranış tipinin seçiminde yapı sisteminde depreme

karşı koyan elemanlar ile depremin süresi çok etkin olmaktadır. ATC 40'da yapısal davranış tipinin seçimi için yukarıdaki parametrelere bağlı olarak yapısal davranış tipleri verilmiştir (Çizelge 4.2), [4]. Bu çizelgede, yeni binalar, mevcut yönetmeliklere göre tasarlanmış binaları gösterir. Zayıf mevcut binalar, histeristik davranışı zayıf veya bilinmeyen, önemli derecede sistemde ani veya sürekli dayanım azalması olan, yanal kuvvetlere karşı koyabilen binalardır. Mevcut binalar, bu iki durum dışında kalan binalardır, [4].

Çizelge 4.2 Yapısal davranış tipleri [4]

Sarsıntı Süresi	Yeni Binalar	Mevcut Binalar	Zayıf Mevcut Binalar
Kısa	TİP A	TİP B	TİP C
Uzun	TİP B	TİP C	TİP C

Böylece ( $\kappa$ ) sönüm düzeltme çarpanı değeri kullanılarak etkin viskoz sönüm ( $\beta_{eff}$ ), (4.9) bağıntısıyla hesaplanabilir.

$$\beta_{eff} = \kappa \beta_0 + 5 \quad (4.9)$$

Hesaplanan etkin viskoz sönüme bağlı olarak %5 sönümlü elastik talep spektrumunu indirmek için kullanılacak indirgeme katsayıları  $SR_A$  ve  $SR_V$ , (4.10) ve (4.11) bağıntıları kullanılarak elde edilmektedir. Spektral indirgeme katsayıları için yapısal davranış tipine bağlı olarak minimum  $SR_A$  ve  $SR_V$  indirgeme katsayısı değerleri ATC 40'da [4] verilmiştir (Çizelge 4.3).

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \quad (4.10)$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \quad (4.11)$$

Burada ;

$\beta_{eff}$  : Etkin viskoz sönüm,

$\kappa$  : Sönüm düzeltme çarpanı,

$SR_A$  : Spektrumun sabit ivme bölgesindeki indirgeme katsayısı,

$SR_V$  : Spektrumun sabit hız bölgesindeki indirgeme katsayısı

olarak tanımlanmaktadır, [4].

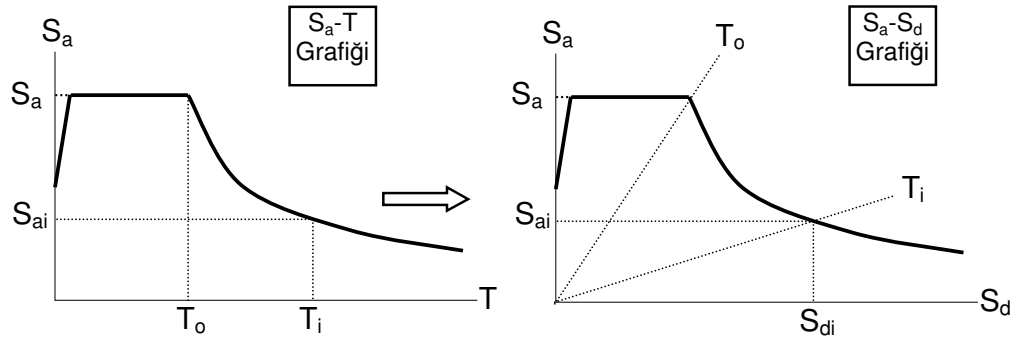


Çizelge 4.3 Minimum  $SR_A$  ve  $SR_V$  değerleri [4]

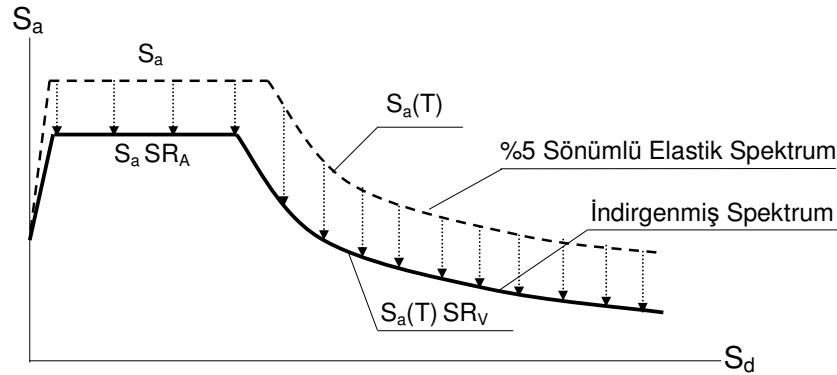
Yapısal davranış tipi	$SR_A$	$SR_V$
TİP A	0.33	0.50
TİP B	0.44	0.56
TİP C	0.56	0.67

Daha sonra (4.12) bağıntısı ile spektral ivme – spektral yerdeğiştirme ( $S_a-S_d$ ) (ADRS) formatına dönüştürülen elastik davranış spektrumu bu katsayılara bağlı olarak indirgenmektedir, (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5), [4].

$$S_{di} = S_{ai} \frac{T^2}{(4\pi^2)} \quad (4.12)$$

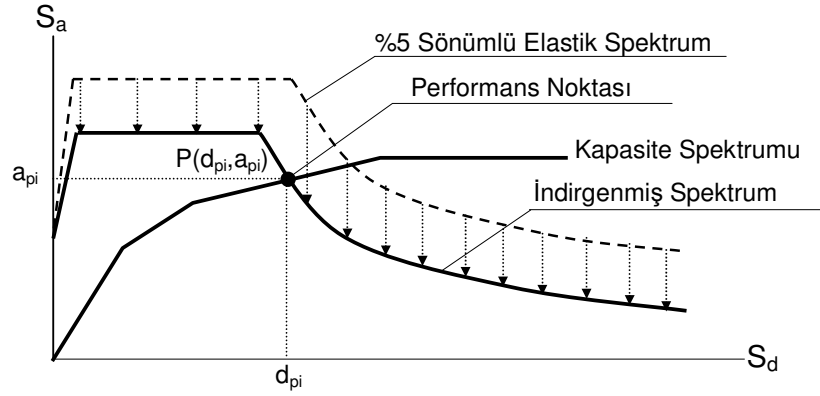


Şekil 4.4 Talep spektrumunun ( $S_a-T$ ), *spektral ivme – spektral yerdeğiştirme* ( $S_a-S_d$ ) formatına (ADRS) dönüştürülmesi



Şekil 4.5 Elastik olmayan şekildeğiştirmelere bağlı olarak elastik spektrumun indirgenmesi

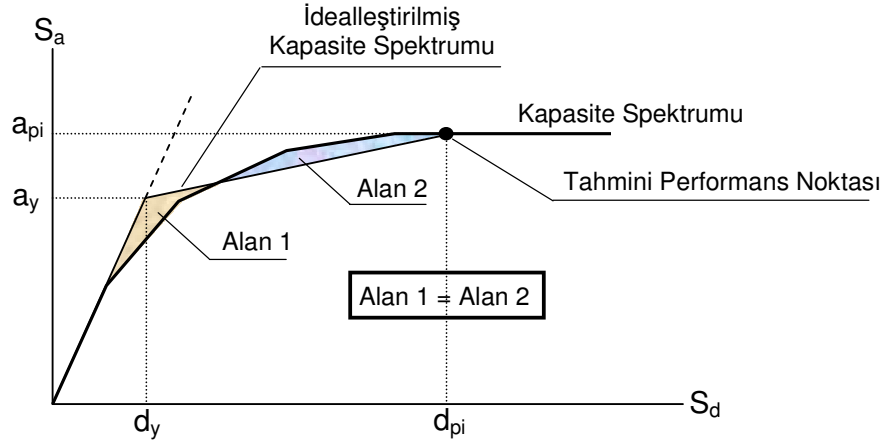
İndirgenmiş talep spektrumu ve kapasite spektrumu aynı grafik üzerinde çizilerek kesim noktasının spektral koordinatları ( $d_i; a_i$ ) belirlenir. Eğer iki spektrum eğrisi başlangıçta tahmin edilen performans noktasında yada bu noktaya yeter derece yakın ( $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$ ) bir noktada kesişirse bu nokta performans noktası olarak belirlenmiş olur (Şekil 4.6). Aksi halde bulunan kesim noktası **performans noktası** olarak kabul edilip aynı işlemler tekrar edilir, [4]. Bu spektral değerler yine (4.3) ve (4.4) bağıntıları kullanılarak toplam taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) ve maksimum tepe yerdeğiştirmesine ( $\delta_{tepe}$ ) dönüştürülür.



Şekil 4.6 Performans noktasının belirlenmesi

#### 4.1.2 KSY FEMA 440 ile Yerdeğiştirme Talebi ve Performans Noktasının Belirlenmesi

FEMA 440 ile yenilenen Kapasite Spektrum Yöntemi, ATC 40'da olduğu gibi öncelikle kapasite spektrumu üzerinde bir nokta performans noktası olarak tahmin edilir ve spektrum eğrisi iki doğru parçası ile idealleştirilir. Bu idealleştirme, kapasite spektrum eğrisi ile iki doğru parçalı idealleştirilmiş eğrinin arasında kalan alanların ( $Alan1=Alan2$ ) eşit olması şekilde yapılır (Şekil 4.7), [7].



Şekil 4.7 Kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesi

Burada ;

$a_y$  : İki doğru parçalı olarak idealleştirilen kapasite spektrumunda akma noktasının spektral ivme koordinatı,

$d_y$  : İki doğru parçalı olarak idealleştirilen kapasite spektrumunda akma noktasının spektral yerdeğiştirme koordinatı,

$a_{pi}$  : Tahmini performans noktasının spektral ivme koordinatı (ADRS formatında),

$d_{pi}$  : Tahmini performans noktasının spektral yerdeğiştirme koordinatı (ADRS formatında)

olarak tanımlanmaktadır.

Bu ifadelerle ilgili olarak ATC 40'dan farklı biçimde elastik sonrası rijitlik ( $\alpha$ ) ve süneklik ( $\mu$ ) değerleri (4.13) bağıntısı ile elde edilmektedir, [7].

$$\alpha = \frac{(a_{pi} - a_y)}{(d_{pi} - d_y)} \cdot \left(\frac{a_y}{d_y}\right), \quad \mu = \frac{d_{pi}}{d_i} \quad (4.13)$$

Kapasite spektrumu, iki doğru parçası ile idealleştirildikten sonra binanın etkin sönümü hesaplanabilir. Deprem hareketinin binaya elastik bölge dışında etkidiğinde oluşan sönüm, yapının doğasında olan viskoz sönümle histeristik sönümün bir kombinasyonu ile temsil edilir. Kapasite Spektrum Yöntemi, farklı süneklik seviyelerini gösteren indirgenmiş elastik

spektrumu elde etmek için bu etkin sönümü kullanır. Histeristik sönüm ( $\beta_{eq}$ ), binanın deprem kuvvetine (taban kesme kuvveti) karşı kritik yerdeğiştirme grafiği çizildiğinde oluşan çevrim içinde kalan alanla ilişkilidir (Şekil 4.3). (4.6) bağıntısı ile hesaplanabilen histeristik sönüm ( $\beta_{eq}$ ), eşdeğer viskoz sönüm ( $\beta_{eff}$ ) ile temsil edilebilir. Eşdeğer viskoz sönüm ( $\beta_{eff}$ )  $d_{pi}$ 'nin maksimum bir yerdeğiştirmesi ile ilişkilidir. FEMA 440'da üç süneklik bölgesi için elastik sonrası rijitliğe ( $\alpha$ ) ve histeretik modele bağlı olarak eşdeğer viskoz sönüm ( $\beta_{eff}$ ) kritik sönümün yüzdesi olarak (4.14a-b-c) bağıntıları ile ifade edilmektedir, [7].

$$\mu < 4 \quad \text{için} : \beta_{eff} = A(\mu - 1)^2 + B(\mu - 1) + \beta_0 \quad (4.14a)$$

$$4 \leq \mu < 6.5 \quad \text{için} : \beta_{eff} = C + D(\mu - 1) + \beta_0 \quad (4.14b)$$

$$6.5 \leq \mu \quad \text{için} : \beta_{eff} = E \left[ \frac{F(\mu - 1) - 1}{F(\mu - 1)^2} \right] \left( \frac{T_{eff}}{T_0} \right)^2 + \beta_0 \quad (4.14c)$$

Etkin periyot için verilen bağıntılardaki katsayıların değerleri (A,B,C,D,E,F) Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Etkin sönümün ( $\beta_{eff}$ ) hesabı için gerekli katsayılar [7]

Histeretik Model	$\alpha$ (%)	KATSAYILAR					
		A	B	C	D	E	F
İdeal Elasto-Plastik Model (BLH)	0	3.2	-0.66	11	0.12	19	0.73
	2	3.3	-0.64	9.4	1.1	19	0.42
	5	4.2	-0.83	10	1.6	22	0.40
	10	5.1	-1.10	12	1.6	24	0.36
	20	4.6	-0.99	12	1.1	25	0.37
Rijitlik Azalması Modeli (STDG)	0	5.1	-1.10	12	1.4	20	0.62
	2	5.3	-1.20	11	1.6	20	0.51
	5	5.6	-1.30	10	1.8	20	0.38
	10	5.3	-1.20	9.2	1.9	21	0.37
	20	4.6	-1.00	9.6	1.3	23	0.34
Dayanım Azalması Modeli (STRDG)	-5 <sup>a</sup>	5.6	-1.3	14	0.61	22	0.90
	-3 <sup>a</sup>	5.3	-1.2	14	0.69	24	0.90

a: Elastik sonrası rijitliğin negatif değeri  $\alpha_{eff}$  ile sınırlandırılabilir.

Etkin sönüm için aşağıda verilen ifadeler *yaklaşık ifadeler* histeretik modelden ve  $\alpha$  (elastik sonrası rijitlik)'den bağımsız olarak herhangi bir kapasite eğrisine kullanılabilir ve (4.15a-b-c) bağıntıları ile hesaplanmaktadır, [7].

$$\mu < 4 \quad \text{için} : \beta_{\text{eff}} = 4.9(\mu - 1)^2 + 1.1(\mu - 1) + \beta_0 \quad (4.15a)$$

$$4 \leq \mu < 6.5 \quad \text{için} : \beta_{\text{eff}} = 14 + 0.32(\mu - 1) + \beta_0 \quad (4.15b)$$

$$6.5 \leq \mu \quad \text{için} : \beta_{\text{eff}} = 19 \left[ \frac{0.64(\mu - 1) - 1}{0.64(\mu - 1)^2} \right] \left( \frac{T_{\text{eff}}}{T_0} \right)^2 + \beta_0 \quad (4.15c)$$

Etkin periyot değerleri, FEMA 440'da ATC 40'dan farklı olarak bütün histeretik modele ve  $\mu$  süneklilik oranına bağlı olarak (4.16a-b-c) bağıntısı ile hesaplanabilir.

$$\mu < 4 \quad \text{için} : T_{\text{eff}} = [G(\mu - 1)^2 + H(\mu - 1)^3 + 1]T_0 \quad (4.16a)$$

$$4 \leq \mu < 6.5 \quad \text{için} : T_{\text{eff}} = [I + J(\mu - 1) + 1]T_0 \quad (4.16b)$$

$$6.5 \leq \mu \quad \text{için} : T_{\text{eff}} = \left[ K \left[ \sqrt{\frac{(\mu - 1)}{1 + L(\mu - 2)}} - 1 \right] + 1 \right] T_0 \quad (4.16c)$$

Etkin periyot ( $T_{\text{eff}}$ ) için verilen bağıntılardaki katsayıların (G,H,I,J,K,L) değerleri Çizelge 4.5'de gösterilmiştir, [7].

Çizelge 4.5 Etkin periyodun ( $T_{eff}$ ) hesabı için gerekli katsayılar [7]

Histeretik Model	$\alpha$ (%)	KATSAYILAR					
		G	H	I	J	K	L
İdeal Elasto-Plastik Model (BLH)	0	0.11	-0.017	0.27	0.09	0.57	0.00
	2	0.10	-0.014	0.17	0.12	0.67	0.02
	5	0.11	-0.018	0.09	0.14	0.77	0.05
	10	0.13	-0.022	0.27	0.10	0.87	0.10
	20	0.10	-0.015	0.17	0.094	0.98	0.20
Rijitlik Azalması Modeli (STDG)	0	0.17	-0.032	0.10	0.19	0.85	0.00
	2	0.18	-0.034	0.22	0.16	0.88	0.02
	5	0.18	-0.037	0.15	0.16	0.92	0.05
	10	0.17	-0.034	0.26	0.12	0.97	0.10
	20	0.13	-0.027	0.11	0.11	1.00	0.20
Dayanım Azalması Modeli (STRDG)	-5 <sup>a</sup>	0.20	-0.038	0.25	0.17	0.71	-0.05
	-3 <sup>a</sup>	0.18	-0.033	0.17	0.18	0.76	-0.03

a: Elastik sonrası rijitliğin negatif değeri  $\alpha_{eff}$  ile sınırlandırılabilir.

Etkin sönümde olduğu gibi etkin periyot ( $T_{eff}$ ) içinde aşağıda verilen ifadeler *yaklaşık ifadeler* histeristik modelden ve  $\alpha$  (elastik sonrası rijitlik)'den bağımsız (4.17a-b-c) bağıntıları ile hesaplanmaktadır, [7].

$$\mu < 4 \quad \text{için} : T_{eff} = [0.20(\mu - 1)^2 + 0.038(\mu - 1)^3 + 1]T_0 \quad (4.17a)$$

$$4 \leq \mu < 6.5 \quad \text{için} : T_{eff} = [0.28 + 0.13(\mu - 1) + 1]T_0 \quad (4.17b)$$

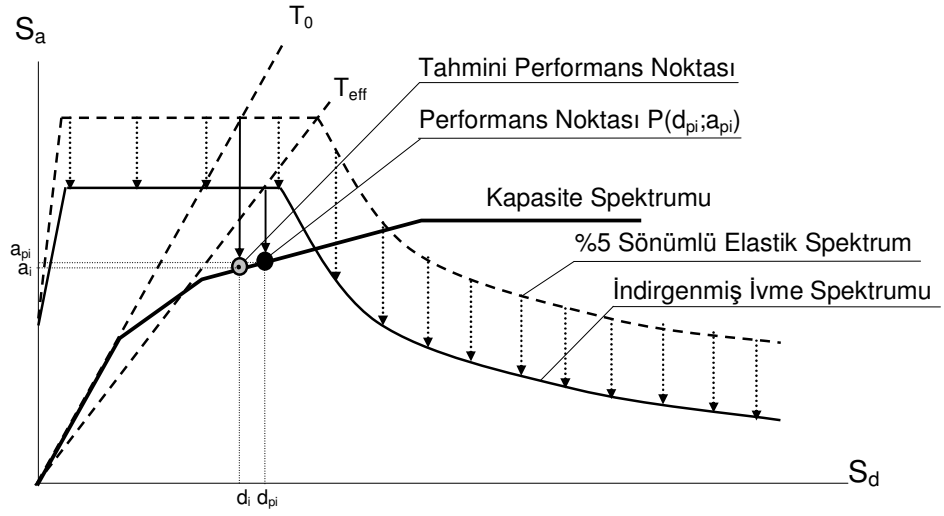
$$6.5 \leq \mu \quad \text{için} : T_{eff} = \left[ 0.89 \left[ \sqrt{\frac{(\mu - 1)}{1 + 0.05(\mu - 2)} - 1} \right] + 1 \right] T_0 \quad (4.17c)$$

Uygulamada, etkin sönümün seviyesine bağlı olarak kullanılan spektral indirgeme katsayıları ile elastik davranış spektrumunu indirmek için eşdeğer doğrusallaştırma işlemleri kullanılır. Bu katsayılar, etkin sönümün fonksiyonudur ve Spektral İndirgeme Katsayıları  $B(\beta_{eff})$  olarak isimlendirilirler.  $B(\beta_{eff})$ 'i belirlemek için çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerden bir tanesi (4.18) ve (4.19) bağıntılarıyla verilmiştir, [7].

$$B = \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{\text{eff}})(\%)} \quad (4.18)$$

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_{\%5}}{B(\beta_{\text{eff}})} \quad (4.19)$$

Performans noktasını bulurken öncelikle kapasite spektrumunun başlangıç periyodunun %5 sönümlü elastik spektrumunu kestiği yerden kapasite spektrumu üzerine dik inilir. Daha sonra kapasite spektrumunu kesen nokta tahmini performans noktası seçilir. Tahmini performans noktasına göre  $\mu$  ve  $\alpha$ 'ya bağlı olarak  $B(\beta_{\text{eff}})$  ve  $T_{\text{eff}}$  hesaplanır. Hesaplanan indirgeme katsayısı ile %5 sönümlü elastik spektrum indirgenir.  $T_{\text{eff}}$  ile indirgenmiş ivme spektrumunun kesiştiği yerden kapasite spektrumuna dik inilir. Eğer bu nokta başlangıçta tahmin edilen performans noktasında yada bu noktaya yeter derecede yakın ( $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$ ) ise bu nokta **performans noktası** olarak belirlenmiş olur (Şekil 4.8). Aksi halde bulunan kesişme noktası performans noktası olarak kabul edilip aynı işlemler tekrar edilir. Bu spektral değerler yine (4.3) ve (4.4) bağıntıları kullanılarak toplam taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) ve maksimum tepe yerdeğiştirmesine ( $\delta_{\text{tepe}}$ ) dönüştürülür.



Şekil 4.8 Performans noktasının ADRS formatında belirlenmesi

#### 4.1.3 ATC 40 ve FEMA 440'daki KSY'nin Farkı

ATC 40'da verilen KSY ve bu yöntemin güncellendiği FEMA 440'daki KSY ile performans noktasının belirlenmesindeki ortak noktalar ve önemli farklılıklar Çizelge 4.6' da bir arada gösterilmiştir.



Çizelge 4.6 Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ile performans noktasının belirlenmesinde ATC 40 ve FEMA 440 arasındaki farklılıklar

KSY (ATC 40) [4]	KSY (FEMA 440) [7]
<p>1. Performans noktası belirlenirken kapasite eğrisi, talep spektrumu ile karşılaştırılması gerektiği için spektral formata dönüştürülür.Çok serbestlik dereceli kapasite eğrisi modal kütle çarpanı ve modal katılım çarpanı kullanılarak eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmektedir.</p>	
<p>2. Kapasite spektrumu üzerinde bir nokta performans noktası olarak tahmin edilir ve spektrum eğrisi iki doğru parçası ile idealleştirilir</p>	
<p>3. Eşdeğer viskoz sönüm hesaplanır.</p> $\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{(a_{pi} d_{pi})/2} * 100 = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$ <p>Yeterli süneklığe sahip olmayan mevcut betonarme binalar, deprem etkisi altında rijitlik ve dayanım azalması vb. etkenlerden dolayı her zaman gibi tam histeristik çevrim yapamazlar. Bu nedenle sönüm düzeltme çarpanı kullanılarak etkin viskoz sönüm hesaplanabilir.</p> $\beta_{eff} = \kappa \beta_0 + 5$ <p>4. Hesaplanan etkin viskoz sönüme bağlı olarak %5 sönümlü elastik talep spektrumunu indirgemek için kullanılacak indirgeme katsayıları <math>SR_A</math> ve <math>SR_V</math> bağıntıları kullanılarak</p> $SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12}$ $SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65}$ <p>elde edilebilir.</p> <p>5. İndirgenmiş talep spektrumu ve kapasite spektrumu aynı grafik üzerinde çizilerek kesim noktasının spektral koordinatları (<math>d_i; a_i</math>) belirlenir. Eğer iki spektrum eğrisi başlangıçta tahmin edilen performans noktasında yada bu noktaya yeter derecede yakın bir noktada kesişirse bu nokta <b>performans noktası</b> olarak belirlenmiş olur. Aksi halde bulunan kesişme noktası performans noktası olarak kabul edilip aynı işlemler tekrar edilir .</p>	<p>3. <math>\alpha</math> elastik sonrası rijitlik ve <math>\mu</math> süneklilik hesaplanır.</p> $\alpha = \frac{(a_{pi} - a_y)}{(d_{pi} - d_y)} \left( \frac{a_y}{d_y} \right), \quad \mu = \frac{d_{pi}}{d_i}$ <p>4. <math>\alpha</math> ve <math>\mu</math> bağılı olarak FEMA 440'da verilen katsayılara bağlı olarak yada FEMA 440'da verilen yaklaşık ifadeler kullanılarak etkin sönüm ve etkin periyot hesaplanır.</p> <p>5. İndirgeme katsayısı <math>B(\beta_{eff})</math> hesaplanır.</p> $B = \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff}) (\%)}$ $(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_{\%5}}{B(\beta_{eff})}$ <p>6. <math>\beta_{eff}</math> için ADRS ile radyal Etkin periyot kesişmesinde tahmin edilmiş maksimum yerdeğiştirme <math>d_i</math> , hesaplanır. Kapasite eğrisinden tahmin edilen yerdeğiştirmeye ilişkin tahmin edilen maksimum ivme belirlenir. Eğer hesaplanan maksimum yerdeğiştirme başlangıçta tahmin edilen performans noktasında yada bu noktaya yeter derecede yakın bir noktada kesişirse bu nokta <b>performans noktası</b> olarak belirlenmiş olur. Aksi halde bulunan kesişme noktası performans noktası olarak kabul edilip aynı işlemler tekrar edilir.</p>

#### **4.1.4 FEMA 440'daki KSY'nin Sekant Periyodu ile Kullanımı için Yapılan Düzeltme (MADRS)**

Geleneksel Kapasite Spektrum Yöntemi ile maksimum yerdeğiştirmesi bulunurken sekant periyodu kullanarak da performans noktası belirlenebilir. Bu kabul, ADRS formatında etkin sönüm  $\beta_{eff}$  için talep spektrumu ile kapasite eğrisinin kesişmesinde meydana gelen maksimum yerdeğiştirme ile sonuçlanır. Bu özellik, iki sebep için gereklidir. İlk olarak, kapasite ve talebin doğrudan grafiksel karşılaştırmasını kolaylaştırarak mühendisin hayalinde canlandırmasını sağlar. İkincisi ise, kapasite eğrisi ile maksimum yerdeğiştirme noktasında kesişen düzeltilmiş ADRS (MADRS) talep eğrisine bağı olan eşdeğer doğrusallaştırma için çok etkin çözüm yöntemleri sağlamasıdır, [7].

Bölüm 4.1.2'de etkin sönüm ve periyot ifadelerini kullanılarak radyal etkin periyot doğrusu ile ADRS talep eğrisinin kesişmesinde maksimum yerdeğiştirme bulunur. Geliştirilen yöntemin etkin periyot değeri, kapasite eğrisi üzerindeki, maksimum yerdeğiştirme ile eşleşen sekant periyottan genellikle daha kısadır. Etkin ivme  $a_{eff}$  değeri anlamlı değildir çünkü gerçek maksimum ivme  $a_{maks}$  kapasite eğrisi üzerinde yer almaktadır ve maksimum yerdeğiştirme ile kesişmektedir. Performans noktasının kapasite eğrisi ile kesişmesi için ADRS talep eğrisindeki değerlerin ordinatlarını (4.20) bağıntısı ile çarpılıp düzeltilerek MADRS elde edilmiş olur.

$$M = \frac{a_{eff}}{a_{maks}} \quad (4.20)$$

İvme değerleri direkt olarak periyotlar ile ilgili olduğundan , düzeltme katsayısı ve etkin periyot değerleri (4.21) ve (4.22) bağıntıları ile elde edilebilir (Şekil 4.9), [7].

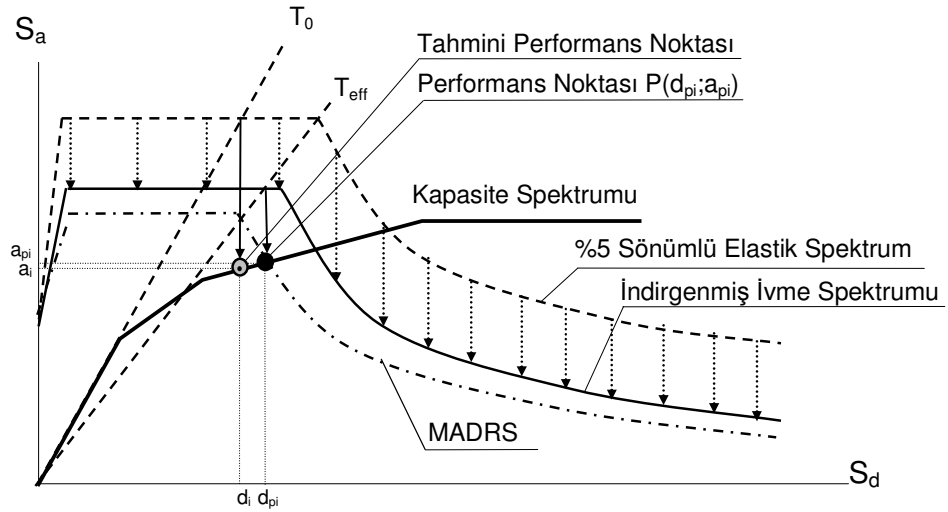
$$M = \left( \frac{T_{\text{eff}}}{T_{\text{sec}}} \right) = \left( \frac{T_{\text{eff}}}{T_0} \right)^2 \left( \frac{T_0}{T_{\text{sec}}} \right)^2 \quad (4.21)$$

$$\frac{T_{\text{sec}}}{T_0} = \sqrt{\frac{\mu}{1 + \alpha(\mu - 1)}} \quad (4.22)$$

Burada;

- M : Düzeltme katsayısı,
- $a_{\text{eff}}$  : Etkin ivme,
- $a_{\text{maks}}$  : Maksimum ivme,
- $T_{\text{eff}}$  : Etkin periyot,
- $T_{\text{sec}}$  : Sekant periyot,
- $T_0$  : Elastik birinci doğal periyot,
- $\mu$  : Süneklik,
- $\alpha$  : Elastik sonrası rijitlik

olarak tanımlanmaktadır.

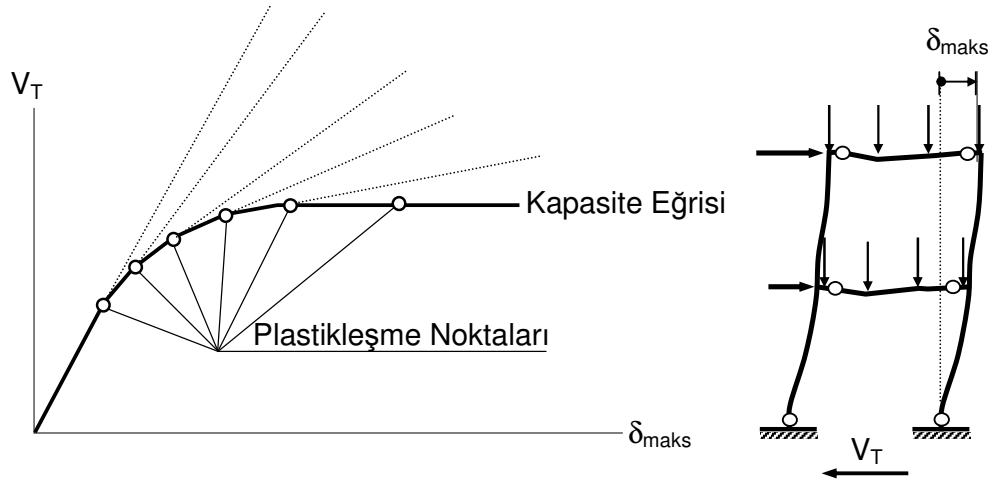


Şekil 4.9 Performans noktasının MADRS ile belirlenmesi

## 4.2 Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY)

Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) [6], belirli bir deprem yer hareketi için binaya yüklenen yerdeğiştirme talebi ile yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır. Ancak, bu yöntemde yerdeğiştirme talebi grafiksel olarak değil direkt olarak sayısal bir yöntemle hesaplanmaktadır. Bunun için taşıyıcı sisteminin özelliklerine bağlı olarak belirlenen, yapının periyodunu, histeristik davranışını ve ikinci mertebeye etkilerini temsil eden katsayılar kullanılmaktadır, [38].

Yerdeğiştirme Katsayıları Yönteminde önce taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) ile yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi ( $\delta_{maks}$ ) arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal titreşim periyoduna ve etkin olan modlara bağlı olarak uygun bir eşdeğer deprem yükü dağılımı seçilir. Sabit düşey yükler altında ve monotonik artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre analiz yapılarak kapasite eğrisi elde edilir (Şekil 4.10), [38].

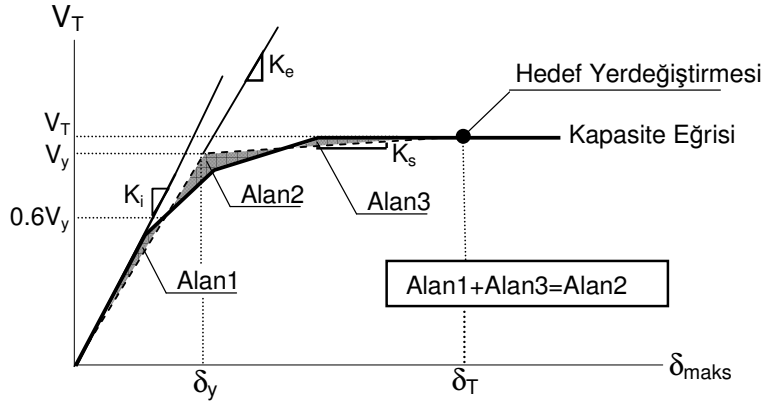


Şekil 4.10 Kapasite eğrisinin şematik gösterimi

Kapasite eğrisi elde edildikten sonra bu eğri, elastik rijitliği ifade eden ( $K_e$ ) ve elastik sonrası rijitliği ifade eden ( $K_s$ ) doğru parçaları ile idealleştirilir.

Bu idealleştirme yapılırken  $K_e$  doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının,  $K_e$  ve  $K_s$  doğrularının kesim noktasının ordinatı için verilen %60 ( $0.60V_y$ ) koşulunun gerçekleşmesi sağlanır (Şekil 4.11). İki doğru parçasının kesişim noktası başlangıçta bilinmediğinden bir deneme yanılma yöntemi uygulanarak ilgili koşul sağlatılır.

Buna göre, kapasite eğrisi üzerinde bir hedef yerdeğiştirmesi ( $\delta_T$ ) tahmin edilerek (öngörülerek)  $K_e$  doğrusu seçilir ve buna bağlı olarak  $V_y$  değeri belirlenir.  $K_e$  doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatı kontrol edilir. Eğer bu değer  $0.60V_y$  ye eşit değilse  $K_e$  için yeni bir değer öngörülerek işlem tekrarlanır. İlgili koşulu sağlayan idealleştirme gerçekleştirildikten sonra (4.23) bağıntısı ile  $T_e$  etkin periyot değeri hesaplanır, [6] .



Şekil 4.11 Kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (4.23)$$

Burada,

$T_i$  : Elemanların gerçek (çatlamış) rijitlikleri kullanılarak deprem kuvveti doğrultusunda yapının serbest titreşim analizi ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu,

$K_i$  : yapının elastik yanal rijitliği,

$K_e$ : yapının elastik etkin rijitliği,

$\delta_y$ : iki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma yerdeğiştirmesi,

$V_y$ : iki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma dayanımı

olarak tanımlanmaktadır, [6].

YKY'nde binanın performans seviyesi kontrolünün yapılacağı  $\delta_T$  hedef yerdeğiştirmesi, (4.24) bağıntısı ile hesaplanmaktadır, [6].

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (4.24)$$

#### 4.2.1 YKY FEMA 356 ile Maksimum (Hedef) Yerdeğiştirmenin Belirlenmesi

Hedef yerdeğiştirmenin belirlenebilmesi için yerdeğiştirme katsayılarının hesaplanması gerekmektedir. Bunlar;

- $C_0$  : Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesini, çok serbestlik dereceli bir sistemin tepe yerdeğiştirmesi ile ilişkilendiren katsayıdır. Bu katsayı için aşağıda belirtilen değerlerden herhangi biri kullanılabilir, [6].
  - a) Yerdeğiştirme kontrol noktası seviyesindeki birinci modal katılım çarpanı değeri  $\Gamma_1 = (PF_1 \phi_{Tep,1})$ ,
  - b) Hedef yerdeğiştirmesine ulaşmış binanın deforme olmuş şekli kullanılarak belirlenmiş modal katılım çarpanı değeri,
  - c) Bina taşıyıcı sistemi özelliğine ve kat adedine bağlı olarak Çizelge 4.7'den belirlenmektedir, [6].

Çizelge 4.7  $C_0$  düzeltme katsayısı değerleri [6]

Kat	Kayma Binaları		Diğer Binalar
	Üçgen yük	Üniform yük	Herhangi bir yük
1	1.00	1.00	1.00
2	1.20	1.15	1.20
3	1.20	1.20	1.30
5	1.30	1.20	1.40
>10	1.30	1.20	1.50

Kayma binaları : Tüm katlarında yükseklik arttıkça katlar arasında öteleme miktarı azalan binalardır.

- $C_1$  : *Doğrusal-elastik* davranış için hesaplanmış yerdeğiştirmeler ile beklenen maksimum elastik olmayan yerdeğiştirmeleri ilişkilendiren katsayıdır ve (4.25) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$\left. \begin{array}{l} T_e \geq T_0 \quad \text{için : } C_1 = 1.0 \\ T_e < T_0 \quad \text{için : } C_1 = \frac{1.0 + \frac{(R_0 - 1)T_0}{T_e}}{R_0} \end{array} \right\} \quad (4.25)$$

Burada;

$T_0$  : Davranış spektrumunda sabit ivme bölgesinden sabit hız bölgesine geçişe karşılık gelen karakteristik periyot değeri,

$T_e$  : Etkin periyot değeri,

$R_0$  : (4.26) bağıntısı ile belirlenen elastik olmayan dayanım talebinin akma dayanımına ( $V_y$ ) oranı

olarak tanımlanmaktadır.

$$R_0 = \frac{S_a(T_1)/g}{V_y/W} \cdot C_m \quad (4.26)$$

Burada;

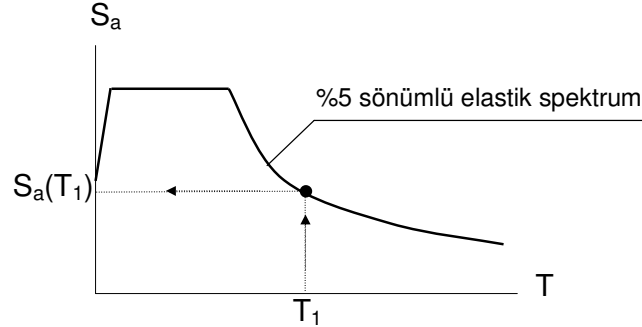
$S_a(T_1)$  : Yapının birinci doğal titreşim periyoduna ( $T_1$ ) karşılık gelen spektral ivme (Şekil 4.12),

$g$  : Yerçekimi ivmesi,

$C_m$  : Etkin kütle çarpanı

olarak tanımlanmaktadır.

$C_m$  çarpanı, bina taşıyıcı sistemine ve kat adedine bağlı olarak Çizelge 4.8'den belirlenmektedir, [6].



Şekil 4.12 %5 sönümlü elastik davranış spektrumu ile  $S_a(T_1)$ 'in belirlenmesi

Çizelge 4.8 Etkin kütle çarpanı ( $C_m$ ) için değerler [6]

Kat sayısı	Betonarme çerçeve	Betonarme perde	Betonarme destek - payanda	Çelik çerçeve	Çelik dışmerkezli çaprazlı	Çelik eşmerkezli çaprazlı	Diğerleri
1-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3<	0.90	0.80	0.80	0.90	0.90	0.90	1.00

Not: 1. doğal titreşim periyodu 1 .00sn'den büyük olan binalarda  $C_m = 1.00$  alınır.

- $C_2$  : Tekrarlı yükler altında histeretik yerdeğiştirme davranışı üzerinde pinching (dinamik yükler altında çatlakların açılıp kapanmasının ve donatı sıyrılmasının *iç kuvvet-şekildeğiştirme* bağıntısına olan etkisidir) etkisi, rijitlik azalması (stiffness degrading) ve dayanım kaybı (strength degrading) etkisini temsil eden değişiklik katsayısıdır. Bina taşıyıcı sisteminin özelliğine, periyoduna ve performans seviyelerine bağlı olarak Çizelge 4.9'dan belirlenmektedir, [6].



Çizelge 4.9 C<sub>2</sub> düzeltme katsayısı için değerler [6]

Performans Seviyesi	T ≤ 0.10sn		T ≥ T <sub>0</sub>	
	Çerçeve tipi - 1	Çerçeve tipi - 2	Çerçeve tipi - 1	Çerçeve tipi - 2
Hemen Kullanım	1.00	1.00	1.00	1.00
Yaşam Güvenliği	1.30	1.00	1.10	1.00
Göçme Önleme	1.50	1.00	1.20	1.00

Çerçeve tipi - 1 : Herhangi bir kat seviyesindeki kat kesme kuvvetlerinin %30 undan daha fazlasını bileşenleri, elemanları veya çerçevelerin kombinasyonu ile karşılayan yapılardır.

Çerçeve tipi - 2 : Çerçeve tipi -1 dışında kalan çerçevelerdir.

T<sub>0</sub>: Davranış spektrumunda sabit ivme bölgesinden sabit hız bölgesine geçişe karşılık gelen karakteristik periyot değeridir.

- **C<sub>3</sub>** : II. Mertebe etkileri nedeniyle arttırılmış yerdeğiştirmeleri temsil eden değişiklik katsayısıdır. Bu katsayı (4.27) bağıntısı ile hesaplanmaktadır, [6].

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = \frac{K_s}{K_e} > 0 \quad \text{ise} \quad C_3 = 1.0 \\ \alpha = \frac{K_s}{K_e} \leq 0 \quad \text{ise} \quad C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha|(R_0 - 1)^{3/2}}{T_e} \end{array} \right\} \quad (4.27)$$

Burada;

K<sub>s</sub> : Elastik sonrası rijitlik,

K<sub>e</sub> : Etkin elastik rijitlik,

α : Elastik sonrası rijitliğin etkin elastik rijitliğe oranı

olarak tanımlanır.

#### 4.2.2 YKY FEMA 440 ile Maksimum (Hedef) Yerdeğiştirmenin Belirlenmesi

FEMA 440'da Bölüm 4.2.1'de açıklanan FEMA 356'daki Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi'nde sadece hedef yerdeğiştirme talebinin belirlenmesinde kullanılan bazı katsayılar da değişiklik yapılarak

güncelleştirilmiştir. Bu bölümde değişen katsayılara ait açıklamalara yer verilmiştir.

- $C_0$  : Bilindiği gibi  $C_0$  katsayısı, eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesinin, çok serbestlik dereceli bir sistemin tepe yerdeğiştirmesi ile ilişkilendiren katsayıdır. Bu katsayıda herhangi bir değişiklik olmayıp FEMA 440'da bu katsayı FEMA 356'da olduğu gibi aynen hesaplanabilmektedir, [7].
- $C_1$  : Bilindiği gibi  $C_1$  katsayısı, *doğrusal-elastik* davranış için hesaplanmış yerdeğiştirmeler ile beklenen maksimum elastik olmayan yerdeğiştirmeleri ilişkilendiren katsayıdır. Bu katsayı (4.28) bağıntısı ile hesaplanabilmektedir, [7].

$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{aT_e^2} \quad (4.28)$$

Burada,

$T_e$  : Etkin periyot değeridir.

$R$  : Dayanım oranıdır ve FEMA 356'da olduğu gibi  $R = \frac{S_a}{V_y / W} * C_m$  olarak hesaplanır.

$a$  : Zemin sınıflarına göre değişen katsayıdır. FEMA 440'da verilen B,C,D zemin sınıfları için  $a$  katsayısı sırasıyla 130, 90, 60 değerlerini almaktadır.

Periyodun 0.2sn'den küçük olduğu durumlarda;  $C_1$  katsayısının değeri için periyodun 0.2sn'ye eşit olduğu andaki değeri alınmaktadır. Periyodun 1.0sn'den büyük olduğu durumlarda ise  $C_1=1.00$ 'dir (4.29), [7].

$$\left. \begin{array}{ll} T < 0.2sn & \text{ise } C_{1(T=0.2sn)} \\ T > 1.0sn & \text{ise } C_1 = 1.00 \end{array} \right\} \quad (4.29)$$

- **C<sub>2</sub>** : Bilindiği gibi C<sub>2</sub> katsayısı, tekrarlı yükler altında histeretik yerdeğiştirme davranışı üzerinde pinching (dinamik yükler altında çatlakların açılıp kapanmasının ve donatı sıyrılmasının *iç kuvvet-şekildeğiştirme* bağıntısına olan etkisidir) etkisi, rijitlik azalması (stiffness degrading) ve dayanım kaybı (strength degrading) etkisini temsil eden değişiklik katsayısıdır. Bu katsayı (4.30) bağıntısıyla hesaplanır, [7].

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{R-1}{T_e} \right)^2 \quad (4.30)$$

Periyodun 0.2sn'den küçük olduğu durumlarda; C<sub>2</sub> katsayısının değeri için periyodun 0.2sn'ye eşit olduğu andaki değeri alınır. Periyodun 0.7sn'den büyük olduğu durumlarda ise C<sub>2</sub>=1.00'dir (4.31), [7].

$$\left. \begin{array}{ll} T < 0.2sn & \text{ise } C_{2(T=0.2sn)} \\ T > 0.7sn & \text{ise } C_2 = 1.00 \end{array} \right\} \quad (4.31)$$

- **C<sub>3</sub>** : Bilindiği gibi C<sub>3</sub> katsayısı, II. Mertebe etkileri nedeniyle arttırılmış yerdeğiştirmeleri temsil eden değişiklik katsayısıdır. FEMA 440'da bu katsayının çıkarılması önerilmektedir, [7].

#### 4.2.3 FEMA 356 ve FEMA 440'daki YKY'nin Farkı

FEMA 356'da verilen YKY ve bu yöntemin güncellendiği FEMA 440'daki YKY ile performans noktasının belirlenmesindeki ortak noktalar ve önemli farklılıklar Çizelge 4.10'da bir arada gösterilmiştir.

Çizelge 4.10 Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) ile hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesinde FEMA 356 ve FEMA 440 arasındaki farklılıklar

KATSAYILAR	YKY (FEMA 356) [6]	YKY (FEMA 440) [7]
<b>C<sub>0</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yerdeğiştirme kontrol noktası seviyesindeki birinci modal katılım çarpanı değeri,</li> <li>• Hedef yerdeğiştirmesine ulaşmış yapının deforme olmuş şekli kullanılarak belirlenmiş modal katılım çarpanı değeri,</li> <li>• Yapı taşıyıcı sistemi özelliğine ve kat adedine bağlı olarak FEMA 356'dan belirlenmektedir.</li> </ul>	
<b>C<sub>1</sub></b>	$T_e \geq T_0$ için $C_1 = 1.00$ $T_e < T_0$ için $C_1 = \frac{1.0 + \frac{(R_0 - 1)T_0}{T_e}}{R_0}$	$C_1 = 1 + \frac{R - 1}{aT_e^2}$ $T < 0.2sn$ ise $C_{1(T=0.2sn)}$ $T > 1.0sn$ ise $C_1 = 1.00$
<b>C<sub>2</sub></b>	Yapı taşıyıcı sistemin özelliğine, periyoduna ve performans seviyesine bağlı olarak FEMA 356'daki Çizelge 4.8 yardımı ile belirlenmektedir.	$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{R - 1}{T} \right)^2$ $T < 0.2sn$ ise $C_{2(T=0.2sn)}$ $T > 0.7sn$ ise $C_2 = 1.00$
<b>C<sub>3</sub></b>	$\alpha = \frac{K_s}{K_e} > 0$ ise $C_3 = 1.0$ $\alpha = \frac{K_s}{K_e} \leq 0$ ise $C_3 = 1.0 + \frac{ \alpha (R_0 - 1)^{3/2}}{T_e}$	$C_3$ katsayısı hesaplarda gözönüne alınmamaktadır.

## 5. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde geniş bir periyot bölgesini temsil edecek şekilde belirlenen sekiz ayrı betonarme bina üzerinde sayısal incelemeler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Bunun için öncelikle incelenen betonarme binaların özellikleri ve gözönüne alınan deprem seviyeleri belirlenmiş, performans seviyeleri tanımlanmıştır. Öncelikle, çalışmada geniş bir periyot bölgesini temsil edecek şekilde belirlenen herhangi bir düzensizliği bulunmayan sekiz ayrı betonarme düzlem çerçeve binanın yürürlükteki Türk Standartları ( TS 498 [34], TS 500 [35] ) ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1998) [36] esaslarına göre boyutlandırılmıştır. Daha sonra incelenen binaların doğrusal olmayan teoriye göre elastik ötesi statik itme (pushover) analizi yapılarak kapasite eğrileri belirlenmiştir.

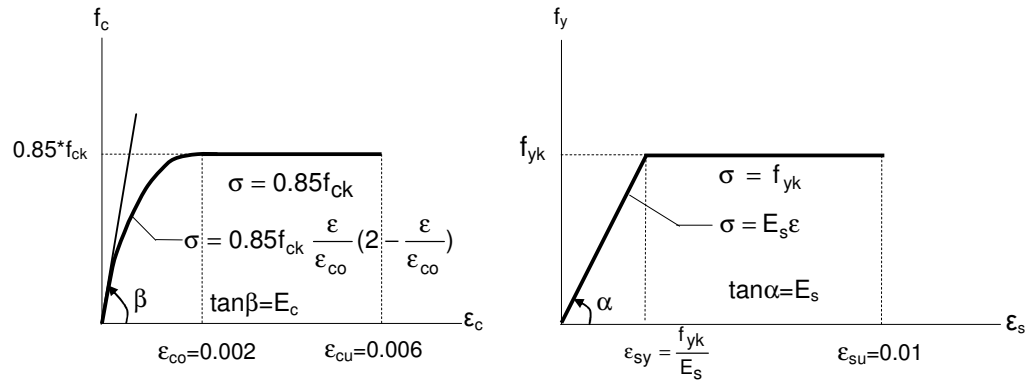
İki farklı deprem seviyesi (D1 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=0.532g$ ) ve D2 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=1.064g$ )) ve iki farklı eşdeğer deprem yükü dağılımı (1.mod ve SRSS) için doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri (KSY FEMA 440 ve KSY ATC 40, YKY FEMA 356 ve YKY FEMA 440) ile betonarme binaların yerdeğiştirme ve dayanım talepleri hesaplanarak, performans seviyeleri belirlenmiştir.

### 5.1 Hesaplarda Yapılan Varsayımlar

Binaların doğrusal olmayan statik analizi ile kapasite eğrilerinin elde edilmesinde yapılan varsayımlar iki ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar; genel varsayımlar ve taşıyıcı sistem elemanları (kiriş ve kolon) için varsayımlardır.

a) Genel Varsayımlar;

- Malzemenin doğrusal olmayan davranışı plastik mafsallık hipotezi ile gözönüne alınmaktadır. Buna göre plastik şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli bölgelerde toplandığı diğer bölgelerin malzeme davranışının doğrusal elastik kaldığı kabul edilmiştir.
- Yerdeğiştirmelerin yeter derecede küçük olmadığı yapı sistemlerinde denge denklemlerinin şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerinde gözönüne alındığı II. Mertebe teorisine göre hesap yapılmıştır.
- Malzemenin gerilme şekil değiştirme bağıntıları, beton için parabol+dikdörtgen çelik için ideal elasto-plastik olarak alınmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Beton ve çeliğin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları

Burada;

$f_{ck}$  : Betonun karakteristik basınç dayanımı,

$\epsilon_{co}$  : Betonun plastik şekil değiştirmesinin başlamasına karşılık gelen birim kısalması,

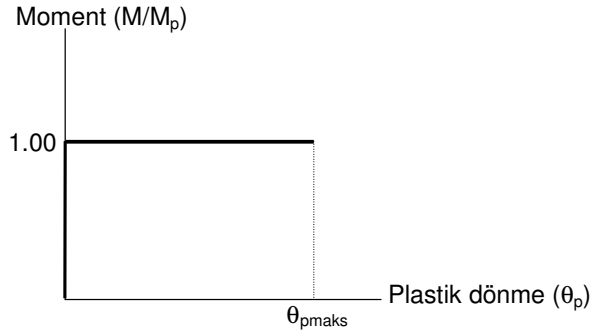
$\epsilon_{cu}$  : Betonun izin verilen en büyük birim kısalması,

$\epsilon_{sy}$  : Beton çeliğinin plastik şekil değiştirmesinin başlamasına karşılık gelen birim kısalması,

$\epsilon_{su}$  : Beton çeliğinin izin verilen en büyük birim kısalması,  
 $f_{yk}$  : Beton çeliğinin karakteristik basınç dayanımı  
olarak tanımlanmaktadır.

b) *Taşıyıcı sistem elemanları (kolon ve kiriş) için yapılan varsayımlar*

- Plastikleşmenin kirişlerde basit eğilme ile kolonlarda ise eğilme momenti ve normal kuvvetin etkileşimi (bileşik eğilme) ile meydana geldiği kabul edilmiştir. Kolon ve kirişlerde malzemenin doğrusal olmayan davranışı için moment plastik dönme davranış modeli ideal elasto-plastik olarak kabul edilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Kiriş ve kolonlar için *moment – plastik dönme* bağıntısı

- Taşıyıcı sistem elemanlarında kesme kırılması oluşmadığı kabul edilmiştir. Bunun için elemanların, kesme kuvveti taşıma kapasitelerini aşıp aşmadığı kontrol edilmiştir.
- Taşıyıcı sistem elemanlarında (kolon ve kiriş) çatlama kesit rijitlikleri için FEMA 356'da önerilen değerler kullanılmış ve bu değerler Çizelge 5.1'de verilmiştir, [6].

Çizelge 5.1 Kolon ve kirişler için çatlamış kesit rijitlik değerleri [6]

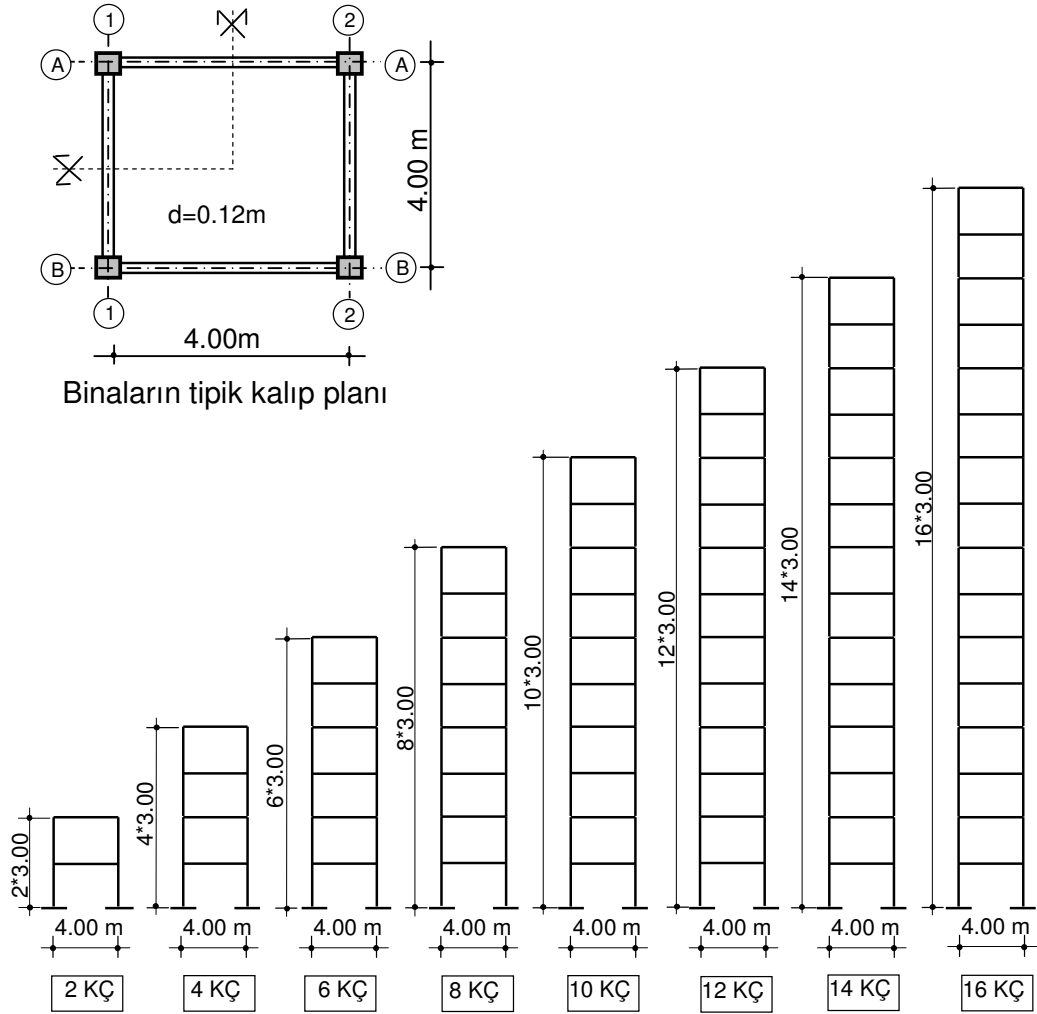
Binaların taşıyıcı sistem elemanları	Eğilme Rijitliği	Kayma Rijitliği	Uzama Rijitliği
Kirişler	$0.5 E_c I_g$	$0.4 E_c A_w$	---
Tasarım düşey yüklerinden dolayı aksenal basınç kuvveti $\geq 0.50 A_b \cdot f_{ck}$ olan kolonlar	$0.7 E_c I_g$	$0.4 E_c A_w$	$E_c A_b$
Tasarım düşey yüklerinden dolayı aksenal basınç kuvveti $< 0.30 A_b \cdot f_{ck}$ olan veya çekme kuvveti alan kolonlar	$0.5 E_c I_g$	$0.4 E_c A_w$	$E_c A_s$

Burada,  $E_c$  betonun elastisite modülü,  $I_g$  betonarme kesitin brüt atalet momenti,  $A_w$  kirişin enkesit alanı,  $A_b$  kolonun brüt enkesit alanı,  $A_s$  çekme donatısının alanıdır.

## 5.2 Betonarme Binaların Özellikleri

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerini (KSY ve YKY) karşılaştırmak üzere geniş periyot bölgesindeki betonarme binaları temsil etmek üzere herhangi bir düzensizliği bulunmayan 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 Katlı tek açıklıklı betonarme Çerçeve (2KÇ, 4KÇ, 6KÇ, 8KÇ, 10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) bina sistemleri seçilmiştir. Bu binalar TS 500 [35] ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1998) [36] ve ilgili diğer Türk Standartlarına göre boyutlandırılmıştır. Geometrik özellikleri Şekil 5.3'de verilen her iki doğrultuda simetrik binaların ortak karakteristik özellikleri Çizelge 5.2'de verilmiştir. İncelenen binaların serbest titreşim analizi ile elde edilen brüt ve çatlamış kesitli 1. moda ait titreşim periyotları Çizelge 5.3'de ve incelenen periyot bölgeleri Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Kirişlerin boyutları Şekil 5.5 ve kolon elemanlarına ait tipik bir karşılıklı etki diyagramı Şekil 5.6'da verilmiştir. Binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kiriş ve kolon boyutları ve özellikleri Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'de verilmiştir.





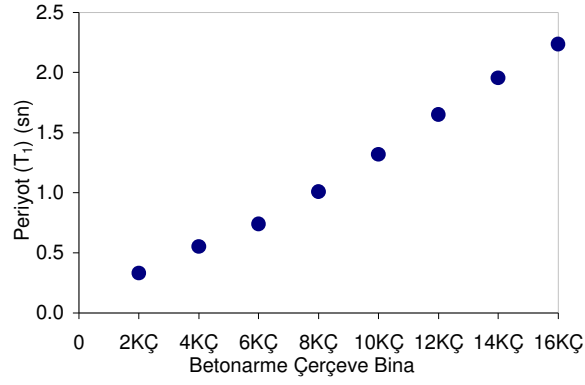
Şekil 5.3 Betonarme binaların geometrik özellikleri (A-A, B-B, 1-1, 2-2 çerçeveleri)

Çizelge 5.2 Binaların ortak karakteristik özellikleri

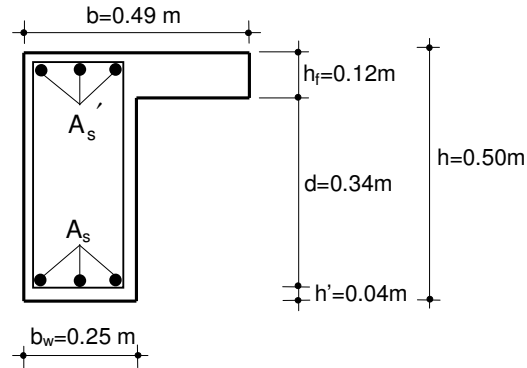
Beton	C25 ( $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ , $E_c = 30250 \text{ MPa}$ )
Beton çeliği	BÇ III ( $f_{yk} = 420 \text{ MPa}$ , $E_s = 200000 \text{ MPa}$ )
Sabit döşeme yükleri	$G = 4.48 \text{ kN/m}^2$
Hareketli döşeme yükleri	$Q = 2.00 \text{ kN/m}^2$
Duvar yükleri	2.85 kN/m
Döşeme kalınlığı	$d = 0.12 \text{ m}$
Pas payı	0.040 m
Deprem bölgesi	1 ( $A_o = 0.40$ )
Bina önem katsayısı	1 ( $I = 1$ )
Zemin sınıfı	Z2 ( $T_A = 0.15 \text{ s}$ , $T_B = 0.40 \text{ s}$ )
Süneklik düzeyi	Yüksek ( $R = 8$ )

Çizelge 5.3 Betonarme çerçevelerin kat kütleleri ve periyotları

Çerçeve adı	Kat kütleleri ( $m_i$ ) ( $kNs^2/m$ )	1. Moda Ait Titreşim Periyot ( $T_1$ ) (sn)	
		Brüt kesit için	Çatlamış kesit için
2KÇ	9.644	0.266	0.330
4KÇ	9.867	0.438	0.552
6KÇ	10.342	0.579	0.740
8KÇ	10.342	0.796	1.007
10KÇ	10.158	1.049	1.320
12KÇ	10.109	1.331	1.649
14KÇ	10.075	1.644	1.957
16KÇ	10.308	1.839	2.236



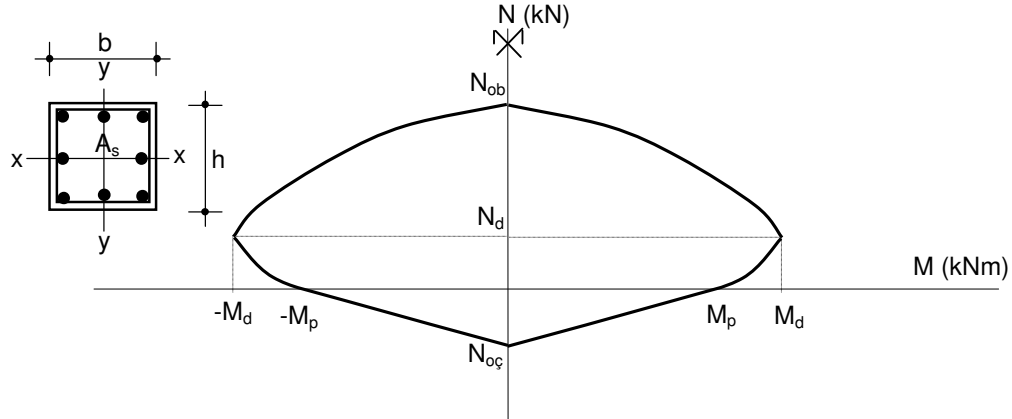
Şekil 5.4 Betonarme çerçevelerin 1. moda ait çatlamış kesit için titreşim periyotları ( $T_1$ )



Şekil 5.5 Kiriş boyutları (tüm binalar için aynıdır)

Çizelge 5.4 Çerçeveslerde kiriş elemanlarının boyutları ve özellikleri

Betonarme Bina	Kat no	Donatı	Donatı Alanı (cm <sup>2</sup> )	Moment Taşıma Kapasitesi (M <sub>p</sub> ) (kNm)	Çatlamış Kesit Eğilme Rijitliği (E <sub>c</sub> I <sub>g</sub> ) (kNm <sup>2</sup> )	Kiriş boyutları (b <sub>w</sub> *h) (cm*cm)
			Mesnet	Mesnet		
2 KÇ	1-2	A <sub>s</sub> '	4.62 (3Φ14)	-89.48	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	3.08 (2Φ14)	60.43		
4 KÇ	2-4	A <sub>s</sub> '	4.62 (3Φ14)	-89.13	52691.27	25*50
	A <sub>s</sub>	3.08 (2Φ14)	60.43			
6 KÇ	4-6	A <sub>s</sub> '	4.62 (3Φ14)	-89.13	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	3.08 (2Φ14)	60.433		
8 KÇ	1-3	A <sub>s</sub> '	6.16 (4Φ14)	-118.15	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	4.62 (3Φ14)	89.37		
10 KÇ	6-8	A <sub>s</sub> '	4.02(2Φ16)	-77.94	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	4.02(2Φ16)	77.94		
12 KÇ	4-5	A <sub>s</sub> '	6.03(3Φ16)	-115.41	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	4.02(2Φ16)	77.94		
14 KÇ	1-3	A <sub>s</sub> '	6.03(3Φ16)	-115.16	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	6.03(3Φ16)	115.16		
16 KÇ	7-10	A <sub>s</sub> '	4.02(2Φ16)	-77.94	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	4.02(2Φ16)	77.94		
18 KÇ	4-5	A <sub>s</sub> '	6.03(3Φ16)	-115.41	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	4.02(2Φ16)	77.94		
20 KÇ	1-4	A <sub>s</sub> '	8.04(4Φ16)	-152.15	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	6.03(3Φ16)	114.96		
22 KÇ	9-12	A <sub>s</sub> '	4.02 (2Φ16)	-77.94	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	4.02 (2Φ16)	77.94		
24 KÇ	7-8	A <sub>s</sub> '	6.03 (3Φ16)	-115.41	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	4.02 (2Φ16)	77.93		
26 KÇ	5-6	A <sub>s</sub> '	8.04 (4Φ16)	-152.15	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	6.03 (3Φ16)	114.96		
28 KÇ	1-4	A <sub>s</sub> '	10.05 (5Φ16)	-188.42	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	8.04 (4Φ16)	151.50		
30 KÇ	11-14	A <sub>s</sub> '	4.02 (2Φ16)	-77.94	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	4.02 (2Φ16)	77.94		
32 KÇ	8-10	A <sub>s</sub> '	8.04 (4Φ16)	-152.15	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	6.03 (3Φ16)	114.96		
34 KÇ	5-7	A <sub>s</sub> '	10.05 (5Φ16)	-188.42	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	8.04 (4Φ16)	151.50		
36 KÇ	1-4	A <sub>s</sub> '	12.06 (6Φ16)	-224.35	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	10.05 (5Φ16)	187.69		
38 KÇ	13-16	A <sub>s</sub> '	4.02 (2Φ16)	-77.94	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	4.02 (2Φ16)	77.94		
40 KÇ	10-12	A <sub>s</sub> '	8.04 (4Φ16)	-152.15	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	6.03 (3Φ16)	114.96		
42 KÇ	5-9	A <sub>s</sub> '	12.06 (6Φ16)	-224.35	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	10.05 (5Φ16)	187.69		
44 KÇ	1-4	A <sub>s</sub> '	14.07 (7Φ16)	-260.02	52691.27	25*50
		A <sub>s</sub>	12.06 (6Φ16)	223.62		



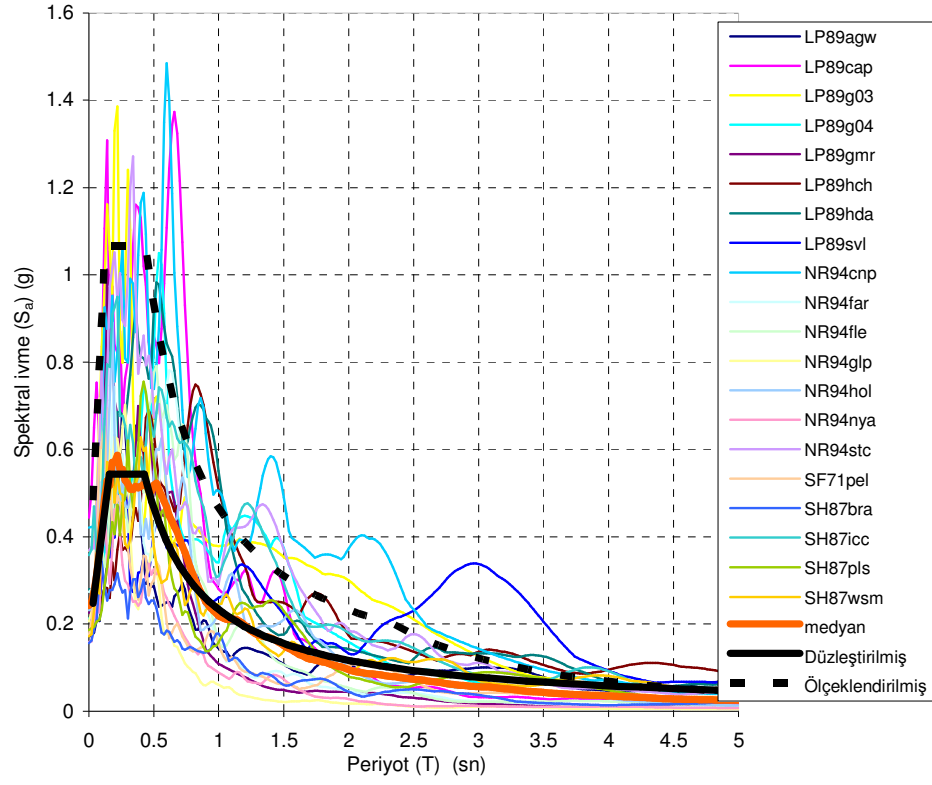
Şekil 5.6 Kolon elemanlarına ait tipik karşılıklı etki diyagramı

Çizelge 5.5 Betonarme çerçeve binalarda kolon elemanlarının boyutları ve özellikleri

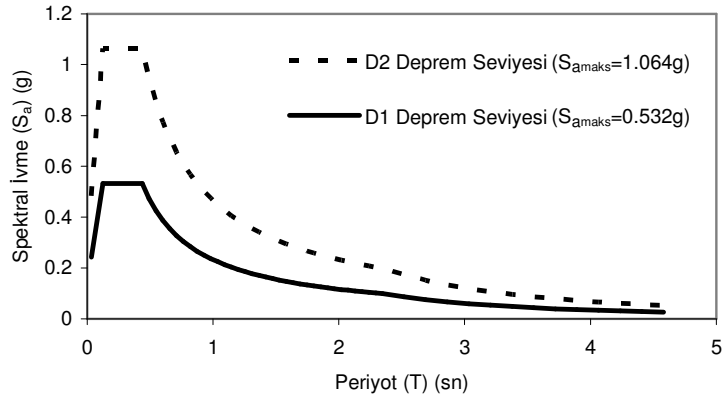
Çerçeve adı	Kat No	Kolon boyutları (b*h) (cm*cm)	Donatı alanı (A <sub>s</sub> ) (cm <sup>2</sup> )	Çatlamış kesit eğilme rijitliği (E <sub>cl</sub> I <sub>g</sub> ) (kNm <sup>2</sup> )	Uzama rijitliği (EF) (kN)	N <sub>ob</sub> (kN)	M <sub>d</sub> (kNm)	N <sub>d</sub> (kN)	M <sub>p</sub> (kNm)	N <sub>oç</sub> (kN)
2KÇ	1-2	30*30	12.32 (8Φ14)	14293.13	2722500	2429.73	113.11	832.30	61.98	517.23
4KÇ	3-4	30*30	12.32 (8Φ14)	14293.13	2722500	2429.73	113.11	832.30	61.98	517.23
	1-2	35*35	12.32 (8Φ14)	26479.78	3705625	3120.36	164.77	1160.26	75.77	517.23
6KÇ	4-6	35*35	12.32 (8Φ14)	26479.78	3705625	3120.36	164.77	1160.26	75.77	517.23
	1-3	40*40	16.08 (8Φ16)	45173.33	4840000	4075.57	249.37	1543.40	114.88	675.57
8KÇ	5-8	35*35	12.32 (8Φ14)	26479.78	3705625	3120.36	164.77	1160.26	75.77	517.23
	1-4	40*40	16.08 (8Φ16)	45173.33	4840000	4075.57	249.37	1543.40	114.88	675.57
10KÇ	8-10	30*30	12.32 (8Φ14)	14293.13	2722500	2429.73	113.11	832.30	61.98	517.23
	5-7	35*35	12.32 (8Φ14)	26479.78	3705625	3120.36	164.77	1160.26	75.77	517.23
	1-4	40*40	16.08 (8Φ16)	45173.33	4840000	4075.57	249.37	1543.40	114.88	675.57
12KÇ	9-10	30*30	12.32 (8Φ14)	14293.13	2722500	2429.73	113.11	832.30	61.98	517.23
	5-8	35*35	12.32 (8Φ14)	26479.78	3705625	3120.36	164.77	1160.26	75.77	517.23
	1-4	40*40	16.08 (8Φ16)	45173.33	4840000	4075.57	249.37	1543.40	114.88	675.57
14KÇ	10-14	30*30	12.32 (8Φ14)	14293.13	2722500	2429.73	113.11	832.30	61.98	517.23
	5-9	35*35	12.32 (8Φ14)	26479.78	3705625	3120.36	164.77	1160.26	75.77	517.23
	1-4	40*40	16.08 (8Φ16)	45173.33	4840000	4075.57	249.37	1543.40	114.88	675.57
16KÇ	13-16	30*30	12.32 (8Φ14)	14293.13	2722500	2429.73	113.11	832.30	61.98	517.23
	8-12	35*35	12.32 (8Φ14)	26479.78	3705625	3120.36	164.78	1160.26	75.77	517.23
	4-7	40*40	16.08 (8Φ16)	45173.33	4840000	4075.57	249.37	1543.40	114.88	675.57
	1-3	45*45	20.36 (8Φ18)	72358.95	6125625	5158.12	358.77	1980.79	165.73	854.99

### 5.3 Analizlerde Kullanılacak Deprem Seviyelerinin Belirlenmesi

İncelenen binaların doğrusal olmayan statik analizi ile performanslarının hesabında gözönüne alınacak deprem seviyeleri için 20 adet deprem kaydından elde edilen büyüklükleri ve faya olan uzaklıklarına göre isimlendirilen dört farklı deprem gruplarına (LMSR,LMLR,SMLR,SMSR) ait deprem ivme kayıtları incelenmiştir. Bu deprem gruplarının büyüklükleri (magnitüd) en büyük, (LMSR,LMLR) 6.6-6.9 arasında ve en küçük (SMLR,SMSR) 5.8-6.5 arasında, faya olan uzaklıkları en yakın (LMSR,SMSR) 13-30km ve en uzak (LMLR,SMLR) 30-60km'dir. Bu tez çalışmasında LMSR grubuna ait (büyüklükleri 6.6 – 6.9 arasında olan ve faya olan mesafesi kısa olan depremler) deprem ivme kayıtlarından yararlanılmıştır. Bu ivme kayıtlarının isimleri, kayıtların alındığı yerler, maksimum yer ivmesi değerleri (PGA) vb. karakteristik özellikleri Çizelge 5.6'da verilmiştir, [39]. Doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden KSY ve YKY'nin düzleştirilmiş spektrum bazlı yöntemler olması nedeniyle, LMSR grubuna ait ivme kayıtları ivme spektrumlarına dönüştürülmüş (Şekil 5.7) ve Newmark-Hall yaklaşımı [40] kullanılarak düzleştirilmiştir. Newmark-Hall yaklaşımının LMSR grubuna ait spektrumlara uygulanmasında kayıtların karakteristik değerlerinin geometrik ortalaması esas alınmıştır. Elde edilen düzleştirilmiş spektrumun maksimum ivme değeri ( $S_{2maks}$ ) 0.532g olarak hesaplanmış ve D1 deprem seviyesi olarak isimlendirilmiştir. D1 deprem seviyesini kullanarak yapılan doğrusal olmayan statik analizler (KSY ve YKY) sonucunda tüm binalarda oluşan hasar hemen kullanım performans seviyesinde elde edilmiştir. Ayrıca yöntemlerin karşılaştırılmasında çok daha geniş bir bölgeyi kapsamaları amacıyla taşıyıcı sistem elemanlarında oluşacak hasarın, yaşam güvenliği performans seviyesinde olması öngörülerek LMSR grubuna ait ivme kayıtları daha büyük ivme değerleri için ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirilen düzleştirilmiş spektrumun maksimum ivme değeri ( $S_{2maks}$ ) 1.064 olarak hesaplanmıştır (D2 deprem seviyesi). D1 deprem seviyesinin düzleştirilmiş ivme spektrumu ile D2 deprem seviyesinin düzleştirilmiş ivme spektrumu Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.7 LMSR grubuna ait deprem kayıtlarından elde edilen ivme spektrumları



Şekil 5.8 D1 ve D2 deprem seviyelerine ait düzleştirilmiş ivme spektrumları

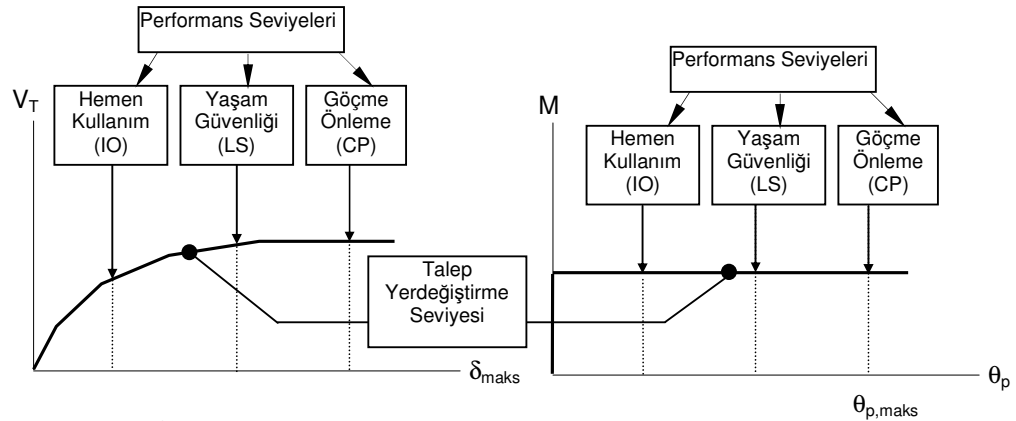
Çizelge 5.6 Analizlerde kullanılan LMSR grubu depremlere ait genel özellikler

No	Deprem Kaydının Kodu	Depremin Yılı ve Adı	Deprem Kaydının Alındığı Yer	Depremin Büyüklüğü (Magnitüd)	Maks.Yer İvmesi (PGA) (cm/sn/sn)	Maks. Yer Hızı (PGV) (cm/sn)	Maks. Yer Yerdeğiştirmesi (PGD) (cm)
1	LP89agw	1989 Loma Prieta	Agnews State Hospital	6.9	169	25.9	12.6
2	LP89cap	1989 Loma Prieta	Capitola	6.9	435	29.2	5.5
3	LP89g03	1989 Loma Prieta	Gilroy array # 3	6.9	360	44.7	19.3
4	LP89g04	1989 Loma Prieta	Gilroy array # 4	6.9	208	37.9	10.1
5	LP89gmr	1989 Loma Prieta	Gilroy array # 7	6.9	221	16.4	2.5
6	LP89hch	1989 Loma Prieta	Hollister City Hall	6.9	242	38.5	17.7
7	LP89hda	1989 Loma Prieta	Hollister Diff. Array	6.9	274	35.6	13.0
8	LP89svl	1989 Loma Prieta	Sunnyvale-Colton Ave.	6.9	203	37.3	19.1
9	NR94cnp	1994 Northridge	Canoga Park-Topanga Canyon	6.7	412	60.7	20.3
10	NR94far	1994 Northridge	LA – N Faring Rd	6.7	268	15.8	3.3
11	NR94fle	1994 Northridge	LA – Fletcher Dr	6.7	236	26.2	3.6
12	NR94glp	1994 Northridge	Glendale – Las Palmas	6.7	202	7.4	1.8
13	NR94hol	1994 Northridge	LA – Hollywood Stor FF	6.7	227	18.2	4.8
14	NR94nya	1994 Northridge	LA Crescenta – New York	6.7	156	11.3	3.0
15	NR94stc	1994 Northridge	Northridge – Saticoy St	6.7	361	28.9	8.4
16	SF71pel	1971 San Fernando	LA – Hollywood Stor Lot	6.7	171	14.8	6.3
17	SH87bra	1987 Superstition Hills	Brawley	6.7	153	13.9	5.3
18	SH87icc	1987 Superstition Hills	El Centro Imp. Co. Center	6.7	351	46.3	17.6
19	SH87pls	1987 Superstition Hills	Plaster City	6.7	182	20.6	5.4
20	SH87wsm	1987 Superstition Hills	Westmorland Fire Station	6.7	169	23.5	13.1

## 5.4 Performans Seviyelerinin Tanımlanması

Performans seviyelerinin belirlenebilmesi amacıyla incelenen betonarme binalar, gözönüne alınan iki farklı deprem seviyesi (D1 deprem seviyesi ( $S_{a,maks}=0.532g$  ve D2 deprem seviyesi  $S_{a,maks}=1.064g$ ) için KSY (FEMA 440 ve ATC 40) ve YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ile belirlenen maksimum yerdeğiştirme talebine kadar doğrusal olmayan statik itme (pushover) analizi yapılarak, binaların maksimum görece kat ötelemeleri ve taşıyıcı sistem elemanlarındaki (kirişlerde ve kolonlarda) maksimum plastik dönmelerin yerleri ve değerleri belirlenmiştir.

Binaların performans seviyelerinin belirlenmesinde taşıyıcı sistem elemanlarındaki plastik dönme değerleri (Çizelge 5.7-Çizelge 5.8) için FEMA 356'da tanımlanan ve binaların görece kat ötelemeleri için ATC 40'da [4] tanımlanan performans seviyelerine ait sınır değerlerden yararlanılmıştır (Çizelge 5.9) (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Performans seviyelerinin belirlenmesi

Çizelge 5.7 Kirişlerin performans seviyesi sınırlarına ait  $\theta_p$  değerleri [6]

$\frac{\rho-\rho'}{\rho_{den}}$	Enine Donatı Koşulu	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_{ck}}}$	Kirişlerin Performans Seviyesi Sınırlarına ait $\theta_p$ Değerleri		
			Hemen Kullanım (IO)	Yaşam Güvenliği (LS)	Göçme Önleme (CP)
$\leq 0.00$	$s \leq d/3$ ve $V_s \leq 0.75V$	$\leq 0.253$	0.010	0.020	0.025
$\geq 0.50$			0.005	0.010	0.020

Not : Birimler N ve mm'dir.



Çizelge 5.8 Kolonların performans seviyesi sınırlarına ait  $\theta_p$  değerleri [6]

$\frac{N}{A_g f_{ck}}$	Enine Donatı Koşulu	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_{ck}}}$	Kolonların Performans Seviyesi Sınırlarına ait $\theta_p$ Değerleri		
			Hemen Kullanım (IO)	Yaşam Güvenliği (LS)	Göçme Önleme (CP)
$\leq 0.10$	$s \leq d/3$ ve $V_s \leq 0.75V$	$\leq 0.253$	0.005	0.015	0.020
$\geq 0.40$			0.003	0.012	0.015

Not : Birimler N ve mm'dir.

Çizelge 5.9 Bina performans seviyeleri ve bölgeleri sınırlarına ait maksimum görel kat ötelemesi değerleri [4]

Bina Performans Seviyeleri ve Bölgeleri Sınırlarına ait Maksimum Görel Kat Ötelemesi Değerleri			
Hemen Kullanım (IO)	Hasar Kontrol Bölgesi (IO-LS)	Yaşam Güvenliği (LS)	Göçme Önleme (CP)
0.01	0.01-0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$

Burada;  $A_g$  kolonun brüt alanı,  $f_{ck}$  betonun karakteristik basınç dayanımı,  $\rho$  çekme donatısı oranı,  $\rho'$  basınç donatısı oranı,  $\rho_{den}$  dengeli donatı oranı,  $V$  tasarım kesme kuvveti,  $V_s$  plastik mafsal bölgesindeki etriyelerin karşıladığı kesme kuvveti,  $b_w$  enkesit genişliği,  $d$  enkesit etkin yüksekliği,  $s$  plastik mafsal bölgesindeki etriye aralığını,  $V_i$  inolu kattaki toplam kesme kuvvetini,  $P_i$  i nolu kattaki toplam düşey yükü göstermektedir.

## 5.5 Binaların Deprem Performanslarının Elde Edilmesi

Binaların deprem performans seviyelerinin elde edilmesi için doğrusal olmayan dinamik analiz ve doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Bu tez çalışmasında binaların deprem performanslarının elde edilebilmesi için doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden literatürde en yaygın olarak kullanılan Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) ile analizler yapılmıştır. KSY ve KYK ile binaların deprem performanslarının belirlenmesi için ilk olarak binaların yatay yük taşıma kapasitelerini ifade eden kapasite eğrilerinin elde edilmesi gerekmektedir.

### 5.5.1 Binaların Kapasite Eğrilerinin Elde Edilmesi

Binaların yatay kuvvet taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrilerini elde etmek için incelenen binalar, sabit düşey yükler ve monotonik artan yatay deprem yükleri altında, malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre hesaplanmışlardır.

Düşey yük olarak, TS 500'de depremler için öngörülen yük kombinasyonları gözönünde bulundurulmuştur. İncelenen betonarme çerçeve binaların (2KÇ, 4KÇ, 6KÇ, 8KÇ, 10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) eşdeğer deprem yükü dağılımı olarak elastik ötesi statik itme (pushover) analizinde 1.moda ait atalet kuvveti dağılımları kullanılmıştır. Ayrıca 1. moda ait titreşim periyodu 1.00 sn'yi geçen ve yüksek modların etkin olduğu binaların (10 KÇ, 12 KÇ, 14 KÇ, 16 KÇ) elastik ötesi statik itme (pushover) analizinde çok modu gözönüne alan ve üst katlardaki hasar durumunu daha iyi temsil edeceği düşünülen SRSS atalet kuvveti dağılımı da kullanılmıştır.

İncelenen binaların kapasite eğrilerinin belirlenmesinde Ram Perform-2D programından yararlanılmıştır, [41]. Binaların elastik ötesi statik itme (pushover) analizi ile kapasite eğrilerinin elde edilmesinde, taşıyıcı sistem kolon elemanlarında maksimum %2 plastik dönme değeri sınır alınmıştır.

#### 5.5.1.1 Binaların 1.Mod Atalet Kuvveti Dağılımlarının Elde Edilmesi

Binaların kapasite eğrilerinin belirlenmesinde 1. mod atalet kuvveti dağılımları kullanılmıştır. 1. mod dağılımlarında katlara etkiyen  $F_i$  yatay deprem kuvvetinin hesaplanmasında (4.1) bağıntısı kullanılmıştır. Açılal frekansın ( $\omega$ ) hesaplanmasında (4.2) bağıntısından yararlanılmıştır.

$$F_i = \omega^2 * \phi_{i,1} * m_i \quad (4.1)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T_1} \quad (4.2)$$

Burada,

$F_i$  : katlara etkiye yatay kuvvet,

$\phi_{i,1}$  : birinci moda ait (i) nolu kattaki genlik,

$m_i$  : (i) nolu katın kütlesi,

$\omega$  : açısal frekans,

$T_1$  : 1.moda ait çatlamış kesit için titreşim periyodu olarak tanımlanmaktadır.

### 5.5.1.2 Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımlarının Elde Edilmesi

Binaların kapasite eğrilerinin belirlenmesinde 1. moda ait titreşim periyodu 1.00 sn'yi geçen ve yüksek modların etkin olduğu binalarda (10 KÇ, 12 KÇ, 14 KÇ, 16 KÇ) çok modu gözönüne alan ve üst katlardaki hasar durumunu daha iyi temsil edeceği düşünülen SRSS atalet kuvveti dağılımı da kullanılmıştır. İstenilen sayıda mod için katlara etkiyen modal yatay kuvvetler ( $F_{in}$ ) (4.3) bağıntısı ile belirlenmiştir.

$$F_{in} = \Gamma_n * m_i * \phi_{in} * S_{an} \quad (4.3)$$

Burada,

$F_{in}$  : (n) nolu moda ait (i) nolu kattaki kuvvet,

$\Gamma_n$  : (n) nolu moda ait modal katılım çarpanı,

$m_i$  : (i) nolu katın kütlesi,

$\phi_{in}$  : (n) nolu moda (i) nolu katın genliği,

$S_{an}$  : (n) nolu moda ait spektral ivme

olarak tanımlanmaktadır.

Bu yatay kuvvetler ( $F_{in}$ ) kullanılarak (4.4) bağıntısı ile  $V_{in}$  modal kat kesme kuvvetleri belirlenmektedir.

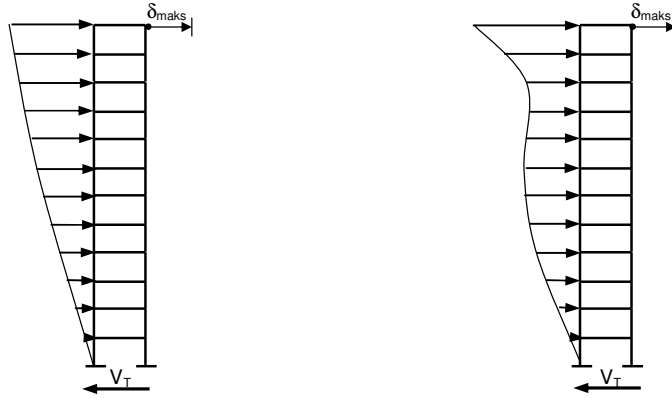
$$V_{in} = \sum_{i=1}^n F_{in} \quad (4.4)$$

Bu modal kat kesme kuvvetleri SRSS kuralı (4.5) ile birleştirilmektedir.

$$V_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i)^2} \quad (4.5)$$

$V_i$  birleştirilmiş kat kesme kuvvetlerinden yararlanılarak katlardaki yatay deprem kuvvetleri ( $F_i$ ) belirlenmektedir.

Hesaplanan 1. mod ve SRSS atalet kuvveti dağılımları şematik olarak gösterimleri Şekil 5.10'da verilmiştir.



a) 1.mod atalet kuvveti dağılımı                      b) SRSS atalet kuvveti dağılımı

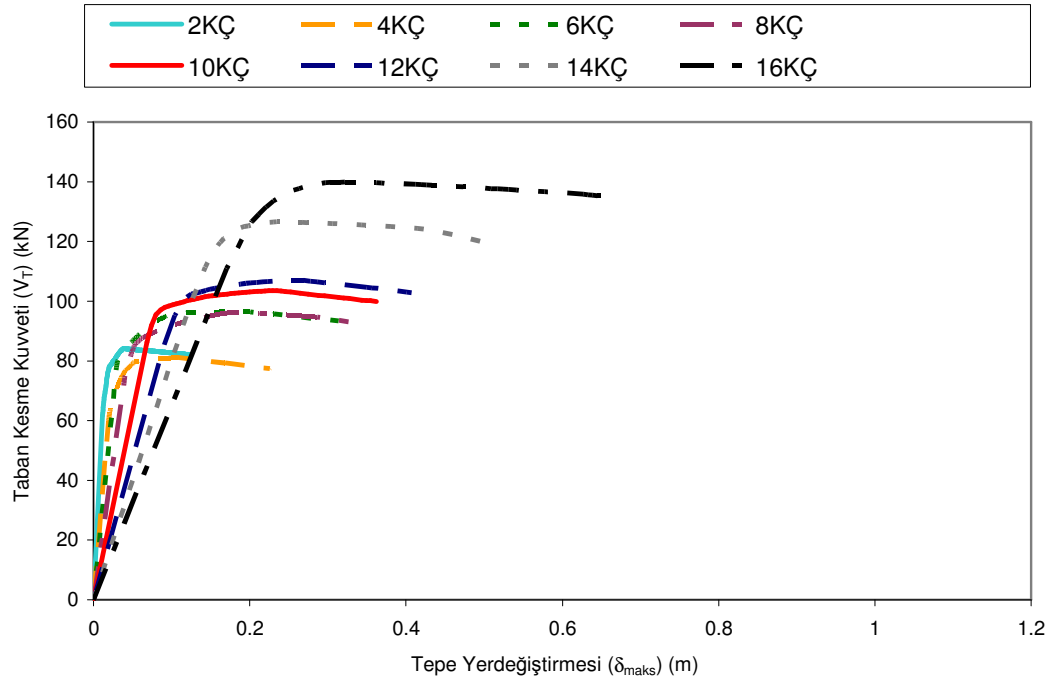
Şekil 5.10 1.mod ve SRSS atalet kuvvetleri dağılımları

Hesaplanan elastik ötesi statik itme (pushover) analizinde kullanılacak olan 1. mod ve SRSS dağılımlarına ait atalet kuvvetleri Çizelge 5.10'da verilmiştir.

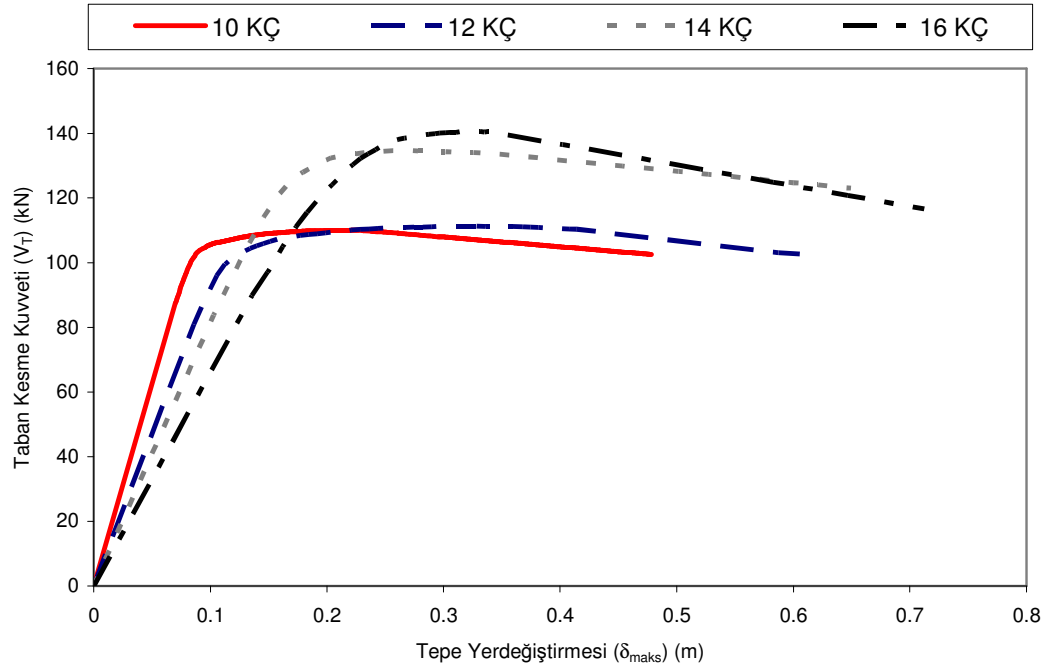
Çizelge 5.10 Binaların 1.mod ve SRSS dağılımlarına ait atalet kuvvetleri

Kat No	2KÇ	4KÇ	6KÇ	8KÇ	10KÇ		12KÇ		14KÇ		16KÇ	
	1.mod	1.mod	1.mod	1.mod	1.mod	SRSS	1.mod	SRSS	1.mod	SRSS	1.mod	SRSS
16	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.407	1.000	0.351	1.000	0.299	1.000	0.307
15	0.546	0.817	0.906	0.936	0.942	0.297	0.950	0.267	0.958	0.244	0.957	0.244
14		0.503	0.751	0.837	0.855	0.172	0.820	0.165	0.909	0.177	0.903	0.159
13		0.218	0.544	0.706	0.742	0.096	0.797	0.095	0.853	0.114	0.840	0.085
12			0.343	0.551	0.637	0.089	0.697	0.070	0.790	0.074	0.768	0.046
11			0.135	0.403	0.520	0.095	0.607	0.076	0.722	0.061	0.702	0.053
10				0.248	0.394	0.110	0.511	0.076	0.638	0.060	0.632	0.064
9				0.096	0.283	0.126	0.410	0.080	0.549	0.061	0.557	0.064
8					0.171	0.108	0.306	0.094	0.457	0.063	0.480	0.053
7					0.066	0.051	0.218	0.105	0.363	0.072	0.402	0.046
6							0.131	0.086	0.269	0.087	0.333	0.058
5							0.050	0.039	0.189	0.095	0.264	0.077
4									0.113	0.077	0.197	0.090
3									0.043	0.035	0.132	0.083
2											0.077	0.059
1											0.027	0.024

İncelenen binalar için hesaplanan 1. moda ait atalet kuvvetleri kullanılarak yapılan elastik ötesi statik itme (pushover) analizleri ile elde edilen kapasite eğrileri Şekil 5.11’de ve SRSS atalet kuvveti dağılımları kullanılarak yapılan elastik ötesi statik itme (pushover) analizleri ile elde edilen kapasite eğrileri Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.11 Binaların 1.mod dağılımları kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri



Şekil 5.12 Binaların SRSS dağılımları kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri

### **5.5.2 Binaların 1. Mod Atalet Kuvveti Dağılımları için KSY (ATC 40 ve FEMA 440) ile Deprem Performanslarının Belirlenmesi**

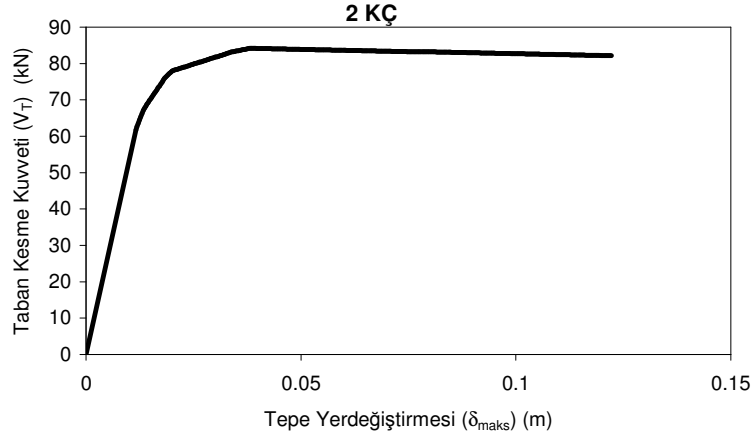
Bu bölümde öncelikle binaların ATC 40 (1996) ve FEMA 440 (2004)'daki Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ile yerdeğiştirme taleplerinin hesaplanması ve daha sonra iki farklı deprem seviyesi (D1 deprem seviyesi ( $S_{maks}=0.532g$ ) ve D2 deprem seviyesi ( $S_{maks}=1.064g$ )) için bina performans seviyelerinin belirlenmesi açıklanmıştır.

#### **5.5.2.1 Binaların 1. Mod Atalet Kuvveti Dağılımları için KSY (ATC 40 ve FEMA 440) ile Yerdeğiştirme Taleplerinin Belirlenmesi**

Bu bölümde binaların kapasite eğrilerinin belirlenmesinde 1. mod atalet kuvveti dağılımı için Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY ATC 40 (1996) ve KSY FEMA 440 (2004)) ile yerdeğiştirme talebinin belirlenmesindeki hesap adımları örnek olmak üzere 2 katlı çerçeve (2KÇ) bina üzerinde ve sadece D2 deprem seviyesi için ayrıntılı olarak açıklanmıştır. İncelenen binaların (2KÇ, 4KÇ, 6KÇ, 8KÇ, 10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) KSY ile elde edilen analiz sonuçları KSY ATC 40'ın D1 deprem seviyesi için Çizelge 5.15, D2 deprem seviyesi için Çizelge 5.16, KSY FEMA 440'ın D1 deprem seviyesi için Çizelge 5.17 ve D2 deprem seviyesi için Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Hesap Adımları:

- a) KSY ile yerdeğiştirme talebinin (isteminin) belirlenmesi için öncelikle elastik ötesi statik itme (pushover) analizi ile örnek olarak incelenen 2KÇ'nin eşdeğer deprem yükü dağılımı olarak 1. mod atalet kuvveti dağılımının kullanıldığı yatay yük taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisi elde edilmiştir (Şekil 5.13). İncelenen diğer binalara ait kapasite eğrileri Ek A'da verilmiştir.



Şekil 5.13 2KÇ binanın 1. mod atalet kuvveti dağılımı ile elde edilen kapasite eğrisi

b) Binanın serbest titreşim analizinden elde edilen 1. moda ait çatlamış kesit için titreşim periyodu ( $T_1$ ) için genlikleri ( $\phi_{i,1}$ ) hesaplanmıştır. Elde edilen genliklere ( $\phi_{i,1}$ ) ve kat ağırlıklarına ( $w_i$ ) bağlı olarak modal katılım çarpanı ( $PF_1$ ) ve modal kütle çarpanı ( $\alpha_1$ ) değerleri KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440 için (4.1) ve (4.2) bağıntıları ile hesaplanmış ve Çizelge 5.11’de verilmiştir.

$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i \phi_{i,1} / g) \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i / g) \right] \left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i \phi_{i,1}^2 / g) \right]} \quad (4.1)$$

$$\alpha_1 = \frac{[94.650 + 51.688]^2}{[94.650 + 51.688][94.650 + 28.227]} = 0.921$$

$$PF_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i \phi_{i,1} / g) \right]}{\left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i \phi_{i,1}^2 / g) \right]} \quad (4.2)$$

$$PF_1 = \frac{[94.650 + 51.688]}{[94.650 + 28.227]} = 1.191$$



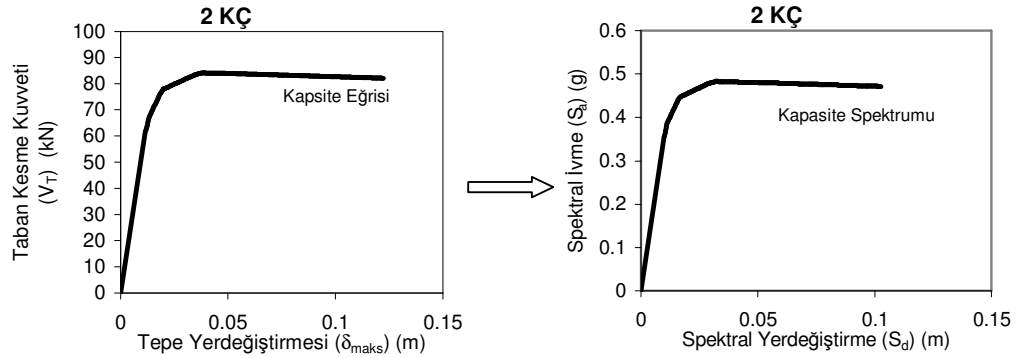
Çizelge 5.11 2KÇ'nin dinamik özellikleri

Bina	Kat no	Kat ağırlıkları $w_i$ (kN)	Birinci moda ait genlikler $\phi_{i,1}$	$w_i\phi_{i,1}$	$w_i\phi_{i,1}^2$	$\Gamma_1 = (PF_1 \cdot \phi_{Tepe,1})$	$\alpha_1$
2KÇ	2	94.650	1.000	94.650	94.650	1.191	0.921
	1	94.650	0.546	51.688	28.227		
	Toplam	189.300	1.546	146.34	122.88		

- c) Binanın performans noktası belirlenirken kapasite eğrisi, Şekil 5.14'de görüldüğü gibi (4.3) ve (4.4) bağıntıları yardımı ile ADRS formatındaki ( $S_a$ - $S_d$ ) kapasite spektrumuna dönüştürülür. Kapasite eğrisi ve kapasite spektrumunun koordinatları Çizelge 5.12'de verilmiştir. (4.3) ve (4.4) bağıntılarındaki  $V_T$  ve  $\delta_{maks}$  için  $V_i$  ve  $\delta_i$  değişimleri yapılarak (4.3-a) ve (4.4-a) bağıntıları aşağıdaki gibi elde edilir.

$$S_{ai} = \frac{V_i / W}{\alpha_1} \quad (4.3-a)$$

$$S_{di} = \frac{\delta_i}{PF_1 \phi_{i,1}} \quad (4.4-a)$$



Şekil 5.14 2KÇ'nin kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

Çizelge 5.12 2KÇ'nin kapasite eğrisi ve kapasite spektrumu koordinatları

Nokta No	2 KÇ			
	Kapasite Eğrisi Koordinatları		Kapasite Spektrumu Koordinatları	
	$\delta_i$ (m)	$V_i$ (kN)	$S_{di}$ (m)	$S_{ai}$ (g)
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.012	61.739	0.010	0.354
3	0.013	66.256	0.011	0.380
4	0.014	69.315	0.012	0.398
5	0.016	71.850	0.013	0.412
6	0.017	74.385	0.015	0.427
7	0.019	76.648	0.016	0.440
8	0.020	78.088	0.017	0.448
9	0.022	78.629	0.018	0.451
10	0.023	79.173	0.019	0.454
11	0.025	79.718	0.021	0.457
12	0.026	80.262	0.022	0.461

- d) Örnek olarak incelenen 2KÇ için kapasite spektrumu elde edildikten sonra D2 deprem seviyesi için kapasite spektrumu üzerindeki bir nokta tahmini performans noktası olarak öngörülür ve Şekil 5.15'de gösterildiği gibi kapasite spektrumu iki doğru parçası ile idealleştirilir. Bu idealleştirme eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca Bölüm 4.1.1 Şekil 4.2'de gösterildiği gibi, kapasite spektrumu ile iki doğru parçalı idealleştirilen kapasite spektrumu arasında kalan alanların eşit olacak şekilde belirlenir. KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440'da bu işlem aynı şekilde yapılarak tahmini performans noktası belirlenir. Buna göre tahmini performans noktası koordinatları;

KSY ATC 40 için;

$$a_y = 0.410g \quad d_y = 0.011m$$

$$a_{pi} = 0.464g \quad d_{pi} = 0.023m$$

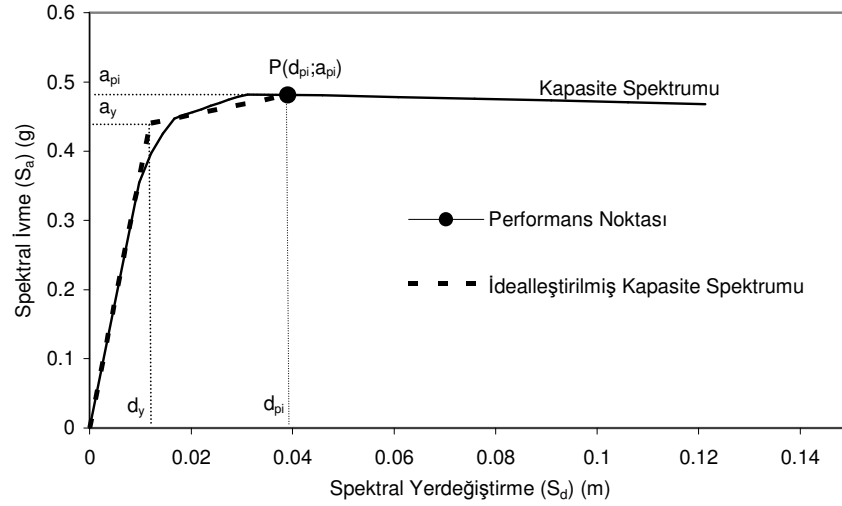
olarak belirlenmiştir.

KSY FEMA 440 için;

$$a_y = 0.441g \quad d_y = 0.012m$$

$$a_{pi} = 0.481g \quad d_{pi} = 0.039m$$

olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.15 2KÇ'ye ait kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesi

Binaların yerdeğiştirme taleplerinin belirlenmesi bu hesap adımına kadar ATC 40 ve FEMA 440 için ortak olarak açıklanmıştır. Bundan sonraki hesap adımları KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440 için ayrı ayrı açıklanacaktır.

- e) Kapasite spektrumu iki doğru parçası ile idealleştirildikten sonra yerdeğiştirme talebinin hesabı için kullanılacak etkin sönüm değerlerinin hesabı KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440'a göre aşağıda açıklanmış ve Çizelge 5.13'de özetlenmiştir.

**e1) KSY ATC 40'a göre :** Eşdeğer viskoz sönümü temsil eden histeristik sönüm ( $\beta_0$ ) değeri (4.8) bağıntısı ile ve buna bağlı olarak etkin sönüm ( $\beta_{eff}$ ) değeri (4.9) bağıntısı ile elde edilmiştir (Çizelge 5.13).

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{(a_{pi} d_{pi})/2} * 100 = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (4.8)$$

$$\beta_0 = \frac{63.7(0.410 * 0.023 - 0.011 * 0.464)}{0.464 * 0.023} = 25.458 \quad (\%)$$

$$\beta_{eff} = \kappa \beta_0 + 5 \quad (4.9)$$

$$\beta_{eff} = 0.925 * 25.458 + 5 = 28.558 \quad (\%)$$

**e<sub>2</sub>) KSY FEMA 440'a göre :** Etkin sönüm değerinin hesaplanabilmesi için elastik sonrası rijitlik ( $\alpha$ ) ve süneklik ( $\mu$ ) değerleri, (4.13) bağıntısı ile elde edilmiştir (Çizelge 5.13).

$$\alpha = \frac{\frac{(a_{pi} - a_y)}{(d_{pi} - d_y)}}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)}, \quad \mu = \frac{d_{pi}}{d_i} \quad (4.13)$$

$$\alpha = \frac{\frac{(0.481 - 0.441)}{(0.039 - 0.012)}}{\left(\frac{0.441}{0.012}\right)} = 4.111, \quad \mu = \frac{0.039}{0.012} = 3.227$$

Etkin sönüm ( $\beta_{eff}$ ) değeri (4.14a) bağıntısı ile ve efektif periyot ( $T_{eff}$ ) değeri (4.16a) bağıntısı ile Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'deki katsayılar kullanılarak hesaplanmıştır. 2KÇ için bu katsayılar  $A=5.50$ ,  $B=-1.27$ ,  $G=0.18$ ,  $H=-0.04$ ,  $\beta_0=5$  ve  $T_0=0.330$ sn olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.13).

$\mu < 4$  için:

$$\beta_{eff} = A(\mu - 1)^2 + B(\mu - 1) + \beta_0 \quad (4.14a)$$

$$\beta_{eff} = 5.5(3.227 - 1)^2 + (-1.27)(3.227 - 1) + 5 = 18.286 \quad (\%)$$

$$T_{eff} = [G(\mu - 1)^2 + H(\mu - 1)^3 + 1]T_0 \quad (4.16a)$$

$$T_{eff} = [0.18(3.227 - 1)^2 + (-0.04)(3.227 - 1)^3 + 1]0.33 = 0.495$$

f) Hesaplanan etkin viskoz sönüme ( $\beta_{eff}$ ) bağlı olarak %5 sönümlü elastik davranış spektrumunu indirgemedede kullanılan katsayıların hesabı KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440'a göre aşağıda açıklanmış ve Çizelge 5.13'de özetlenmiştir.

**f<sub>1</sub>) KSY ATC 40'a göre :** 4.9 bağıntısı kullanılarak elde edilen  $\beta_{eff}$  kullanılarak indirgeme katsayıları değerleri ( $SR_A$  ve  $SR_V$ ) (4.10) ve (4.11) bağıntıları ile elde edilmiştir (Çizelge 5.13).

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \quad (4.10)$$

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(28.558)}{2.12} = 0.439$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \quad (4.11)$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(28.558)}{1.65} = 0.567$$

**f<sub>2</sub>) KSY FEMA 440'a göre :** (4.14a) bağıntısı ile hesaplanan  $\beta_{eff}$  kullanılarak spektral indirgeme katsayısı  $B(\beta_{eff})$ , (4.18) bağıntısı ile hesaplanmış ve Çizelge 5.13 'de verilmiştir.

$$B = \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})(\%)} \quad (4.18)$$

$$B = \frac{4}{5.6 - \ln(18.286)(\%)} = 1.485$$

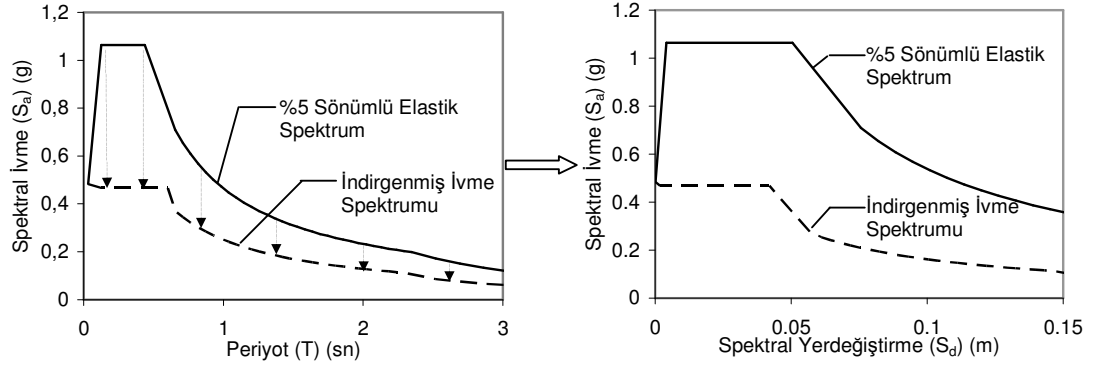
Çizelge 5.13 2KÇ'nin 1.mod ve D2 için, KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440 ile hesaplanan parametreler

Bina	KSY (ATC 40)					KSY (FEMA 440)				
	$\beta_0$ (%)	$\beta_{eff}$ (%)	$\kappa$	$SR_A$	$SR_V$	$\mu$	$\alpha$	$\beta_{eff}$ (%)	$T_{eff}$	$B(\beta_{eff})$
2KÇ	25.458	28.558	0.92	0.439	0.567	3.227	4.111	18.286	0.495	1.485

g) %5 sönümlü elastik davranış spektrumu hesaplanan indirgeme katsayıları ile KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440'a göre indirgenmesi aşağıda açıklanmıştır.

**g<sub>1</sub>) KSY ATC 40'a göre:** *Spektral ivme – Periyot* ( $S_a-T$ ) formatındaki ivme spektrumu  $SR_A$  ve  $SR_V$  indirgeme katsayıları ile indirgenmiş ve (5.12) bağıntısı yardımı ile (ADRS) formatına ( $S_a-S_d$ ) dönüştürülmüş ve Şekil 5.16'da gösterilmiştir.

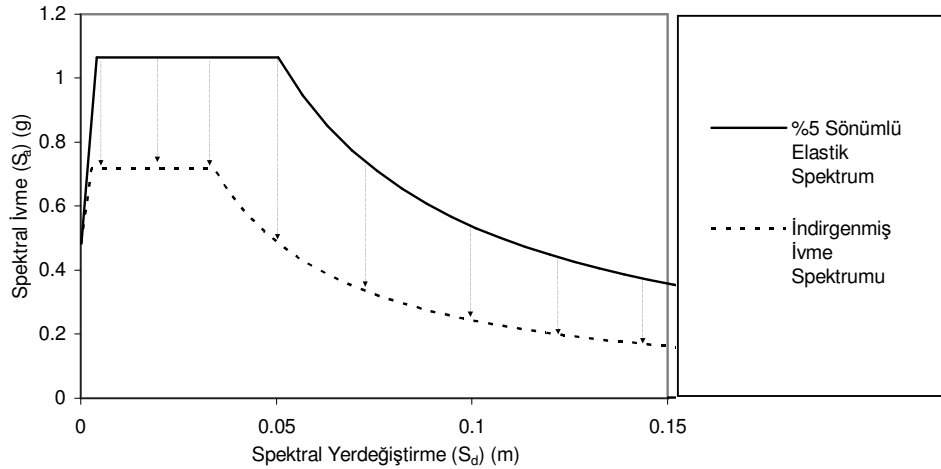
$$S_{di} = S_{ai} \frac{T^2}{(4\pi^2)} \quad (4.12)$$



Şekil 5.16 2KÇ binanın KSY ATC 40 için indirgenmiş ivme spektrumları

**g<sub>2</sub>) KSY FEMA 440'a göre :** 2KÇ binanın %5 sönümlü elastik spektrum  $(S_a)_\beta$  (4.19) bağıntısından yararlanılarak indirgenir (Şekil 5.17).

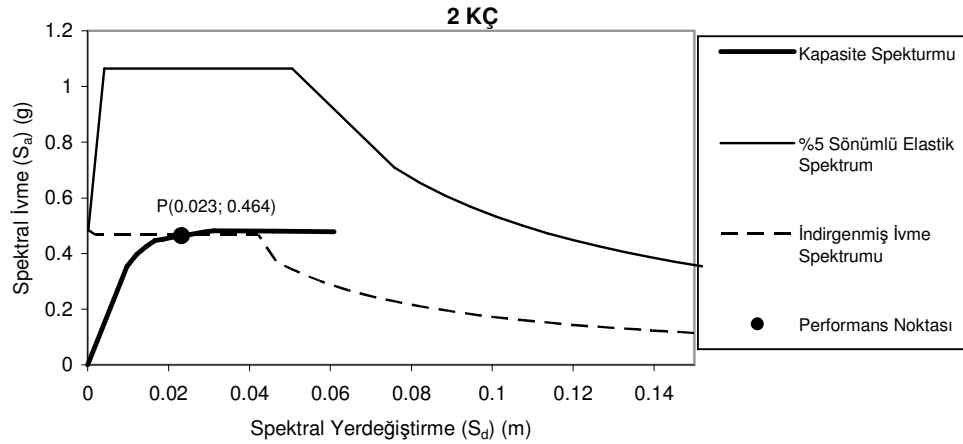
$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_{%5}}{B(\beta_{eff})} \quad (4.19)$$



Şekil 5.17 2KÇ binanın FEMA 440 için indirgenmiş ivme spektrumları

h) İndirgenmiş ivme spektrumu elde edildikten sonra KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440'a göre performans noktasının belirlenmesi aşağıda açıklanmıştır.

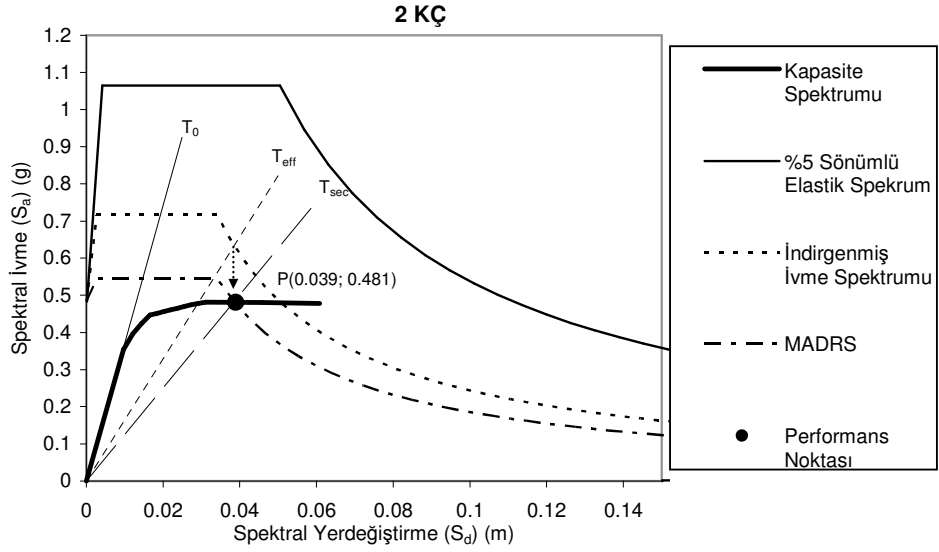
**h<sub>1</sub>) KSY ATC 40'a göre :** Şekil 5.18'de görüldüğü gibi ADRS formatında indirgenmiş ivme spektrumunun kapasite spektrumunu kestiği noktanın spektral koordinatları  $(d_i, a_i)$  belirlenmiştir. Bu iki spektrum eğrisi hesabın başlangıcındaki tahmini performans noktasına yeter derecede yakın  $(0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi})$  olduğunda bu nokta **performans noktası**  $P(d_{pi}, a_{pi})$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.18 2KÇ binanın 1.mod ve D2 için KSY ATC 40 ile performans noktasının belirlenmesi

**h<sub>2</sub>) KSY FEMA 440'a göre :** Performans noktasını bulurken öncelikle kapasite spektrumunun başlangıç periyodunun %5 sönümlü elastik spektrumunu kestiği yerden dik inilmiştir. Kapasite spektrumunu kesen nokta tahmini performans noktası seçilmiştir. Tahmini performans noktasına göre  $\mu$  ve  $\alpha$ 'ya bağlı olarak  $B(\beta_{eff})$  ve  $T_{eff}$  hesaplanmıştır. Hesaplanan indirgeme katsayısı ile %5 sönümlü elastik spektrum indirgenmiştir.  $T_{eff}$  ile indirgenmiş ivme spektrumunun kesiştiği yerden kapasite spektrumuna dik inilerek bir nokta elde edilir. Bu nokta başlangıçta tahmin edilen performans noktası ile üst üste geliyor ise veya yeter derecede yakın  $(0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi})$  bir nokta ise bu nokta **performans noktası** olarak belirlenir. Bu örnekte başlangıçta tahmin

edilen performans noktası ile ilgili nokta yeter derecede yakın olduğundan bu nokta performans noktası olarak elde edilmiştir. (Şekil 5.19).



Şekil 5.19 2KÇ binanın 1.mod ve D2 için KSY FEMA 440 ile performans noktasının belirlenmesi

- i) Örnek olarak incelenen 2KÇ binanın D2 deprem seviyesi için KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440 ile ADRS formatında belirlenen performans noktaları, (4.3) ve (4.4) bağıntıları ile taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) ve tepe yerdeğiştirmesine ( $\delta_{tepe}$ ) dönüştürülmüştür (Çizelge 5.14).

$$S_a = \frac{V_T / W}{\alpha_1} \quad (4.3)$$

$$S_d = \frac{\delta_{tepe}}{PF_1 \phi_{Tepe,1}} \quad (4.4)$$



Çizelge 5.14 2KÇ'nin 1. mod dağılımlarına göre KSY ile hesaplanan performans noktaları

Bina	D2 Depremi (1.064g)							
	KSY (ATC 40)				KSY (FEMA 440)			
	$S_a$ (g)	$S_d$ (m)	$\delta_{maks}$ (m)	$V_T$ (kN)	$S_a$ (g)	$S_d$ (m)	$\delta_{maks}$ (m)	$V_T$ (kN)
2KÇ	0.464	0.023	0.028	80.834	0.481	0.039	0.046	83.853

Bu tez çalışmasında incelenen betonarme çerçeve binaların (2KÇ, 4KÇ, 6KÇ, 8KÇ, 10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) iki farklı deprem seviyesi (D1 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=0.532g$ ) ve D2 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=1.064g$ )) için KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440 ile hesaplanan performans noktaları bu bölümde 2KÇ için açıklanan hesap adımları izlenerek ayrı ayrı hesaplanmıştır. İncelenen tüm binaların iki farklı deprem seviyesinde elde edilen analiz sonuçları KSY ATC 40 için Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16'da KSY FEMA 440 için Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.18'de verilmiştir. İncelenen diğer binalara ait performans noktaları ise Ek B'de verilmiştir.

Çizelge 5.15 Binaların 1. mod ve D1 için KSY ATC 40 analiz sonuçları

Bina	Modal Özellikler			İdealleştirme		İndirgeme		Kapasite Spektrumu Koordinatları		Kapasite Eğrisi Koordinatları	
	$\Gamma_1$ =(PF <sub>1</sub> ·Φ <sub>Tepε,1</sub> )	m <sub>i</sub> (kNsn <sup>2</sup> /m)	α <sub>1</sub>	a <sub>y</sub> a <sub>y</sub>	a <sub>pi</sub> d <sub>pi</sub>	κ	β <sub>eff</sub> (%)	S <sub>a</sub> (g)	S <sub>d</sub> (m)	δ <sub>maks</sub> (m)	V <sub>T</sub> (kN)
2KÇ	1.191	9.644	0.921	0.362 0.010	0.397 0.012	1	10.841	0.397	0.012	0.014	69.177
4KÇ	1.289	9.867	0.818	0.197 0.015	0.230 0.025	1	20.873	0.230	0.025	0.032	72.554
6KÇ	1.306	10.342	0.801	0.166 0.023	0.175 0.033	1	20.565	0.175	0.033	0.043	84.833
8KÇ	1.323	10.342	0.790	0.124 0.032	0.136 0.045	1	17.987	0.136	0.045	0.060	87.090
10KÇ	1.364	10.158	0.765	0.121 0.053	0.129 0.064	1	12.228	0.129	0.064	0.088	97.369
12KÇ	1.378	10.109	0.753	0.102 0.069	0.113 0.084	1	9.702	0.113	0.084	0.116	100.523
14KÇ	1.356	10.075	0.761	0.092 0.087	0.108 0.106	1	7.133	0.108	0.106	0.145	112.380
16KÇ	1.410	10.308	0.729	0.095 0.118	0.100 0.126	1	5.960	0.100	0.126	0.180	115.486

Çizelge 5.16 Binaların 1. mod ve D2 için KSY ATC 40 analiz sonuçları

Bina	Modal Özellikler			İdealleştirme		İndirgeme		Kapasite Spektrumu Koordinatları		Kapasite Eğrisi Koordinatları	
	$\Gamma_1$ =(PF <sub>1</sub> ·Φ <sub>Tepε,1</sub> )	m <sub>i</sub> (kNsn <sup>2</sup> /m)	α <sub>1</sub>	a <sub>y</sub> d <sub>y</sub>	a <sub>pi</sub> d <sub>pi</sub>	κ	β <sub>eff</sub> (%)	S <sub>a</sub> (g)	S <sub>d</sub> (m)	δ <sub>maks</sub> (m)	V <sub>T</sub> (kN)
2KÇ	1.191	9.644	0.921	0.410 0.011	0.464 0.023	0.92	28.558	0.464	0.023	0.028	80.834
4KÇ	1.289	9.867	0.818	0.228 0.018	0.254 0.055	0.84	35.765	0.254	0.055	0.071	80.290
6KÇ	1.306	10.342	0.801	0.172 0.024	0.197 0.074	0.85	34.786	0.197	0.074	0.097	95.517
8KÇ	1.323	10.342	0.790	0.134 0.034	0.147 0.097	0.85	34.950	0.147	0.097	0.129	93.989
10KÇ	1.364	10.158	0.765	0.128 0.056	0.135 0.120	0.89	31.791	0.135	0.120	0.161	102.185
12KÇ	1.378	10.109	0.753	0.113 0.077	0.120 0.140	0.92	28.942	0.120	0.140	0.198	106.091
14KÇ	1.356	10.075	0.761	0.114 0.109	0.122 0.168	0.98	23.206	0.122	0.168	0.230	126.608
16KÇ	1.410	10.308	0.729	0.110 0.137	0.120 0.198	1	19.289	0.120	0.198	0.283	139.171

Çizelge 5.17 Binaların 1.mod ve D1 için KSY FEMA 440 analiz sonuçları

Bina	Modal Özellikler			İdealleştirme		Etketif Sönüm				Etketif Periyot				İndirgeme Katsayısı		Kapasite Spektrumu Koordinatları			Kapasite Eğrisi Koordinatları					
	$\Gamma_1$ =( $PF_1 \cdot \Phi_{T, \text{res}, 1}$ )	$m_i$ ( $kNsn^2/m$ )	$\alpha_i$	$a_y$	$a_{pi}$	$\mu$	Katsayılar				$T_0$	Katsayılar				$B(\beta_{\text{eff}})$	$S_a$ (g)	$S_d$ (m)	$\delta_{\text{maks}}$ (m)	$V_T$ (kN)				
			$d_y$	$d_{pi}$	$\alpha$	A	B	C	D	E	F	$\beta_{\text{eff}}$	G	H	I	J	K	L	$T_{\text{eff}}$					
2KÇ	1.191	9.644	0.921	0.369 0.010	0.427 0.015	1.448 35.321	4.6 9.6	-1.0 1.3	23	0.34		5.833	0.13 0.11	-0.02 0.11	1.0	0.2			0.337	1.043	0.427	0.015	0.017	74.485
4KÇ	1.289	9.867	0.818	0.204 0.016	0.241 0.031	1.948 19.203	4.67 9.56	-1.0 1.36	22.8	0.34		8.330	0.13 0.13	-0.02 0.11	1.00	0.19			0.606	1.149	0.241	0.031	0.040	76.207
6KÇ	1.306	10.342	0.801	0.167 0.023	0.181 0.042	1.808 10.336	5.3 9.2	-1.2 1.9	21	0.37		7.826	0.17 0.26	-0.03 0.12	0.97	0.1			0.809	1.129	0.181	0.042	0.055	87.890
8KÇ	1.323	10.342	0.790	0.129 0.033	0.140 0.057	1.715 12.082	5.16 9.28	-1.2 1.78	21.4	0.36		7.212	0.16 0.23	-0.03 0.12	0.98	0.12			1.078	1.104	0.140	0.057	0.076	89.379
10KÇ	1.364	10.158	0.765	0.125 0.054	0.131 0.076	1.402 11.994	5.17 9.27	-1.2 1.79	21.4	0.36		5.760	0.16 0.23	-0.03 0.12	0.98	0.12			1.351	1.039	0.131	0.076	0.105	99.076
12KÇ	1.378	10.109	0.753	0.108 0.073	0.116 0.094	1.292 25.160	4.6 9.6	-1.0 1.3	23	0.34		5.368	0.13 0.11	-0.02 0.11	1.0	0.2			1.666	1.021	0.116	0.094	0.131	102.824
14KÇ	1.356	10.075	0.761	0.099 0.095	0.112 0.113	1.189 67.170	4.6 9.6	-1.0 1.3	23	0.34		5.157	0.13 0.11	-0.02 0.11	1.0	0.2			1.966	1.010	0.112	0.113	0.154	116.701
16KÇ	1.410	10.308	0.729	0.095 0.118	0.102 0.130	1.093 75.316	4.6 9.6	-1.0 1.3	23	0.34		5.039	0.13 0.11	-0.02 0.11	1.0	0.2			2.239	1.004	0.102	0.130	0.185	118.060

Çizelge 5.18 Binaların 1.mod ve D2 için KSY FEMA 440 analiz sonuçları

Bina	Modal Özellikler		İdealleştirme		Etketif Sönüm				Etketif Periyot				İndirgeme Katsayısı			Kapasite Spektrumu Koordinatları			Kapasite Eğrisi Koordinatları	
	$\Gamma_1$ =( $PF_1-\phi_{T_{\text{repe},1}}$ )	$m_i$ ( $kNsn^2/m$ )	$\alpha_1$	$a_y$ $d_y$	$a_{pi}$ $d_{pi}$	$\mu$ $\alpha$	Katsayılar				$T_0$	Katsayılar				$T_{\text{eff}}$	$B(\beta_{\text{eff}})$	$S_a$ (g)	$S_d$ (m)	$\delta_{\text{maks}}$ (m)
2KÇ	1.191	9.644	0.921	0.441 0.012	0.481 0.039	3.227 4.111	5.50 10.3 20	-1.3 1.73 0.42	18.286	0.330	0.18 0.18 0.91	-0.04 0.16 0.40	0.495	1.485	0.481	0.039	0.046	83.853		
4KÇ	1.289	9.867	0.818	0.234 0.018	0.256 0.068	3.776 3.348	5.43 10.6 20	-1.3 1.68 0.46	20.245	0.552	0.18 0.19 0.90	-0.04 0.16 0.33	0.903	1.543	0.256	0.068	0.088	80.782		
6KÇ	1.306	10.342	0.801	0.177 0.024	0.198 0.090	3.674 4.385	5.50 10.3 20	-1.3 1.73 0.42	20.108	0.740	0.18 0.18 0.91	-0.04 0.16 0.40	1.190	1.539	0.198	0.090	0.118	96.253		
8KÇ	1.323	10.342	0.790	0.136 0.035	0.150 0.120	3.436 4.184	5.53 10.2 20	-1.3 1.75 0.41	19.357	1.007	0.18 0.17 0.91	-0.04 0.16 0.43	1.562	1.517	0.150	0.120	0.160	95.576		
10KÇ	1.364	10.158	0.765	0.130 0.056	0.137 0.150	2.665 3.091	5.40 10.7 20	-1.2 1.67 0.47	14.278	1.320	0.18 0.19 0.89	-0.04 0.16 0.30	1.765	1.360	0.137	0.150	0.207	103.205		
12KÇ	1.378	10.109	0.753	0.115 0.078	0.121 0.186	2.383 3.334	5.40 10.7 20	-1.2 1.67 0.47	12.070	1.649	0.18 0.19 0.89	-0.04 0.16 0.30	2.064	1.286	0.121	0.186	0.259	107.039		
14KÇ	1.356	10.075	0.761	0.118 0.113	0.121 0.220	1.952 2.674	5.30 11 20	-1.2 1.60 0.51	8.771	1.957	0.18 0.22 0.88	-0.03 0.16 0.20	2.220	1.167	0.121	0.220	0.301	126.167		
16KÇ	1.410	10.308	0.729	0.115 0.143	0.121 0.252	1.756 6.050	5.50 9.80 20.2	-1.3 1.82 0.39	7.614	2.236	0.18 0.17 0.93	-0.04 0.15 0.42	2.429	1.120	0.121	0.252	0.360	139.746		

### 5.5.2.2 Binaların 1. Mod Atalet Kuvveti Dağılımları için KSY (ATC 40 ve FEMA 440) ile Elde Edilen Performans Seviyeleri

Performans değerlendirmelerinin yapılabilmesi için incelenen tüm çerçeve binalar (2KÇ, 4KÇ, 6KÇ, 8KÇ, 10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) iki farklı deprem seviyesi (D1 deprem seviyesi ( $S_{maks}=0.532g$ ) ve D2 deprem seviyesi ( $S_{maks}=1.064g$ )) için belirlenen performans noktalarına (yerdeğiştirme talebine) kadar elastik ötesi statik itme (pushover) analizi yapılarak taşıyıcı sistem elamanlarında (kirişlerde ve kolonlarda) oluşan

- plastik kesitlerin sayıları,
- maksimum plastik dönme değerleri,
- binaların maksimum görece kat ötelemeleri

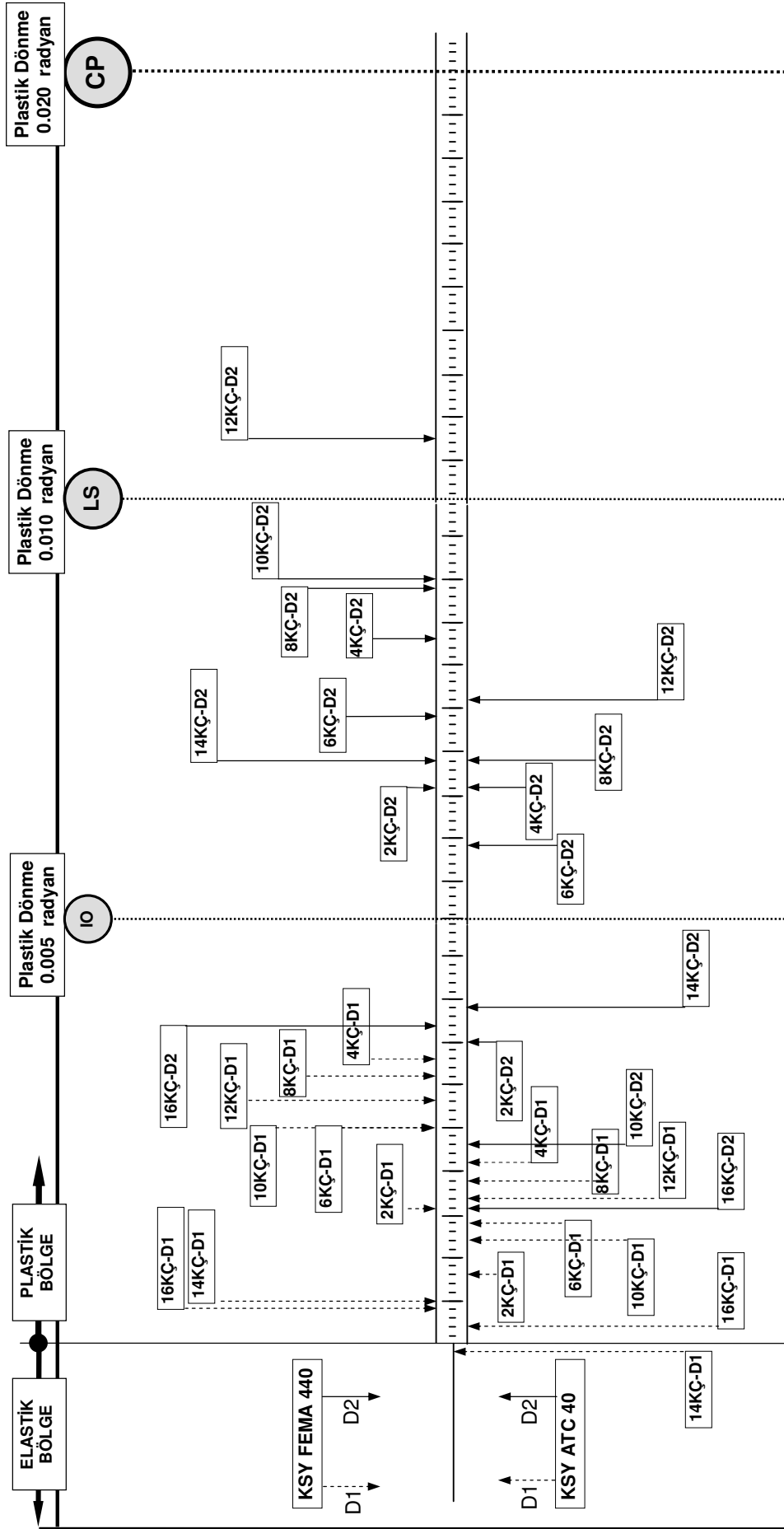
belirlenmiştir. Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ile elde edilen bu parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri KSY ATC 40 için Çizelge 5.19'da ve KSY FEMA 440 için Çizelge 5.20'de verilmiştir. Binaların 1. mod dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için KSY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri Şekil 5.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.19 Binaların 1. mod ve D1, D2 için KSY ATC 40 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri

Bina	Deprem Seviyesi	Maksimum plastik dönme (rad)		Performans seviyelerine göre plastik kesit sayısı						Performans seviyelerine göre maksimum görelî kat ötelemesi (%)						
		Kiriş	Kolon	Kiriş			Kolon			<IO	IO-LS	LS-CP	CP<	IO-LS	LS-CP	CP<
				<IO	IO-LS	LS-CP	CP<	<IO	IO-LS							
2KÇ	D1	0.0008	---	2	---	---	---	---	---	---	---	---	0.258	---	---	---
	D2	0.0035	0.0022	2	---	---	---	2	---	---	---	---	0.530	---	---	---
4KÇ	D1	0.0021	---	4	---	---	---	---	---	---	---	---	0.355	---	---	---
	D2	0.0066	0.0033	3	3	---	---	2	---	---	---	---	0.816	---	---	---
6KÇ	D1	0.0014	---	8	---	---	---	---	---	---	---	---	0.322	---	---	---
	D2	0.0059	0.0009	6	4	---	---	1	---	---	---	---	0.795	---	---	---
8KÇ	D1	0.0019	---	9	---	---	---	---	---	---	---	---	0.365	---	---	---
	D2	0.0069	0.0009	6	6	---	---	1	---	---	---	---	0.856	---	---	---
10KÇ	D1	0.0012	---	9	---	---	---	---	---	---	---	---	0.389	---	---	---
	D2	0.0023	0.0001	9	---	---	---	1	---	---	---	---	0.482	---	---	---
12KÇ	D1	0.0017	---	7	---	---	---	---	---	---	---	---	0.420	---	---	---
	D2	0.0076	0.0012	8	5	---	---	2	---	---	---	---	1.017	---	---	---
14KÇ	D1	---	---	Performans noktası doğrusal elastik sınırlar içerisinde kaldığından plastik kesit oluşmamıştır.												
	D2	0.0039	0.0048	4	---	---	---	14	---	---	---	---	0.957	---	---	---
16KÇ	D1	0.0002	0.0001	1	---	---	---	1	---	---	---	---	0.472	---	---	---
	D2	0.0016	0.0036	6	---	---	---	17	---	---	---	---	0.721	---	---	---

Çizelge 5.20 Binaların 1. mod ve D1, D2 için KSY FEMA 440 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri

Bina	Deprem Seviyesi	Maksimum plastik dönme (rad)		Performans seviyelerine göre plastik kesit sayısı										Performans seviyelerine göre maksimum görelî kat ötelemesi (%)					
		Kiriş	Kolon	Kiriş					Kolon					<IO	IO-LS	LS-CP	CP<		
				<IO	IO-LS	LS-CP	CP<	<IO	IO-LS	LS-CP	CP<								
2KÇ	D1	0.0016	---	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.310	---	---	---	---
	D2	0.0066	0.0060	1	2	---	---	---	---	1	2	---	---	---	0.885	---	---	---	---
4KÇ	D1	0.0033	0.0003	5	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	0.471	---	---	---	---
	D2	0.0083	0.0053	2	4	---	---	---	---	1	1	---	---	---	0.997	---	---	---	---
6KÇ	D1	0.0025	---	8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.438	---	---	---	---
	D2	0.0074	0.0024	2	8	---	---	---	---	2	---	---	---	---	0.950	---	---	---	---
8KÇ	D1	0.0031	---	11	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.481	---	---	---	---
	D2	0.0089	0.0016	4	8	---	---	---	---	2	---	---	---	---	---	1.062	---	---	---
10KÇ	D1	0.0025	0.0001	11	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	0.497	---	---	---	---
	D2	0.0090	0.0022	6	8	---	---	---	---	4	---	---	---	---	---	1.172	---	---	---
12KÇ	D1	0.0028	0.0001	10	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	0.538	---	---	---	---
	D2	0.0115	0.0027	5	7	3	---	---	---	3	---	---	---	---	---	1.400	---	---	---
14KÇ	D1	0.0005	0.0013	1	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	0.507	---	---	---	---
	D2	0.0069	0.0080	7	1	---	---	---	---	10	4	---	---	---	---	1.294	---	---	---
16KÇ	D1	0.0004	0.0004	1	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	0.483	---	---	---	---
	D2	0.0037	0.0068	11	---	---	---	---	---	14	4	---	---	---	---	1.067	---	---	---



Şekil 5.20 Binaların 1. mod dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için KSY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri



### **5.5.3 Binaların 1. Mod Atalet Kuvveti Dağılımları için YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ile Deprem Performanslarının Belirlenmesi**

Bu bölümde öncelikle binaların FEMA 356 (2000) ve FEMA 440 (2004)'daki Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) ile yerdeğiştirme taleplerinin hesaplanması ve daha sonra iki farklı deprem seviyesi (D1 deprem seviyesi ( $S_{\text{maks}}=0.532g$ ) ve D2 deprem seviyesi ( $S_{\text{maks}}=1.064g$ )) için bina performans seviyelerinin belirlenmesi açıklanmıştır.

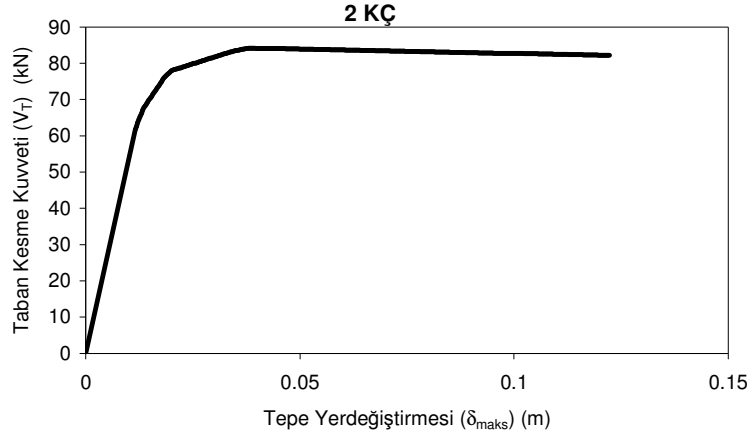
#### **5.5.3.1 Binaların 1. Mod Atalet Kuvveti Dağılımları için YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ile Yerdeğiştirme Taleplerinin Belirlenmesi**

Bu bölümde binaların kapasite eğrilerinin belirlenmesinde 1. mod atalet kuvveti dağılımı için Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY FEMA 356 (2000) ve YKY FEMA 440 (2004)) ile yerdeğiştirme taleplerinin belirlenmesindeki hesap adımları örnek olmak üzere 2 katlı çerçeve (2KÇ) bina üzerinde ve sadece D2 deprem seviyesi için ayrıntılı olarak açıklanmıştır. İncelenen diğer binaların (4KÇ, 6KÇ, 8KÇ, 10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) YKY ile elde edilen analiz sonuçları YKY FEMA 356'nın D1 deprem seviyesi için Çizelge 5.21, D2 deprem seviyesi için Çizelge 5.22, YKY FEMA 440'ın D1 deprem seviyesi için Çizelge 5.23 ve D2 deprem seviyesi için Çizelge 5.24'de verilmiştir.

Hesap Adımları:

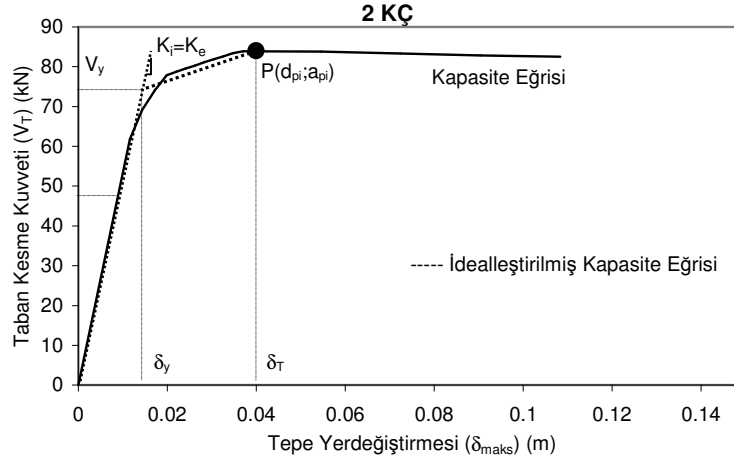
- a) YKY ile yerdeğiştirme talebinin (isteminin) belirlenmesi için öncelikle elastik ötesi statik itme (pushover) analizi ile örnek olarak incelenen 2KÇ'nin eşdeğer deprem yükü dağılımı olarak 1. mod atalet kuvveti dağılımının kullanıldığı yatay yük taşıma

kapasitesini ifade eden kapasite eğrisi elde edilmiştir (Şekil 5.21). İncelenen diğer binalara ait kapasite eğrileri Ek A'da verilmiştir.



Şekil 5.21 2KÇ binanın 1. mod atalet kuvveti dağılımı kullanılarak elde edilen kapasite eğrisi

- b) 2KÇ binaya ait Şekil 5.21'deki 1. mod atalet kuvveti dağılımı için kapasite eğrisi elde edildikten sonra bu eğri, YKY FEMA 356 ve YKY FEMA 440 için Bölüm 4.2'de Şekil 4.11'de olduğu gibi elastik rijitliği ifade eden ( $K_e$ ) ve elastik sonrası rijitliği ifade eden ( $K_s$ ) iki doğru parçası ile idealleştirilmiştir (Şekil 5.22). Bu idealleştirme yapılırken  $K_e$  doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının,  $K_e$  ve  $K_s$  doğrularının kesim noktasının ordinatının %60'ı ( $0.60V_y$ ) olması sağlanmıştır. İncelenen tüm binalar için II. Mertebe limit yüke ait taban kesme kuvvetinin %60'ına karşılık gelen eğrinin de dahil olduğu kısmın doğrusal bölgesinde kalması sebebiyle elastik rijitlik  $K_e$ , başlangıç rijitliği  $K_i$ 'ye eşit olarak elde edilmiştir, [38].



Şekil 5.22 2KÇ binanın kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi

- c) Binanın kapasite eğrisinin idealleştirilmesinden sonra  $T_e$ , Bölüm 4.2'deki (4.23) bağıntısı ile hesaplanmıştır.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (4.23)$$

$$T_e = 0.330 \sqrt{\frac{5336.78}{5336.78}} = 0.330 \text{ sn}$$

- d) Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY)'nde 2KÇ binanın hedef yerdeğiştirme  $\delta_T$ , (4.24) bağıntısı ile hesaplanmıştır.

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (4.24)$$

Burada yerdeğiştirme katsayılarından;

$C_0$  : Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesini, çok serbestlik dereceli bir sistemin tepe yerdeğiştirmesi ile ilişkilendiren katsayıdır ve bu katsayı YKY FEMA 356 ve YKY FEMA 440 için hedef yerdeğiştirme seviyesindeki birinci modal katılım çarpanı  $\Gamma_1 = (PF_1 \phi_{T_{epe},1}) = 1.191$ 'dir.

$C_1$  : *Doğrusal-elastik* davranış için hesaplanmış yerdeğiştirmeler ile beklenen maksimum elastik olmayan yerdeğiştirmeleri ilişkilendiren katsayıdır.

**YKY FEMA 356'ya göre** :  $C_1$  katsayısı, (4.24) bağıntısı ile elde edilen  $T_e$  değeri  $T_e < T_0$  ( $0.330\text{sn} < 0.437\text{sn}$ ) olduğundan (4.26) bağıntısı ile elde edilen  $R_0$ , (4.25) bağıntısında yerlerine yazılarak hesaplanmıştır.

$$C_1 = \frac{1.00 + \frac{(R_0 - 1)T_0}{T_e}}{R_0} \quad (4.25)$$

$$R_0 = \frac{S_a(T_1)/g}{V_y/W} \cdot C_m \quad (4.26)$$

$$R_0 = \frac{1.064}{75.470/189.30} * 1.00 = 2.655$$

$$C_1 = \frac{1.00 + \frac{(2.655 - 1) * 0.437}{0.330}}{2.655} = 1.203$$

**YKY FEMA 440'a göre** :  $C_1$  katsayısının değeri, R yerine (4.26) bağıntısı ile hesaplanan  $R=R_0=2.672$  ,  $T_e=0.330\text{sn}$  ve FEMA 440'da verilen zemin sınıflarında  $a=90$  değerleri (4.28) bağıntısında yerlerine yazılarak hesaplanmıştır.

$$C_1 = 1.00 + \frac{R-1}{aT_e^2} \quad (4.28)$$

$$C_1 = 1.00 + \frac{2.672 - 1}{90 * 0.330^2} = 1.170$$

$C_2$  : Tekrarlı yükler altında histeretik yerdeğiştirme davranışı üzerinde pinching (dinamik yükler altında çatlakların açılıp kapanmasının ve donatı sıyrılmasının *iç kuvvet-şekildeğiştirme*

bağıntısına olan etkisidir) etkisi, rijitlik azalması (stiffness degrading) ve dayanım kaybı (strength degrading) etkisini temsil eden değişiklik katsayısıdır.

**YKY FEMA 356'ya göre :**  $C_2$  katsayısı hesabın başlangıcında performans seviyesi bilinmediğinden  $C_2=1.00$  alınmış ve yerdeğiştirme talebi belirlendikten sonra öngörülen performans talebinin sağlandığı görülerek  $C_2$ 'nin değiştirilmesi gerekmemiştir ve  $C_2=1.00$  alınmıştır.

**YKY FEMA 440'da :**  $C_2$  katsayısının değeri,  $R_0=R=2.672$ , ve  $T_e=0.330$ sn değerleri (4.30) bağıntısında yerlerine yazılarak hesaplanmıştır.

$$C_2=1.00+\frac{1}{800}\left(\frac{R-1}{T_e}\right)^2 \quad (4.30)$$

$$C_2=1.00+\frac{1}{800}\left(\frac{2.672-1}{0.330}\right)^2=1.032$$

**$C_3$  :** II. Mertebe etkileri nedeniyle arttırılmış yerdeğiştirmeleri temsil eden değişiklik katsayısıdır.

**YKY FEMA 356'da :** Şekil 5.22'deki kapasite eğrisinden  $K_s$  ve  $K_e$  eğimleri belirlenir ve (4.27) bağıntısına göre,  $\alpha=\frac{K_s}{K_e}>0$  ise  $C_3=1.00$  olarak alınır.

$$\alpha=\frac{K_s}{K_e}>0 \quad \text{ise} \quad C_3=1.00\text{'dir} \quad (4.27)$$

$$\alpha=\frac{5336.78}{4219.89}=1.26>0 \quad \text{olduğundan } C_3=1.00 \text{ alınmıştır.}$$

**YKY FEMA 440'a göre :** Bölüm 4.2.2'de belirtildiği gibi  $C_3$  sayısı hesaplarda gözönüne alınmamıştır.

$S_a$  : Binanın 1. doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral ivme değeridir. D2 deprem seviyesi için  $S_{a_{maks}}=1.064g$  olarak belirlenmiştir.

e) 2KÇ binanın belirlenen yerdeğiştirme katsayılarına ( $C_0, C_1, C_2, C_3$ ) göre yerdeğiştirme talebi ( $\delta_T$ ) ve dayanım talebi ( $V_T$ ) değerleri aşağıda verilmiştir.

**YKY FEMA 356'ya göre :**

Yerdeğiştirme talebi  $\delta_T= 0.041m$ ,

Dayanım talebi  $V_T=84.119kN$

olarak hesaplanmıştır.

**YKY FEMA 440'a göre :**

Yerdeğiştirme talebi  $\delta_T= 0.041m$ ,

Dayanım talebi  $V_T=84.117kN$

olarak hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasında incelenen betonarme çerçeve binaların (2KÇ, 4KÇ, 6KÇ, 8KÇ, 10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) iki farklı deprem seviyesi (D1 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=0.532g$ ) ve D2 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=1.064g$ )) için YKY FEMA 356 ve YKY FEMA 440 ile hesaplanan performans noktaları bu bölümde 2KÇ için açıklanan hesap adımları izlenerek ayrı ayrı hesaplanmıştır. İncelenen tüm binaların elde edilen analiz sonuçları iki farklı deprem seviyesinde YKY FEMA 356 için Çizelge 5.21 ve Çizelge 5.22'de YKY FEMA 440 için Çizelge 5.23 ve Çizelge 5.24'de verilmiştir.

Çizelge 5.21 Binaların 1. mod ve D1 için YKY FEMA 356 analiz sonuçları

Bina	Akma Noktası	Yapı Ağırlığı	Spektral İvme	FEMA 356 Katsayılar					Periyot ve Rijitlik		Yerdeğiştirme Talebi	Dayanım Talebi
	$\delta_y$ (m) $V_y$ (kN)	W (kN)	$S_a$ (g)	$C_0$	$C_1$	$R_0$ $T_0$	$C_2$	$C_3$	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_i = K_e$ (kN/m)	$\delta_T$ (m)	$V_T$ (kN)
2KÇ	0.012 64.670	189.30	0.532	1.191	1.100	1.557 0.330	1.000	1.000	0.330	5336.78	0.018	75.114
4KÇ	0.021 64.914	387.38	0.422	1.289	1.000	2.199 0.552	1.000	1.000	0.552	3163.04	0.041	76.847
6KÇ	0.031 81.156	609.03	0.315	1.306	1.000	2.085 0.740	1.000	1.000	0.740	2676.31	0.056	88.237
8KÇ	0.044 82.533	812.04	0.231	1.323	1.000	2.046 1.007	1.000	1.000	1.007	1866.13	0.078	89.583
10KÇ	0.075 95.573	996.93	0.178	1.364	1.000	1.673 1.320	1.000	1.000	1.320	1264.35	0.105	99.088
12KÇ	0.110 99.375	1190.64	0.142	1.378	1.000	1.521 1.649	1.000	1.000	1.649	941.78	0.133	102.893
14KÇ	0.171 103.981	1384.31	0.119	1.356	1.000	1.423 1.957	1.000	1.000	1.957	798.19	0.155	117.026
16KÇ	0.171 110.876	1618.76	0.105	1.410	1.000	1.367 2.236	1.000	1.000	2.236	651.84	0.184	117.706

Çizelge 5.22 Binaların 1. mod ve D2 için YKY FEMA 356 analiz sonuçları

Bina	Akma Noktası	Yapı Ağırlığı	Spektral İvme	FEMA 356 Katsayılar					Periyot ve Rijitlik		Yerdeğiştirme Talebi	Dayanım Talebi
	$\delta_y$ (m) $V_y$ (kN)	W (kN)	$S_a$ (g)	$C_0$	$C_1$	$R_0$ $T_0$	$C_2$	$C_3$	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_i = K_e$ (kN/m)	$\delta_T$ (m)	$V_T$ (kN)
2KÇ	0.014 75.870	189.30	1.064	1.191	1.203	2.655 0.330	1.000	1.000	0.330	5336.78	0.041	84.119
4KÇ	0.023 73.908	387.38	0.844	1.289	1.000	3.977 0.552	1.065	1.000	0.552	3163.04	0.088	80.846
6KÇ	0.0322 86.211	609.03	0.630	1.306	1.000	4.001 0.740	1.055	1.000	0.740	2676.31	0.119	96.254
8KÇ	0.047 86.887	812.04	0.464	1.323	1.000	3.888 1.007	1.050	1.000	1.007	1866.13	0.163	95.724
10KÇ	0.078 98.610	996.93	0.353	1.364	1.000	3.207 1.320	1.100	1.000	1.320	1264.35	0.231	103.642
12KÇ	0.117 104.956	1190.64	0.282	1.378	1.000	2.880 1.649	1.150	1.000	1.649	941.78	0.305	105.989
14KÇ	0.155 123.758	1384.31	0.238	1.356	1.000	2.392 1.957	1.050	1.000	1.957	798.19	0.325	125.840
16KÇ	0.206 134.079	1618.76	0.198	1.410	1.000	2.154 2.236	1.050	1.000	2.236	651.84	0.370	139.648

Çizelge 5.23 Binaların 1. mod ve D1 için YKY FEMA 440 analiz sonuçları

Bina	Akma Noktası	Yapı Ağırlığı	Spektral İvme	FEMA 440 Katsayılar				Periyot ve Rijitlik		Yerdeğiştirme Talebi	Dayanım Talebi
	$\delta_y$ (m) $V_y$ (kN)	W (kN)	$S_a$ (g)	$C_0$	$C_1$	$R_0$ a	$C_2$	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_r = K_e$ (kN/m)	$\delta_T$ (m)	$V_T$ (kN)
2KÇ	0.012 64.500	189.30	0.532	1.191	1.057	1.562 90	1.004	0.330	5336.78	0.018	75.689
4KÇ	0.021 65.578	387.38	0.422	1.289	1.045	2.241 90	1.006	0.552	3163.04	0.043	77.364
6KÇ	0.031 82.722	609.03	0.315	1.306	1.023	2.085 90	1.000	0.740	2676.31	0.058	88.575
8KÇ	0.044 82.533	812.04	0.231	1.323	1.000	2.046 90	1.000	1.007	1866.13	0.078	89.583
10KÇ	0.075 95.573	996.93	0.178	1.364	1.000	1.673 90	1.000	1.320	1264.35	0.105	99.088
12KÇ	0.110 99.375	1190.64	0.142	1.378	1.000	1.521 90	1.000	1.649	941.78	0.133	102.893
14KÇ	0.171 103.981	1384.31	0.119	1.356	1.000	1.423 90	1.000	1.957	798.19	0.155	117.026
16KÇ	0.171 110.876	1618.76	0.105	1.410	1.000	1.367 90	1.000	2.236	651.84	0.184	117.706

Çizelge 5.24 Binaların 1. mod ve D2 için YKY FEMA 440 analiz sonuçları

Bina	Akma Noktası	Yapı Ağırlığı	Spektral İvme	FEMA 440 Katsayılar				Periyot ve Rijitlik		Yerdeğiştirme Talebi	Dayanım Talebi
	$\delta_y$ (m) $V_y$ (kN)	W (kN)	$S_a$ (g)	$C_0$	$C_1$	$R_0$ a	$C_2$	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_r = K_e$ (kN/m)	$\delta_T$ (m)	$V_T$ (kN)
2KÇ	0.014 75.398	189.30	1.064	1.191	1.170	2.672 90	1.032	0.330	5336.78	0.041	84.117
4KÇ	0.024 74.392	387.38	0.844	1.289	1.108	3.951 90	1.36	0.552	3163.04	0.095	80.980
6KÇ	0.032 86.245	609.03	0.630	1.306	1.061	4.000 90	1.000	0.740	2676.31	0.119	86.255
8KÇ	0.046 86.597	812.04	0.464	1.323	1.000	3.901 90	1.000	1.007	1866.13	0.155	95.346
10KÇ	0.078 98.205	996.93	0.353	1.364	1.000	3.221 90	1.000	1.320	1264.35	0.210	103.265
12KÇ	0.115 103.339	1190.64	0.282	1.378	1.000	2.925 90	1.000	1.649	941.78	0.265	107.012
14KÇ	0.155 123.315	1384.31	0.238	1.356	1.000	2.401 90	1.000	1.957	798.19	0.309	126.068
16KÇ	0.204 133.120	1618.76	0.198	1.410	1.000	2.169 90	1.000	2.236	651.84	0.351	139.850



### 5.5.3.2 Binaların 1. Mod Atalet Kuvveti Dağılımları için YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ile Elde Edilen Performans Seviyeleri

Performans değerlendirmelerinin yapılabilmesi için incelenen tüm çerçeve binalar (2KÇ, 4KÇ, 6KÇ, 8KÇ, 10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) iki farklı deprem seviyesi (D1 depremi seviyesi ( $S_{a_{maks}}=0.532g$ ) ve D2 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=1.064g$ )) için belirlenen performans noktalarına (yerdeğiştirme talebine) kadar elastik ötesi statik itme (pushover) analizi yapılarak taşıyıcı sistem elamanlarında (kirişlerde ve kolonlarda) oluşan

- plastik kesitlerin sayıları,
- maksimum plastik dönme değerleri,
- binaların maksimum görece kat ötelemeleri

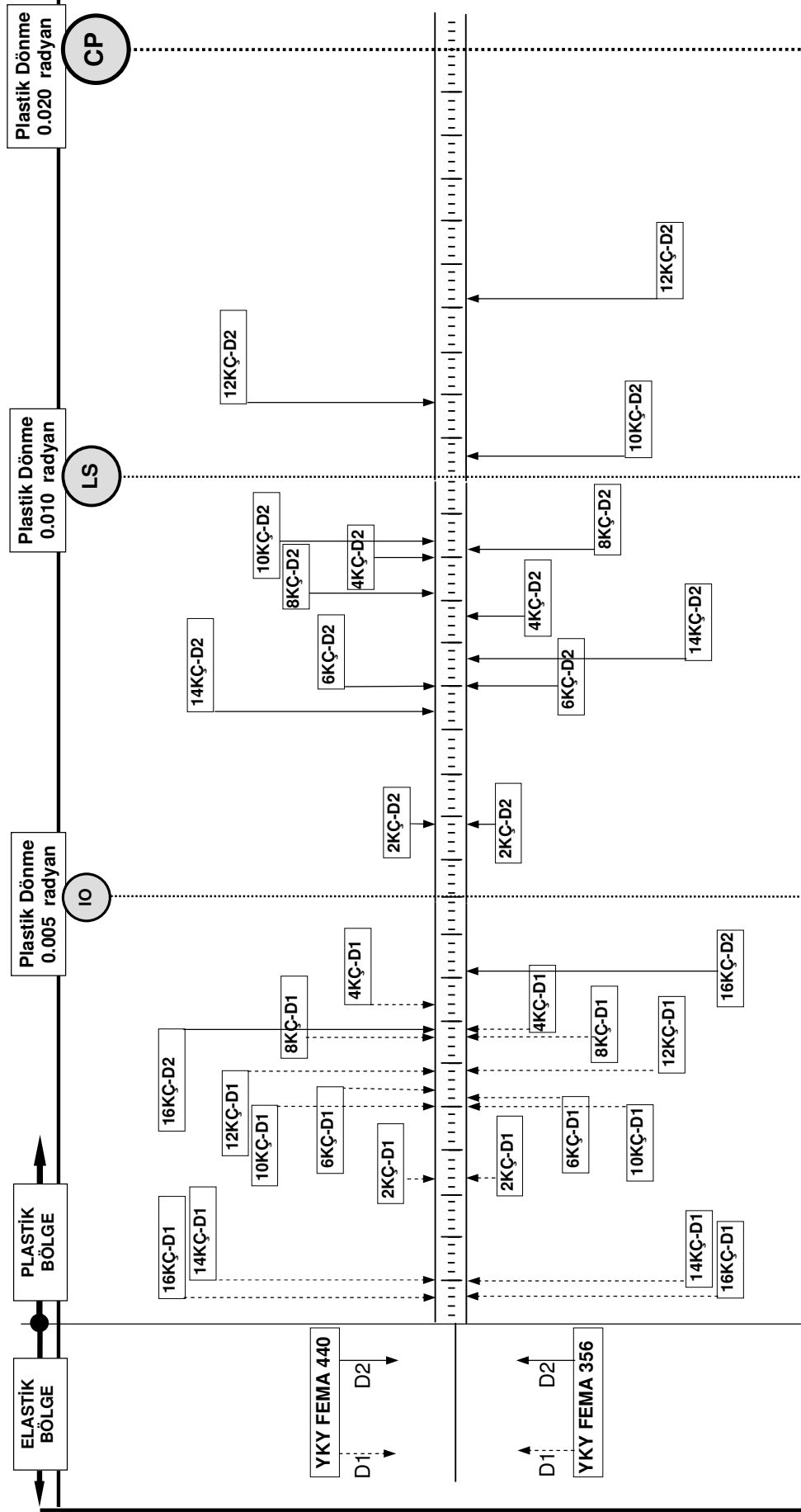
belirlenmiştir. Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) ile elde edilen bu parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri YKY FEMA 356 için Çizelge 5.25'de ve YKY FEMA 440 için Çizelge 5.26'da verilmiştir. Binaların 1. mod dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için YKY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri Şekil 5.23'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.25 Binaların 1. mod ve D1, D2 için YKY FEMA 356 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri

Bina	Deprem Seviyesi	Maksimum plastik dönme (rad)		Performans seviyelerine göre plastik kesit sayısı										Performans seviyelerine göre maksimum görelli kat ötelemesi (%)				
		Kiriş	Kolon	Kiriş					Kolon					<IO	IO-LS	LS-CP	CP<	
				<IO	IO-LS	LS-CP	CP<	<IO	IO-LS	LS-CP	CP<							
2KÇ	D1	0.0017	---	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.305	---	---	---
	D2	0.0059	0.0039	1	2	---	---	---	---	3	---	---	---	---	0.681	---	---	---
4KÇ	D1	0.0034	0.0004	6	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	0.491	---	---	---
	D2	0.0083	0.0062	2	4	---	---	---	---	---	2	---	---	---	0.997	---	---	---
6KÇ	D1	0.0026	---	8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.450	---	---	---
	D2	0.0075	0.0025	2	8	---	---	---	---	2	---	---	---	---	0.953	---	---	---
8KÇ	D1	0.0033	---	11	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.496	---	---	---
	D2	0.0091	0.0016	4	8	---	---	---	---	2	---	---	---	---	---	1.081	---	---
10KÇ	D1	0.0025	0.0001	11	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	0.497	---	---	---
	D2	0.0105	0.0027	5	6	3	---	---	---	5	---	---	---	---	---	1.330	---	---
12KÇ	D1	0.0029	0.0001	10	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	0.548	---	---	---
	D2	0.0142	0.0058	5	4	6	---	---	---	3	1	---	---	---	---	1.654	---	---
14KÇ	D1	0.0005	0.0013	1	---	---	---	---	---	5	---	---	---	---	0.507	---	---	---
	D2	0.0078	0.0089	8	1	---	---	---	---	8	6	---	---	---	---	1.397	---	---
16KÇ	D1	0.0003	0.0002	1	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	0.481	---	---	---
	D2	0.0041	0.0071	11	---	---	---	---	---	14	4	---	---	---	---	1.105	---	---

Çizelge 5.26 Binaların 1. mod ve D1, D2 için YKY FEMA 440 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri

Bina	Deprem Seviyesi	Maksimum plastik dönme (rad)		Performans seviyelerine göre plastik kesit sayısı										Performans seviyelerine göre maksimum görelli kat ötelemesi (%)				
		Kiriş	Kolon	Kiriş					Kolon					<IO	IO-LS	LS-CP	CP<	
				<IO	IO-LS	LS-CP	CP<	<IO	IO-LS	LS-CP	CP<							
2KÇ	D1	0.0017	---	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.317	---	---	---
	D2	0.0059	0.0047	1	2	---	---	---	---	3	---	---	---	---	0.751	---	---	---
4KÇ	D1	0.0037	0.0005	6	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	0.513	---	---	---
	D2	0.0090	0.0062	2	4	---	---	---	---	---	2	---	---	---	---	1.071	---	---
6KÇ	D1	0.0027	---	8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.463	---	---	---
	D2	0.0075	0.0025	2	8	---	---	---	---	2	---	---	---	---	0.953	---	---	---
8KÇ	D1	0.0033	---	11	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.496	---	---	---
	D2	0.0086	0.0015	5	8	---	---	---	---	2	---	---	---	---	---	1.029	---	---
10KÇ	D1	0.0025	0.0001	11	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	0.497	---	---	---
	D2	0.0092	0.0022	6	8	---	---	---	---	4	---	---	---	---	---	1.193	---	---
12KÇ	D1	0.0029	0.0001	10	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	0.548	---	---	---
	D2	0.0118	0.0028	6	6	3	---	---	---	3	---	---	---	---	---	1.437	---	---
14KÇ	D1	0.0005	0.0013	1	---	---	---	---	---	5	---	---	---	---	0.507	---	---	---
	D2	0.0072	0.0083	7	1	---	---	---	---	10	4	---	---	---	---	1.326	---	---
16KÇ	D1	0.0003	0.0002	1	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	0.481	---	---	---
	D2	0.0034	0.0064	11	---	---	---	---	---	15	3	---	---	---	---	1.029	---	---



Şekil 5.23 Binaların 1. mod dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için YKY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri

#### **5.5.4 Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımları için KSY (ATC 40 ve FEMA 440) ile Deprem Performanslarının Belirlenmesi**

Çizelge 5.3'de görüldüğü gibi 1. moda ait titreşim periyodu 1.00 sn'yi geçen ve yüksek modların etkin olduğu binalarda (10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) her iki deprem seviyesi (D1 deprem seviyesi ( $S_{maks}=0.532g$ ) ve D2 deprem seviyesi ( $S_{maks}=1.064g$ )) için 1.mod atalet kuvveti dağılımlarının yanısıra çok modu gözönüne alan ve üst katlardaki hasar durumunu daha iyi temsil edeceği düşünülen SRSS atalet kuvveti dağılımları için de elastik ötesi statik itme (pushover) analizleri yapılarak kapasite eğrileri elde edilmiştir, (Şekil 5.12). Binaların ATC 40 (1996) ve FEMA 440 (2004)'daki Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ile yerdeğiştirme talepleri hesaplanmış ve daha sonra iki farklı deprem seviyesi için bina performans seviyeleri belirlenmiştir. İncelen binalara ait kapasite eğrileri Ek A'da verilmiştir.

##### **5.5.4.1 Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımları için KSY (ATC 40 ve FEMA 440) ile Yerdeğiştirme Taleplerinin Belirlenmesi**

İncelenen binaların SRSS atalet kuvveti dağılımlarına göre Kapasite Spektrum Yöntemi ile analizinde Bölüm 5.5.2.1'deki hesap adımları izlenmiştir. Binaların SRSS dağılımları göre KSY ATC 40 ile hesaplanan analiz sonuçları D1 deprem seviyesi için Çizelge 5.27 ve D2 deprem seviyesi için Çizelge 5.28'de, KSY FEMA 440 ile hesaplanan analiz sonuçları D1 deprem seviyesi için Çizelge 5.29 ve D2 deprem seviyesi için Çizelge 5.30'da verilmiştir. İncelenen binaların performans noktaları Ek B'de verilmiştir.

Çizelge 5.27 Binaların SRSS ve D1 için KSY ATC 40 analiz sonuçları

Bina	Modal Özellikler			İdealleştirme		İndirgeme		Kapasite Spektrumu Koordinatları		Kapasite Eğrisi Koordinatları	
	$\Gamma_1$ =(PF <sub>1</sub> ·Φ <sub>Tepe,1</sub> )	m <sub>i</sub> (kNsn <sup>2</sup> /m)	α <sub>1</sub>	a <sub>y</sub> d <sub>y</sub>	a <sub>pi</sub> d <sub>pi</sub>	κ	β <sub>eff</sub> (%)	S <sub>a</sub> (g)	S <sub>d</sub> (m)	δ <sub>maks</sub> (m)	V <sub>T</sub> (kN)
10KÇ	1.364	10.158	0.765	0.126 0.055	0.136 0.066	1.00	10.432	0.136	0.066	0.091	102.729
12KÇ	1.378	10.109	0.753	0.102 0.069	0.114 0.084	1.00	9.519	0.114	0.084	0.116	100.671
14KÇ	1.356	10.075	0.761	0.084 0.079	0.107 0.104	1.00	6.820	0.107	0.104	0.142	111.240
16KÇ	1.410	10.308	0.729	0.077 0.095	0.096 0.122	1.00	6.677	0.096	0.122	0.174	111.471

Çizelge 5.28 Binaların SRSS ve D2 için KSY ATC 40 analiz sonuçları

Bina	Modal Özellikler			İdealleştirme		İndirgeme		Kapasite Spektrumu Koordinatları		Kapasite Eğrisi Koordinatları	
	$\Gamma_1$ =(PF <sub>1</sub> ·Φ <sub>Tepe,1</sub> )	m <sub>i</sub> (kNsn <sup>2</sup> /m)	α <sub>1</sub>	a <sub>y</sub> d <sub>y</sub>	a <sub>pi</sub> d <sub>pi</sub>	κ	β <sub>eff</sub> (%)	S <sub>a</sub> (g)	S <sub>d</sub> (m)	δ <sub>maks</sub> (m)	V <sub>T</sub> (kN)
10KÇ	1.364	10.158	0.765	0.137 0.060	0.145 0.117	0.91	30.063	0.145	0.117	0.161	109.226
12KÇ	1.378	10.109	0.753	0.114 0.077	0.123 0.144	0.93	28.137	0.123	0.144	0.200	109.296
14KÇ	1.356	10.075	0.761	0.115 0.108	0.129 0.168	0.99	16.336	0.129	0.168	0.230	133.879
16KÇ	1.410	10.308	0.729	0.104 0.128	0.120 0.200	1.00	19.365	0.120	0.200	0.286	139.676

Çizelge 5.29 Binaların SRSS ve D1 için KSY FEMA 440 analiz sonuçları

Bina	Modal Özellikler			İdealleştirme		Etketif Sönüm				Etketif Periyot			İndirgeme Katsayısı	Kapasite Spektrumu Koordinatları		Kapasite Eğrisi Koordinatları		
	$\Gamma_1$ =(PF <sub>1</sub> ·Φ <sub>Tepe,1</sub> )	m <sub>i</sub> (kNsn <sup>2</sup> /m)	α <sub>1</sub>	a <sub>y</sub>	a <sub>pi</sub>	μ	Katsayılar		β <sub>eff</sub>	T <sub>0</sub>	Katsayılar			T <sub>eff</sub>	B(β <sub>eff</sub> )	S <sub>a</sub>	S <sub>d</sub>	δ <sub>maks</sub> (m)
				d <sub>y</sub>	d <sub>pi</sub>		α	A			B	G	H			I	J	
10KÇ	1.364	10.158	0.765	0.131 0.057	0.140 0.076	1.323 22.485	4.6 9.6 23	-1.0 1.3 0.34	5.445	1.320	0.13 0.11 1.0	-0.02 0.11 0.2	1.337	1.024	0.140	0.076	0.105	106.106
12KÇ	1.378	10.109	0.753	0.107 0.072	0.117 0.095	1.113 31.378	4.6 9.6 23	-1.0 1.3 0.34	5.419	1.649	0.13 0.11 1.0	-0.02 0.11 0.2	1.669	1.023	0.117	0.095	0.132	104.065
14KÇ	1.356	10.075	0.761	0.087 0.082	0.112 0.110	1.348 80.756	4.6 9.6 23	-1.0 1.3 0.34	5.514	1.957	0.13 0.11 1.0	-0.02 0.11 0.2	1.986	1.028	0.112	0.110	0.151	116.583
16KÇ	1.410	10.308	0.729	0.081 0.099	0.100 0.128	1.292 80.026	4.6 9.6 23	-1.0 1.3 0.34	5.369	2.236	0.13 0.11 1.0	-0.02 0.11 0.2	2.259	1.020	0.100	0.128	0.183	141.463

Çizelge 5.30 Binaların SRSS ve D2 için KSY FEMA 440 analiz sonuçları

Bina	Modal Özellikler			İdealleştirme		Etketif Sönüm				Etketif Periyot			İndirgeme Katsayısı	Kapasite Spektrumu Koordinatları		Kapasite Eğrisi Koordinatları		
	$\Gamma_1$ =(PF <sub>1</sub> ·Φ <sub>Tepe,1</sub> )	m <sub>i</sub> (kNsn <sup>2</sup> /m)	α <sub>1</sub>	a <sub>y</sub>	a <sub>pi</sub>	μ	Katsayılar		β <sub>eff</sub>	T <sub>0</sub>	Katsayılar			T <sub>eff</sub>	B(β <sub>eff</sub> )	S <sub>a</sub>	S <sub>d</sub>	δ <sub>maks</sub> (m)
				d <sub>y</sub>	d <sub>pi</sub>		α	A			B	G	H			I	J	
10KÇ	1.364	10.158	0.765	0.140 0.061	0.145 0.150	2.447 2.865	5.40 10.7 20.0	-1.2 1.67 0.47	12.567	1.320	0.18 0.19 0.89	-0.04 0.16 0.30	1.688	1.303	0.145	0.150	0.207	109.919
12KÇ	1.378	10.109	0.753	0.117 0.079	0.125 0.184	2.324 5.201	5.60 10.0 20	-1.3 1.80 0.38	11.800	1.649	0.18 0.15 0.92	-0.04 0.16 0.50	2.029	1.277	0.125	0.184	0.256	110.813
14KÇ	1.356	10.075	0.761	0.122 0.114	0.129 0.218	1.912 6.173	5.54 9.84 20.2	-1.3 1.82 0.38	8.636	1.957	0.18 0.17 0.93	-0.04 0.15 0.42	2.192	1.161	0.129	0.218	0.298	134.324
16KÇ	1.410	10.308	0.729	0.113 0.139	0.120 0.250	1.805 8.079	5.42 9.52 20.6	-1.2 1.86 0.37	7.865	2.236	0.17 0.22 0.95	-0.04 0.14 0.26	2.447	1.131	0.120	0.250	0.357	139.345

#### 5.5.4.2 Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımları için KSY (ATC 40 ve FEMA 440) ile Elde Edilen Performans Seviyeleri

Performans değerlendirmelerinin yapılabilmesi için incelenen 1. moda ait titreşim periyodu 1.00 sn'yi geçen ve yüksek modların etkin olduğu çerçeve binalar (10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) iki farklı deprem seviyesi (D1 deprem seviyesi ( $S_{maks}=0.532g$ ) ve D2 deprem seviyesi ( $S_{maks}=1.064g$ )) için belirlenen performans noktalarına (yerdeğiştirme talebine) kadar elastik ötesi statik itme (pushover) analizi yapılarak taşıyıcı sistem elamanlarında (kirişlerde ve kolonlarda) oluşun

- plastik kesitlerin sayıları,
- maksimum plastik dönme değerleri,
- binaların maksimum görelî kat ötelemeleri

belirlenmiştir. Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ile elde edilen bu parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri KSY ATC 40 için Çizelge 5.31'de ve KSY FEMA 440 için Çizelge 5.32'de verilmiştir. Binaların SRSS dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için KSY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri Şekil 5.24'de gösterilmiştir.

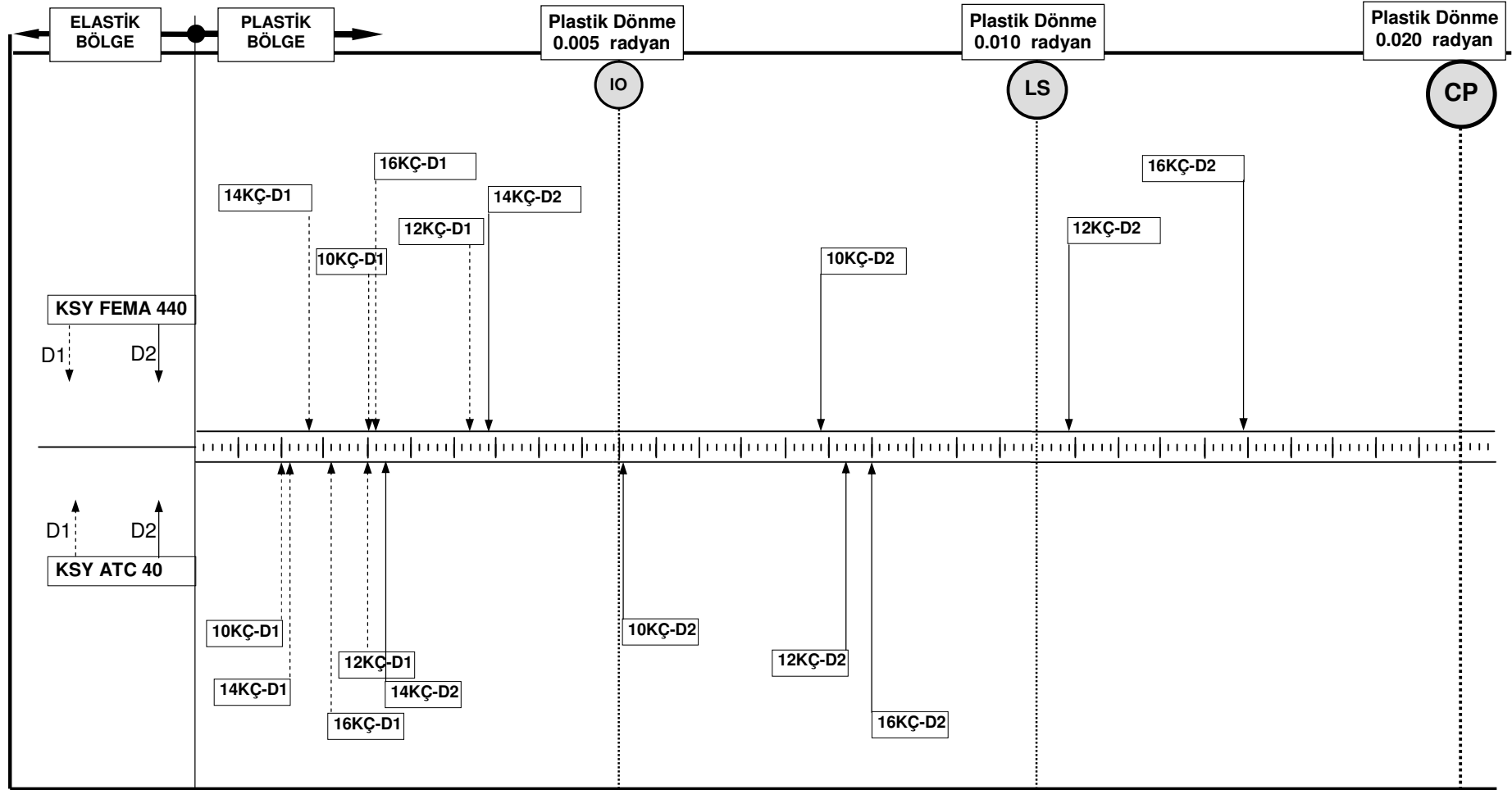


Çizelge 5.31 Binaların SRSS ve D1, D2 için KSY ATC 40 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri

Bina	Deprem Seviyesi	Maksimum plastik dönme (rad)		Performans seviyelerine göre plastik kesit sayısı								Performans seviyelerine göre maksimum görel kat ötelemesi (%)			
		Kiriş	Kolon	Kiriş				Kolon				<IO	IO-LS	LS-CP	CP<
				<IO	IO-LS	LS-CP	CP<	<IO	IO-LS	LS-CP	CP<				
10KÇ	D1	0.0010	0.0001	8	---	---	---	1	---	---	---	0.337	---	---	---
	D2	0.0051	0.0016	14	1	---	---	2	---	---	---	0.781	---	---	---
12KÇ	D1	0.0020	---	7	---	---	---	---	---	---	---	0.468	---	---	---
	D2	0.0077	0.0005	7	6	---	---	1	---	---	---	---	1.097	---	---
14KÇ	D1	0.0011	0.0007	2	---	---	---	1	---	---	---	0.403	---	---	---
	D2	0.0022	0.0037	7	---	---	---	13	---	---	---	0.699	---	---	---
16KÇ	D1	0.0016	---	3	---	---	---	---	---	---	---	0.502	---	---	---
	D2	0.0080	0.0024	5	3	---	---	9	---	---	---	---	1.061	---	---

Çizelge 5.32 Binaların SRSS ve D1, D2 için KSY FEMA 440 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri

Bina	Deprem Seviyesi	Maksimum plastik dönme (rad)		Performans seviyelerine göre plastik kesit sayısı								Performans seviyelerine göre maksimum görel kat ötelemesi (%)			
		Kiriş	Kolon	Kiriş				Kolon				<IO	IO-LS	LS-CP	CP<
				<IO	IO-LS	LS-CP	CP<	<IO	IO-LS	LS-CP	CP<				
10KÇ	D1	0.0020	0.0005	11	---	---	---	1	---	---	---	0.440	---	---	---
	D2	0.0074	0.0024	9	8	---	---	3	---	---	---	---	1.007	---	---
12KÇ	D1	0.0032	0.0001	8	---	---	---	1	---	---	---	0.607	---	---	---
	D2	0.0108	0.0008	4	8	2	---	4	---	---	---	---	1.436	---	---
14KÇ	D1	0.0013	0.0011	3	---	---	---	2	---	---	---	0.425	---	---	---
	D2	0.0034	0.0060	11	---	---	---	12	2	---	---	0.977	---	---	---
16KÇ	D1	0.0021	0.0001	3	---	---	---	1	---	---	---	0.541	---	---	---
	D2	0.0149	0.0097	6	1	3	---	13	---	---	---	---	1.796	---	---



Şekil 5.24 Binaların SRSS dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için KSY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri

### **5.5.5 Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımları için YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ile Deprem Performanslarının Belirlenmesi**

Çizelge 5.3'de görüldüğü gibi 1. moda ait titreşim periyodu 1.00 sn'yi geçen ve yüksek modların etkin olduğu binalarda (10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) her iki deprem seviyesi (D1deprem seviyesi ( $S_{amaks}=0.532g$ ) ve D2 deprem seviyesi ( $S_{amaks}=1.064g$ )) için 1.mod atalet kuvveti dağılımlarının yanısıra çok modu gözönüne alan ve üst katlardaki hasar durumunu daha iyi temsil edeceği düşünülen SRSS atalet kuvveti dağılımları için de elastik ötesi statik itme (pushover) analizleri yapılarak kapasite eğrileri elde edilmiştir, (Şekil 5.12). Binaların FEMA 356 (2000) ve FEMA 440 (2004)'daki Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) ile yerdeğiştirme talepleri hesaplanmış ve daha sonra iki farklı deprem seviyesi için bina performans seviyeleri belirlenmiştir.

#### **5.5.5.1 Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımları için YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ile Yerdeğiştirme Taleplerinin Belirlenmesi**

Binaların SRSS atalet kuvveti dağılımlarına göre Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi ile analizinde Bölüm 5.5.3.1'deki hesap adımları izlenerek, yerdeğiştirme taleplerinin elde edilebilmesi için gerekli katsayılar ( $S_a, C_0, C_1, C_2, C_3$ ) YKY FEMA 356 ve YKY FEMA 440 için hesaplanarak yerdeğiştirme talepleri bulunmuştur. Binaların SRSS atalet kuvveti dağılımları göre YKY FEMA 356 ile hesaplanan analiz sonuçları D1 deprem seviyesi için Çizelge 5.33 ve D2 deprem seviyesi için Çizelge 5.34'de, YKY FEMA 440 ile hesaplanan analiz sonuçları D1 deprem seviyesi için Çizelge 5.35 ve D2 deprem seviyesi için Çizelge 5.36'da verilmiştir.

Çizelge 5.33 Binaların SRSS ve D1 için YKY FEMA 356 analiz sonuçları

Bina	Akma Noktası	Yapı Ağırlığı	Spektral İvme	FEMA 356 Katsayılar					Periyot ve Rijitlik		Yerdeğiştirme Talebi	Dayanım Talebi
	$\delta_y$ (m) $V_y$ (kN)	W (kN)	$S_a$ (g)	$C_0$	$C_1$	$R_0$ $T_0$	$C_2$	$C_3$	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_i = K_e$ (kN/m)	$\delta_T$ (m)	$V_T$ (kN)
10KÇ	0.079 99.137	996.93	0.178	1.364	1.000	1.586 1.320	1.000	1.000	1.320	1248.24	0.106	106.188
12KÇ	0.101 94.915	1190.64	0.142	1.378	1.000	1.592 1.649	1.000	1.000	1.649	940.562	0.133	104.136
14KÇ	0.116 94.784	1384.31	0.119	1.356	1.000	1.577 1.957	1.000	1.000	1.957	814.886	0.153	117.951
16KÇ	0.143 94.281	1618.76	0.105	1.410	1.000	1.633 2.236	1.000	1.000	2.236	661.167	0.185	116.282

Çizelge 5.34 Binaların SRSS ve D2 için YKY FEMA 356 analiz sonuçları

Bina	Akma Noktası	Yapı Ağırlığı	Spektral İvme	FEMA 356 Katsayılar					Periyot ve Rijitlik		Yerdeğiştirme Talebi	Dayanım Talebi
	$\delta_y$ (m) $V_y$ (kN)	W (kN)	$S_a$ (g)	$C_0$	$C_1$	$R_0$ $T_0$	$C_2$	$C_3$	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_i = K_e$ (kN/m)	$\delta_T$ (m)	$V_T$ (kN)
10KÇ	0.085 106.401	996.93	0.353	1.364	1.000	2.955 1.320	1.100	1.000	1.320	1248.24	0.233	109.852
12KÇ	0.112 104.899	1190.64	0.282	1.378	1.000	2.720 1.649	1.100	1.000	1.649	940.562	0.292	111.108
14KÇ	0.158 128.697	1384.31	0.238	1.356	1.000	2.232 1.957	1.050	1.000	1.957	814.886	0.322	134.011
16KÇ	0.205 135.288	1618.76	0.198	1.410	1.000	2.277 2.236	1.100	1.000	2.236	661.167	0.406	136.232

Çizelge 5.35 Binaların SRSS ve D1 için YKY FEMA 440 analiz sonuçları

Bina	Akma Noktası	Yapı Ağırlığı	Spektral İvme	FEMA 356 Katsayılar					Periyot ve Rijitlik		Yerdeğiştirme Talebi	Dayanım Talebi
	$\delta_y$ (m) $V_y$ (kN)	W (kN)	$S_a$ (g)	$C_0$	$C_1$	$R_0$ $a$	$C_2$	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_i = K_e$ (kN/m)	$\delta_T$ (m)	$V_T$ (kN)	
10KÇ	0.079 99.137	996.93	0.178	1.364	1.000	1.586 90	1.000	1.320	1248.24	0.106	106.188	
12KÇ	0.101 94.915	1190.64	0.142	1.378	1.000	1.592 90	1.000	1.649	940.562	0.133	104.136	
14KÇ	0.116 94.784	1384.31	0.119	1.356	1.000	1.577 90	1.000	1.957	814.886	0.153	117.951	
16KÇ	0.143 94.281	1618.76	0.105	1.410	1.000	1.633 90	1.000	2.236	661.167	0.185	116.282	

Çizelge 5.36 Binaların SRSS ve D2 için YKY FEMA 440 analiz sonuçları

Bina	Akma Noktası	Yapı Ağırlığı	Spektral İvme	FEMA 356 Katsayılar				Periyot ve Rijitlik		Yerdeğiştirme Talebi	Dayanım Talebi
	$\delta_y$ (m) $V_y$ (kN)	W (kN)	$S_a$ (g)	$C_0$	$C_1$	$R_0$ a	$C_2$	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_i = K_e$ (kN/m)	$\delta_T$ (m)	$V_T$ (kN)
10KÇ	0.085 105.692	996.93	0.353	1.364	1.000	2.975 90	1.000	1.320	1248.24	0.212	109.941
12KÇ	0.111 104.036	1190.64	0.282	1.378	1.000	2.905 90	1.000	1.649	940.562	0.266	100.900
14KÇ	0.157 127.816	1384.31	0.238	1.356	1.000	2.340 90	1.000	1.957	814.886	0.306	134.218
16KÇ	0.200 132.284	1618.76	0.198	1.410	1.000	2.328 90	1.000	2.236	661.167	0.369	138.562

### 5.5.5.2 Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımları için YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ile Elde Edilen Performans Seviyeleri

Performans değerlendirmelerinin yapılabilmesi için incelenen 1. moda ait titreşim periyodu 1.00 sn'yi geçen ve yüksek modların etkin olduğu çerçeve binalar (10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) iki farklı deprem seviyesi (D1 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=0.532g$ ) ve D2 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=1.064g$ )) için belirlenen performans noktalarına (yerdeğiştirme talebine) kadar elastik ötesi statik itme (pushover) analizi yapılarak taşıyıcı sistem elamanlarında (kirişlerde ve kolonlarda) oluşan

- plastik kesitlerin sayıları,
- maksimum plastik dönme değerleri,
- binaların maksimum görelî kat ötelemeleri

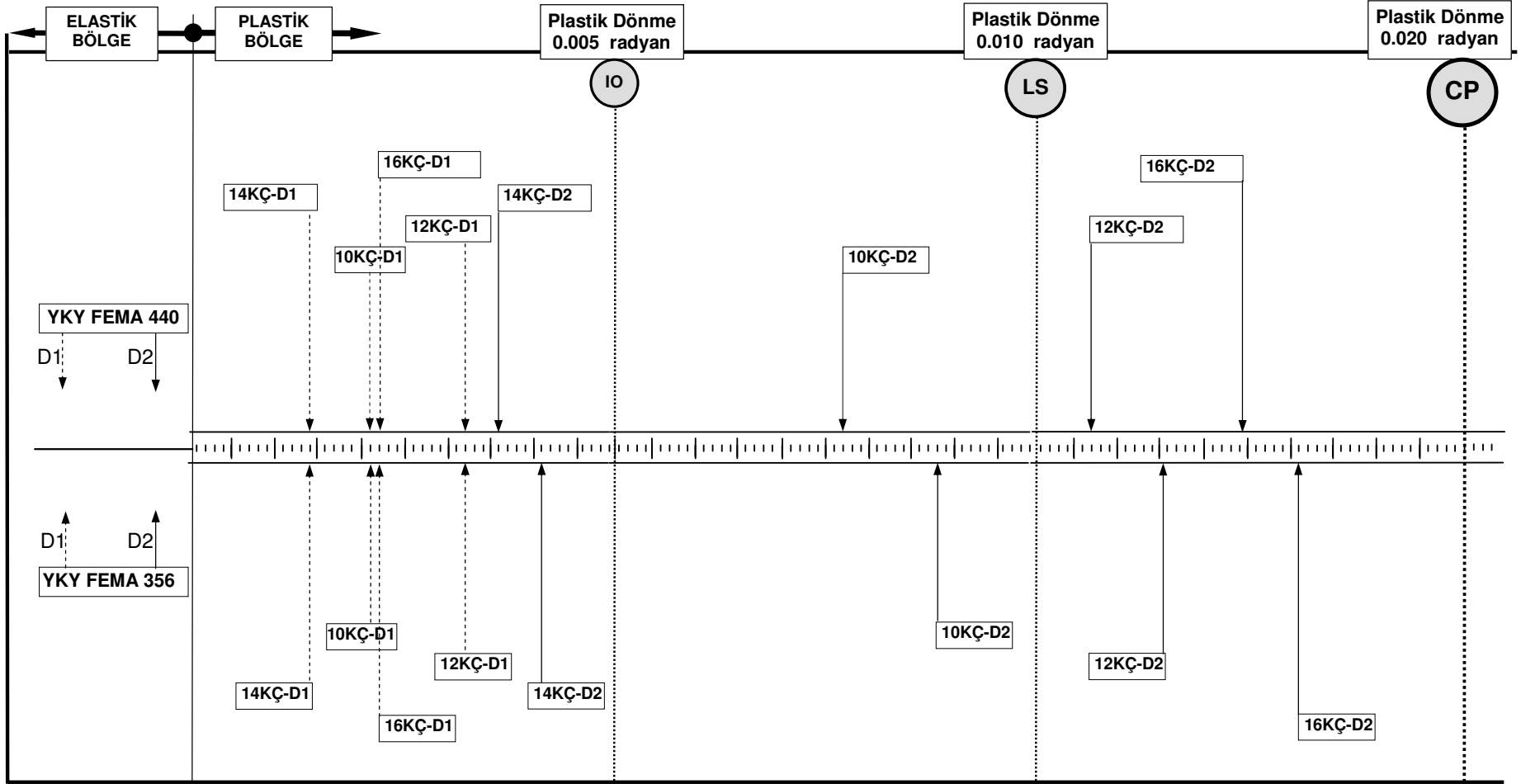
belirlenmiştir. Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) ile elde edilen bu parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri YKY FEMA 356 için Çizelge 5.37'de ve YKY FEMA 440 için Çizelge 5.38'de verilmiştir. Binaların SRSS atalet kuvveti dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için YKY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri Şekil 5.25'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.37 Binaların SRSS ve D1, D2 için YKY FEMA 356 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri

Bina	Deprem Seviyesi	Maksimum plastik dönme (rad)		Performans seviyelerine göre plastik kesit sayısı								Performans seviyelerine göre maksimum görel kat ötelemesi (%)			
		Kiriş	Kolon	Kiriş				Kolon				<IO	IO-LS	LS-CP	CP<
				<IO	IO-LS	LS-CP	CP<	<IO	IO-LS	LS-CP	CP<				
10KÇ	D1	0.0021	0.0005	11	---	---	---	1	---	---	---	0.449	---	---	---
	D2	0.0088	0.0031	8	9	---	---	4	---	---	---	---	1.142	---	---
12KÇ	D1	0.0032	0.0001	8	---	---	---	1	---	---	---	0.610	---	---	---
	D2	0.0131	0.0016	3	4	6	---	4	---	---	---	---	1.655	---	---
14KÇ	D1	0.0014	0.0012	3	---	---	---	3	---	---	---	0.431	---	---	---
	D2	0.0041	0.0066	11	---	---	---	9	6	---	---	---	1.088	---	---
16KÇ	D1	0.0022	0.0002	3	---	---	---	1	---	---	---	0.550	---	---	---
	D2	0.0162	0.0110	6	1	3	---	12	---	1	---	---	1.929	---	---

Çizelge 5.38 Binaların SRSS ve D1, D2 için YKY FEMA 440 ile belirlenen ilgili parametrelerin değerleri ve performans seviyeleri

Bina	Deprem Seviyesi	Maksimum plastik dönme (rad)		Performans seviyelerine göre plastik kesit sayısı								Performans seviyelerine göre maksimum görel kat ötelemesi (%)			
		Kiriş	Kolon	Kiriş				Kolon				<IO	IO-LS	LS-CP	CP<
				<IO	IO-LS	LS-CP	CP<	<IO	IO-LS	LS-CP	CP<				
10KÇ	D1	0.0021	0.0005	11	---	---	---	1	---	---	---	0.449	---	---	---
	D2	0.0077	0.0024	9	8	---	---	3	---	---	---	---	1.030	---	---
12KÇ	D1	0.0032	0.0001	8	---	---	---	1	---	---	---	0.610	---	---	---
	D2	0.0114	0.0010	3	6	4	---	4	---	---	---	---	1.491	---	---
14KÇ	D1	0.0014	0.0012	3	---	---	---	3	---	---	---	0.431	---	---	---
	D2	0.0036	0.0062	11	---	---	---	11	4	---	---	---	1.014	---	---
16KÇ	D1	0.0022	0.0002	3	---	---	---	1	---	---	---	0.550	---	---	---
	D2	0.0149	0.0102	6	---	4	---	12	---	1	---	---	1.852	---	---



Şekil 5.25 Binaların SRSS dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için YKY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri

## 6. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZ YÖNTEMLERİNDEN ELDE EDİLEN ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, incelenen binaların (2KÇ, 4KÇ, 6KÇ, 8KÇ, 10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) iki farklı deprem seviyesi (D1 deprem seviyesi ( $S_{\text{maks}}=0.532g$ ) ve D2 deprem seviyesi ( $S_{\text{maks}}=1.064g$ )) ve iki farklı atalet kuvveti dağılımı (1.mod ve SRSS) için doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden KSY (KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440) YKY'nin (YKY FEMA 356 ve YKY FEMA 440) karşılaştırmaları ve değerlendirilmeleri yapılmıştır.

### 6.1 Doğrusal Olmayan Statik Analiz Yöntemlerinden Elde Edilen Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden KSY (KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440) YKY'nin (YKY FEMA 356 ve YKY FEMA 440) karşılaştırmaları aşağıdaki parametrelerle yapılmıştır.

- Yerdeğiştirme Talebi,
- Dayanım Talebi,
- Kat Kesme Kuvvetleri,
- Göreli Kat Ötelemeleri,
- Kat Yatay Yerdeğiştirmeleri,
- Maksimum Kiriş Plastik Dönmeleri,
- Plastik Kesitlerin Dağılımı.

Bu parametreler, incelenen binaların iki farklı deprem seviyesi (D1 ve D2 deprem seviyeleri) ve iki farklı atalet kuvveti dağılımı (1.mod ve SRSS)



için KSY ve YKY'den elde edilen yerdeğiştirme talebine kadar elastik ötesi statik itme (pushover) analizi ile belirlenmiş ve YKY FEMA 440 referans alınarak karşılaştırılmıştır.

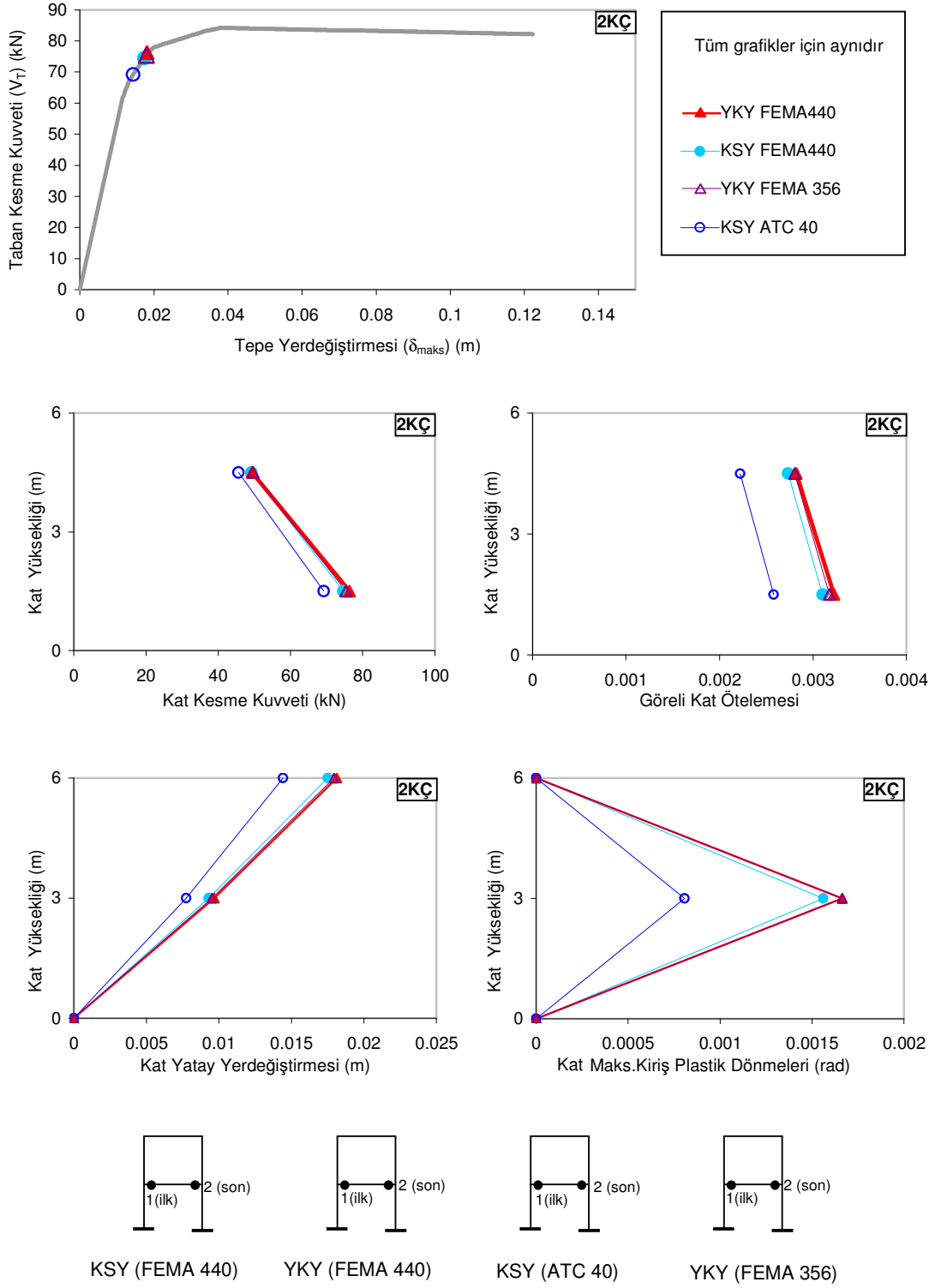
**Binaların 1. Mod Atalet Kuvveti Dağılımı için** **YKY**  
**FEMA 440'a göre KSY ATC 40, KSY FEMA 440 ve** **YKY FEMA**  
**356 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması**

İncelenen betonarme çerçeve binaların 1.mod atalet kuvveti dağılımı kullanılarak doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden KSY ve YKY yukarıda belirtilen parametreler için karşılaştırılmıştır.

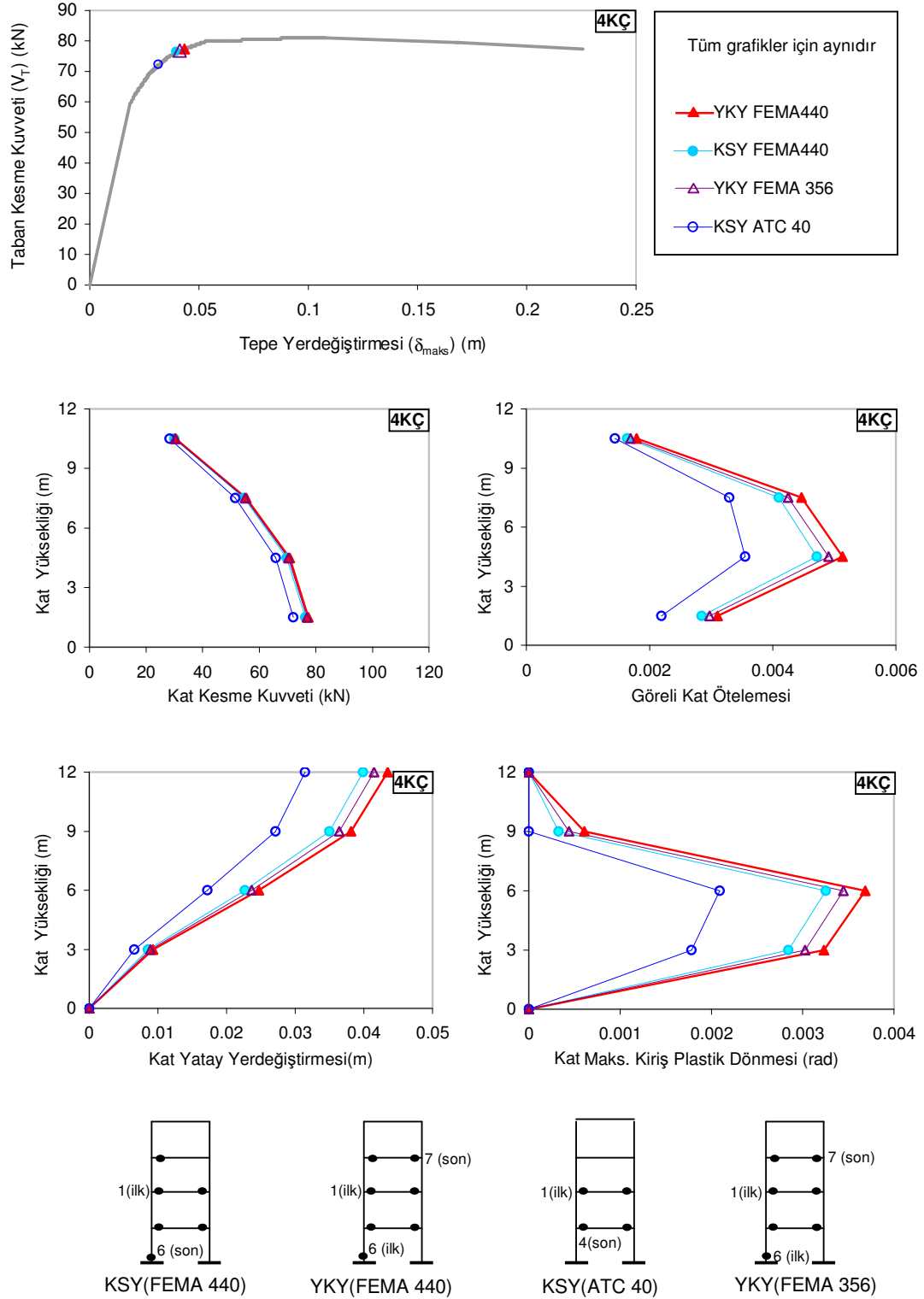
Tez çalışması kapsamında incelenen betonarme çerçeve binalar doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ve KSY (ATC 40 ve FEMA 440) ile belirlenen maksimum yerdeğiştirme taleplerine kadar statik olarak itilerek karşılaştırılacak olan parametreler (Yerdeğiştirme, dayanım talepleri, kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, kat yatay yerdeğiştirmeleri, kiriş plastik dönmeleri, plastik kesitlerin dağılımı) D1 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=0.532g$ ) için Şekil 6.1-6.8'de, D2 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=1.064g$ ) için Şekil 6.9-6.16'da verilmiştir.

D1 ve D2 deprem seviyeleri için maksimum yerdeğiştirme talebine ( $\delta_{maks}$ ) kadar statik olarak itilerek betonarme çerçeve binaların yerdeğiştirme ve dayanım talepleri, maksimum plastik dönme talepleri ve maksimum öteleme talepleri YKY FEMA 440 referans alınarak YKY FEMA 356, KSY FEMA 440 ve KSY ATC 40'a ait değerlerin ne oranda farklı oldukları hesaplanmış ve D1 depremi seviyesi ( $S_{a_{maks}}=0.532g$ ) için Çizelge 6.1'de D2 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=1.064g$ ) için Çizelge 6.2'de verilmiştir.

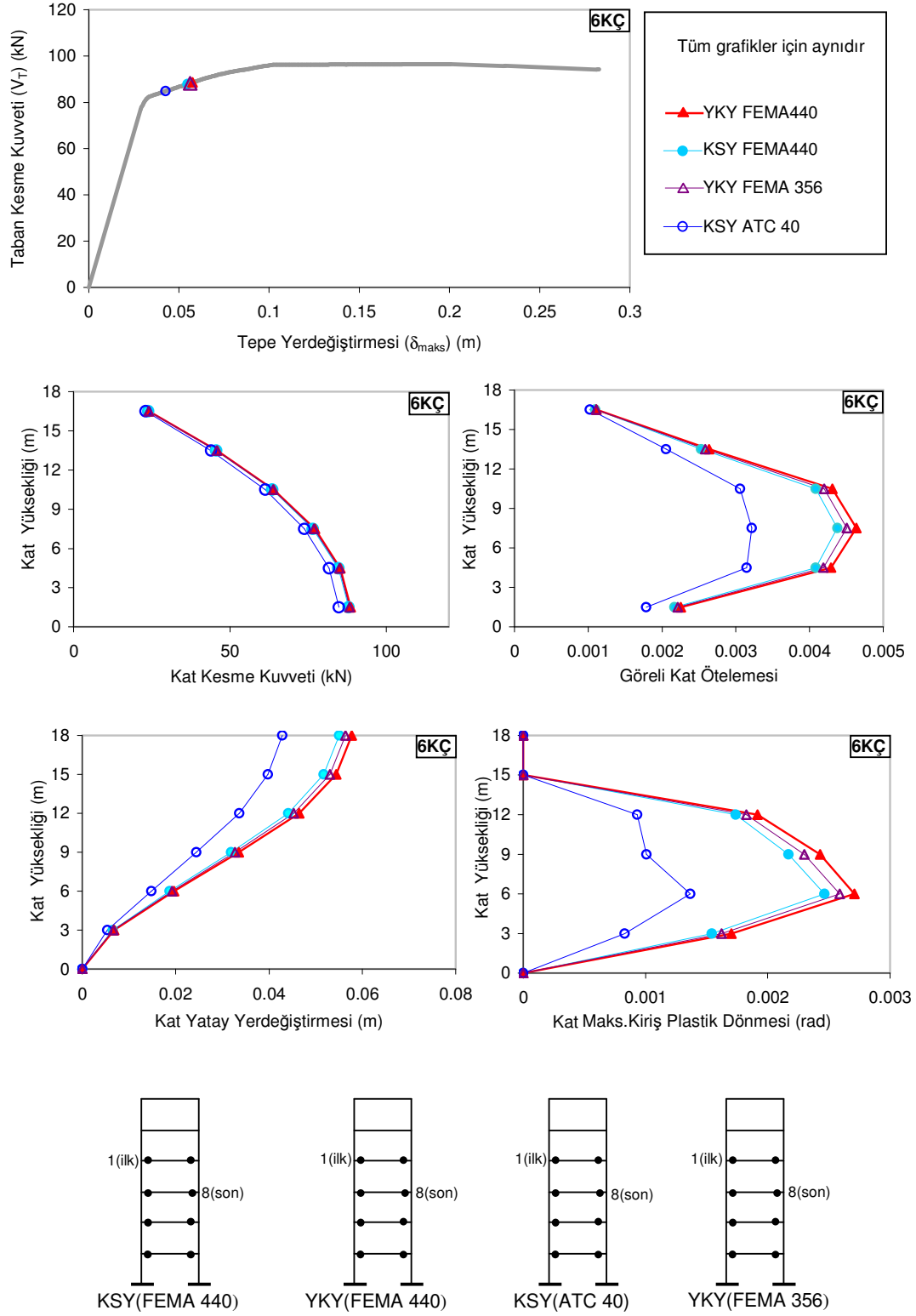
Ayrıca binaların 1. mod dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için KSY ve YKY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri Şekil 6.17'de verilmiştir.



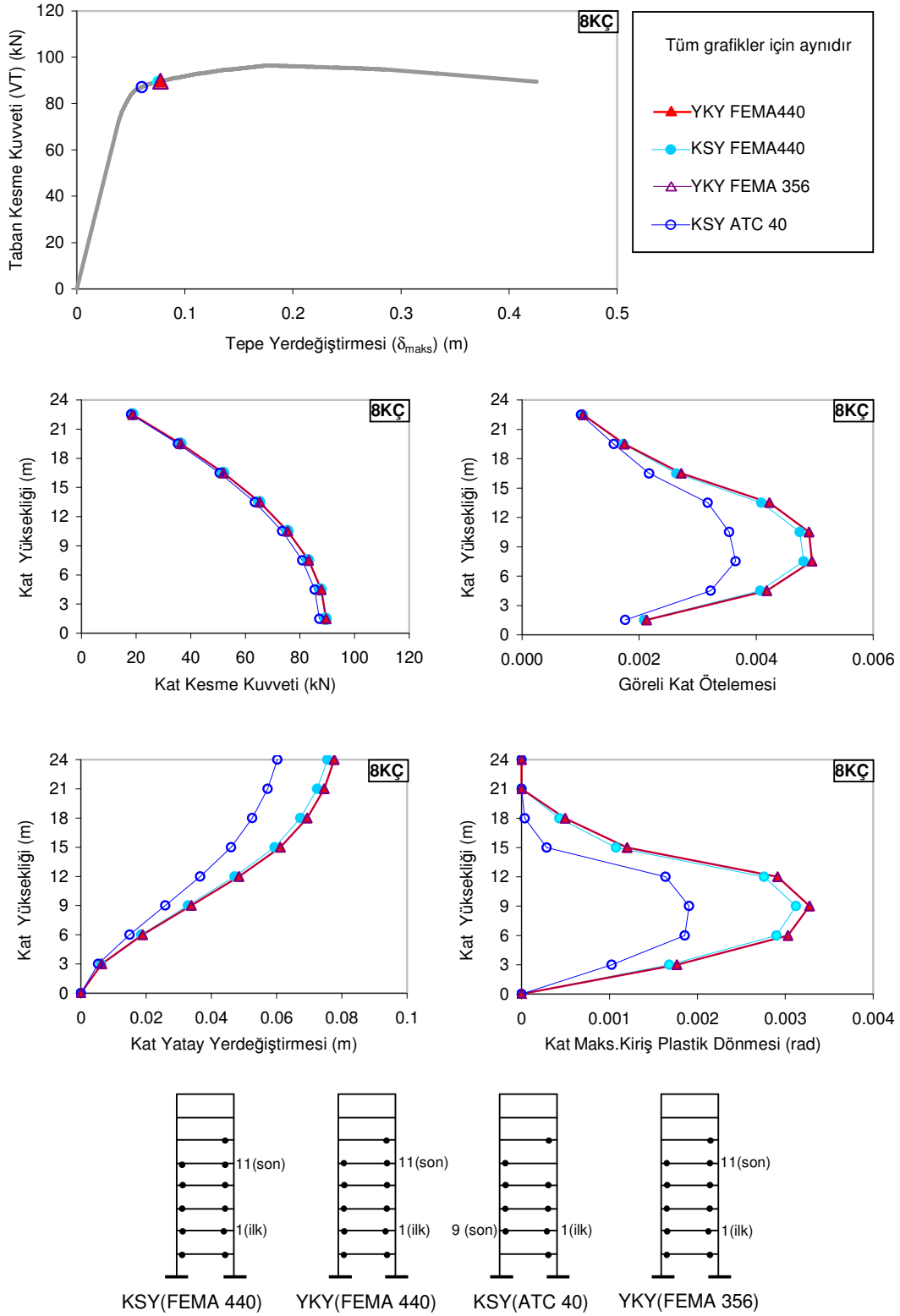
Şekil 6.1 2KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları



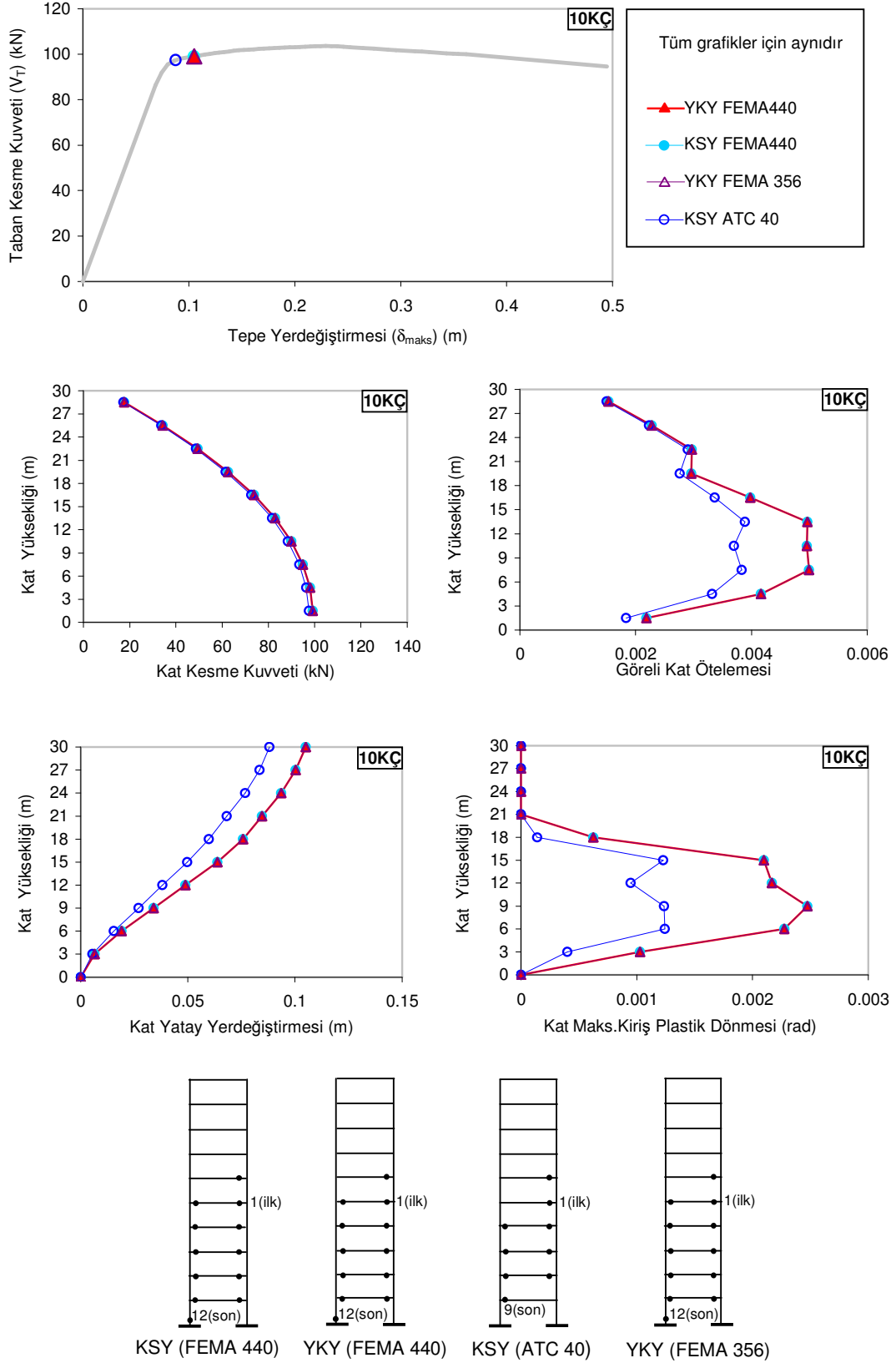
Şekil 6.2 4KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları



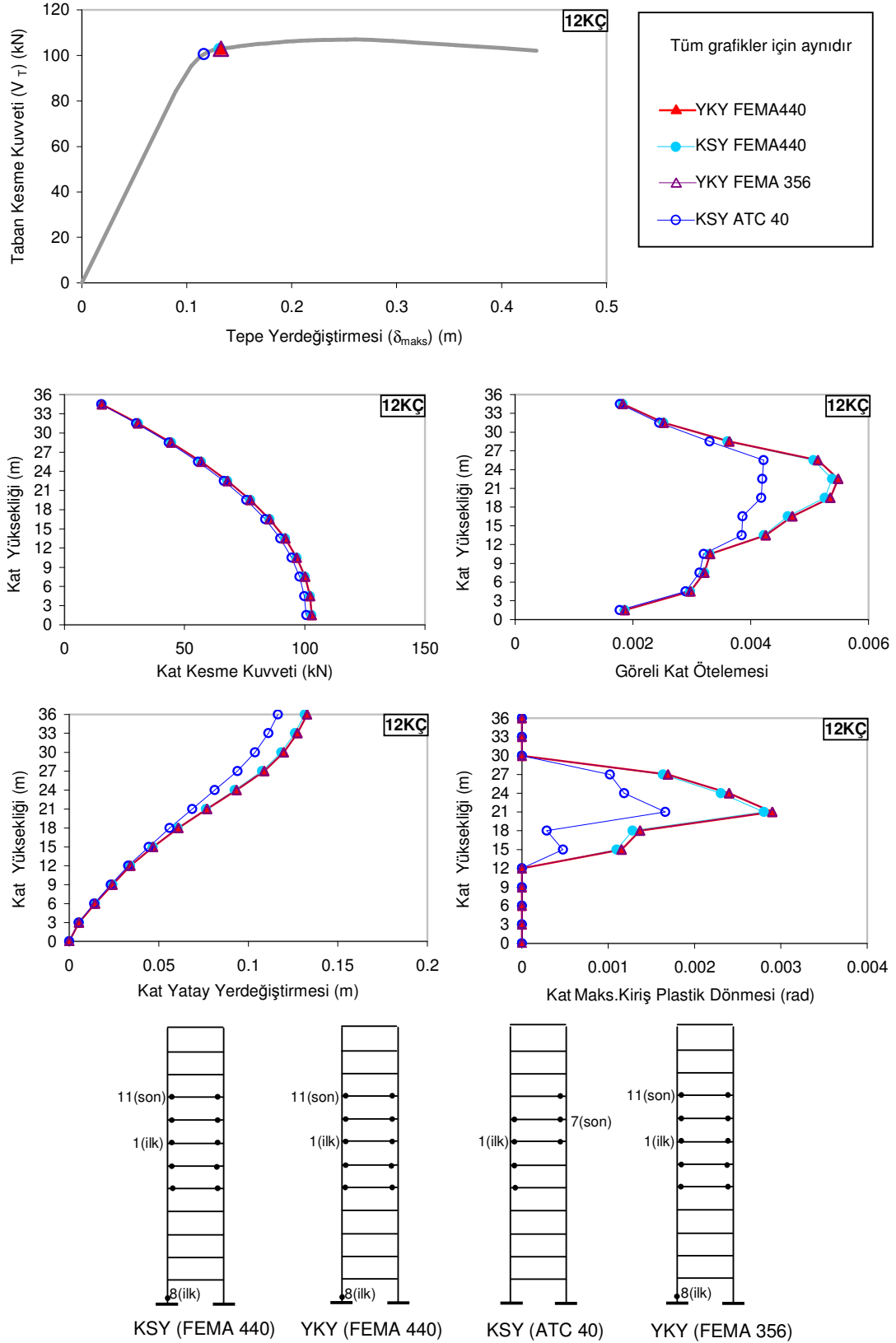
şekil 6.3 6KÇ'nin 1.mod dağılımlı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları



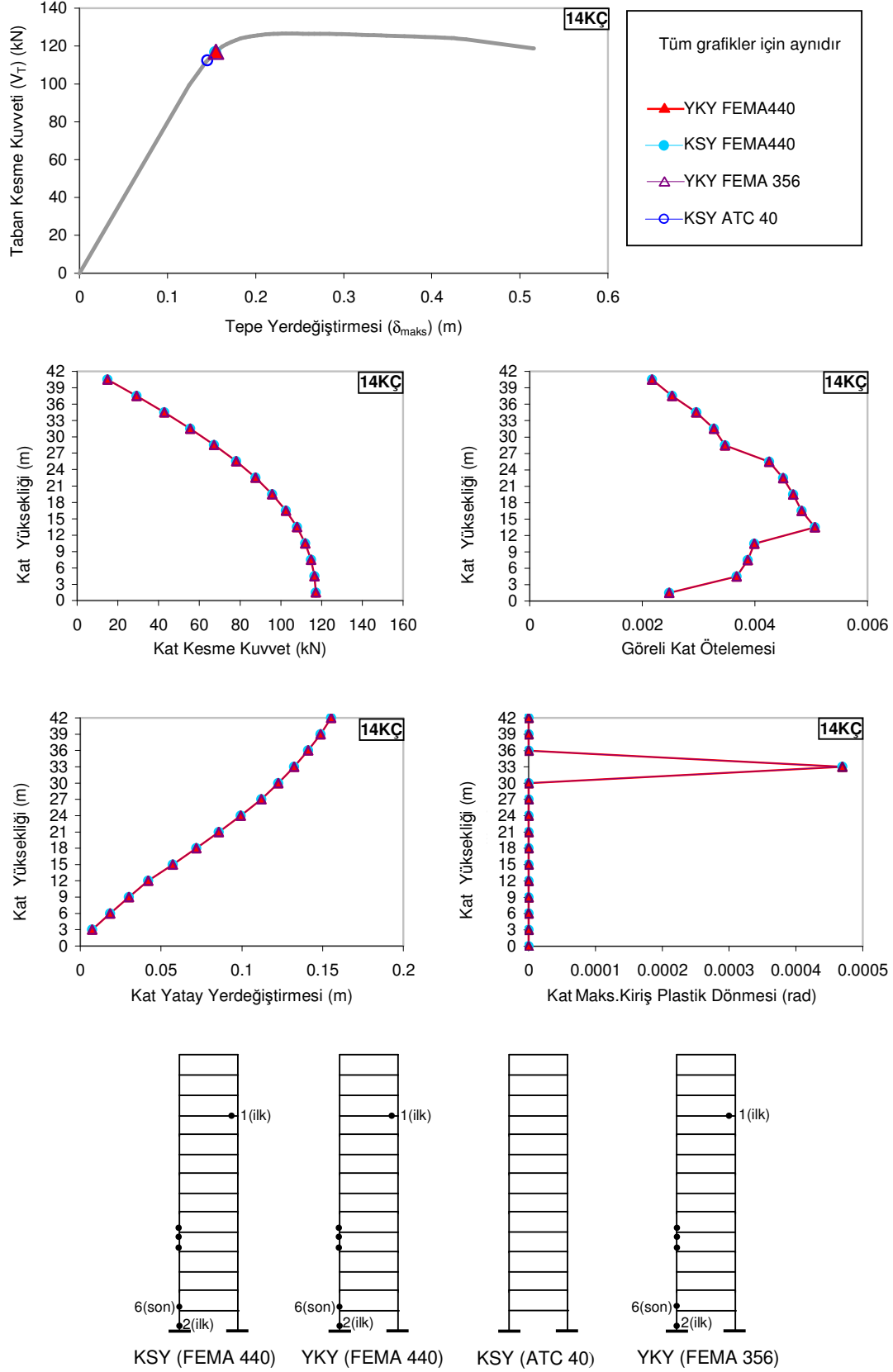
Şekil 6.4 8KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları



Şekil 6.5 10KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları

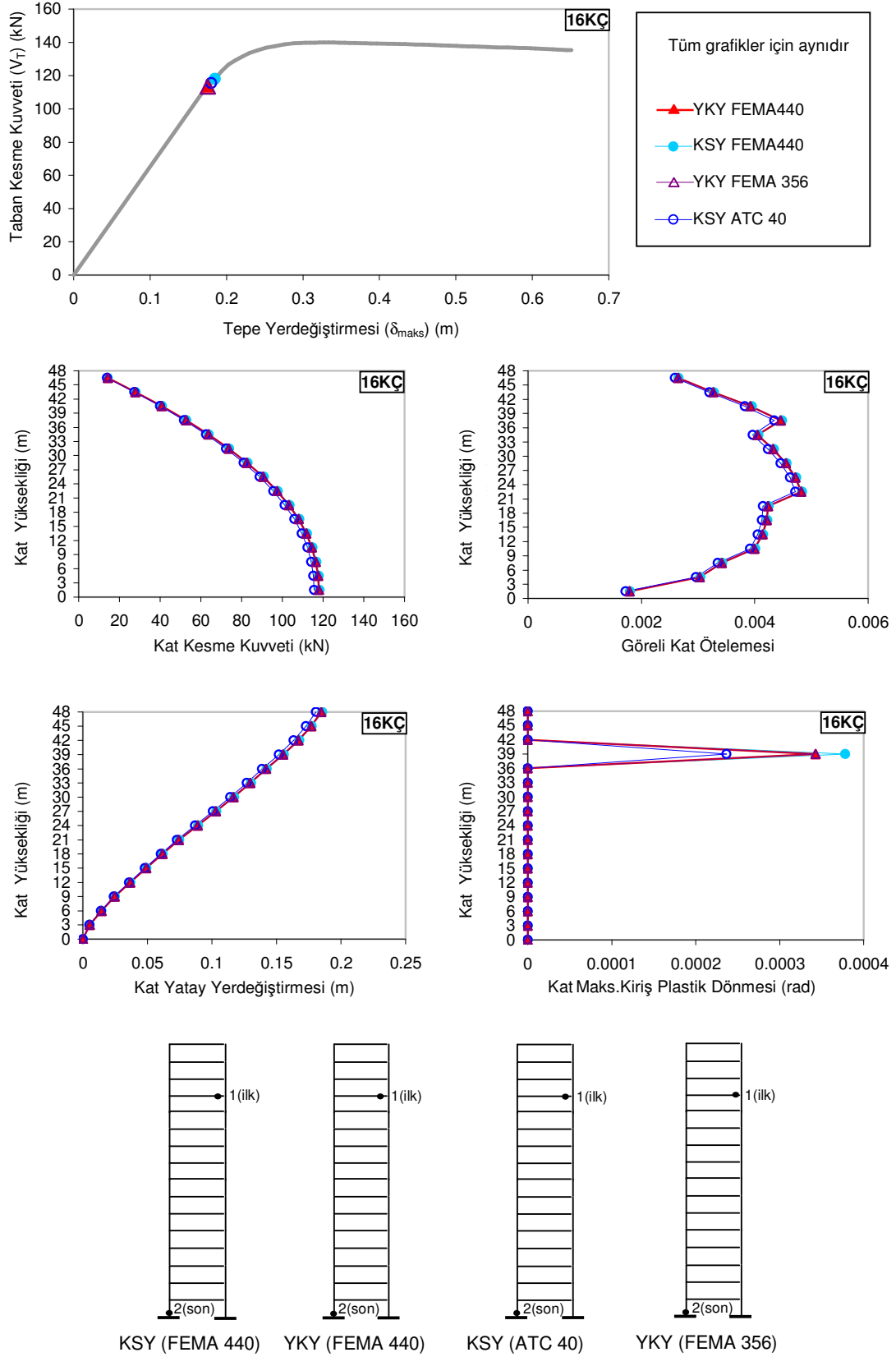


şekil 6.6 12KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları



Şekil 6.7 14KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları

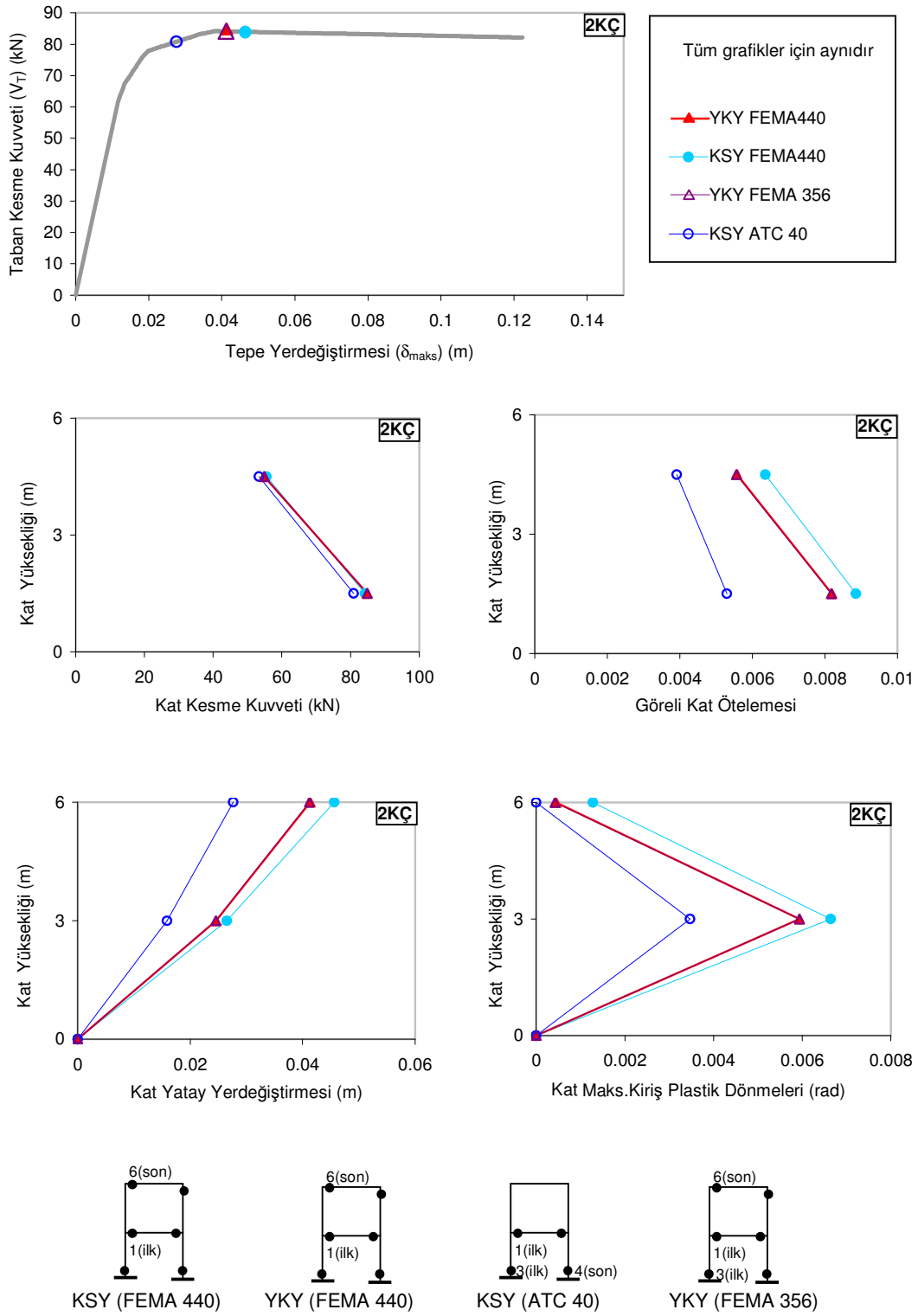




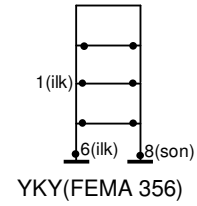
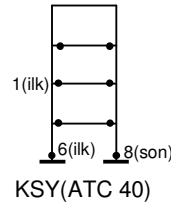
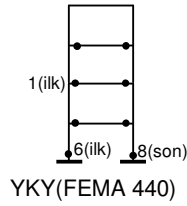
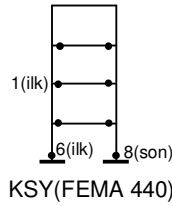
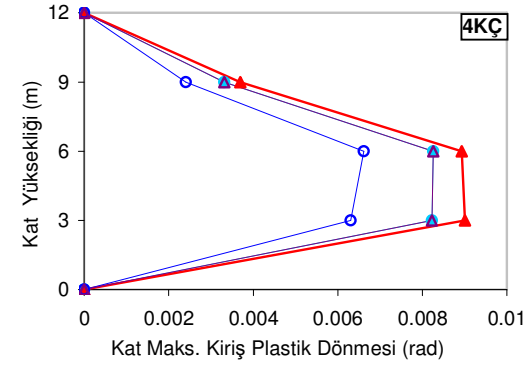
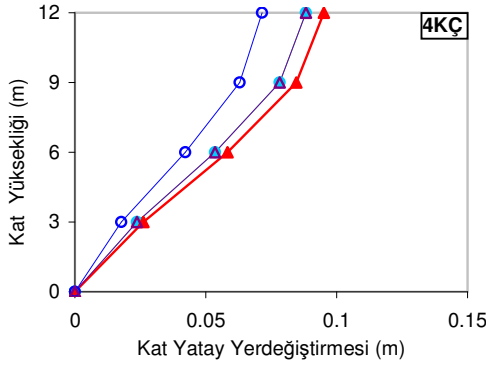
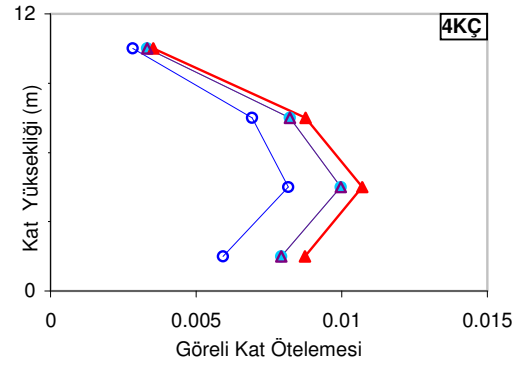
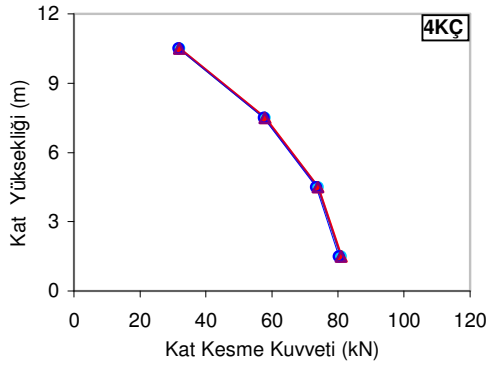
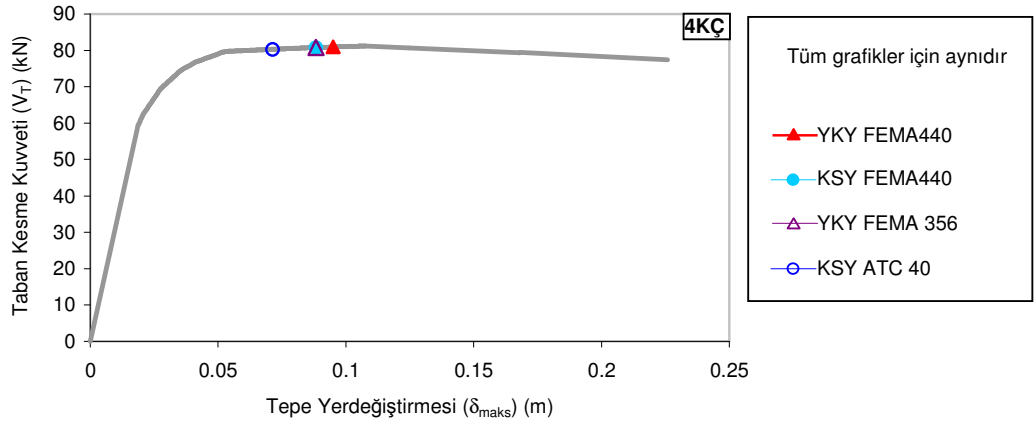
Şekil 6.8 16KÇ'nin 1.mod dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları

Çizelge 6.1 Binaların 1.mod dağılımına ait D1 deprem seviyesi ( $S_{amax}=0.532g$ ) için KSY ve YKY'nin karşılaştırılması

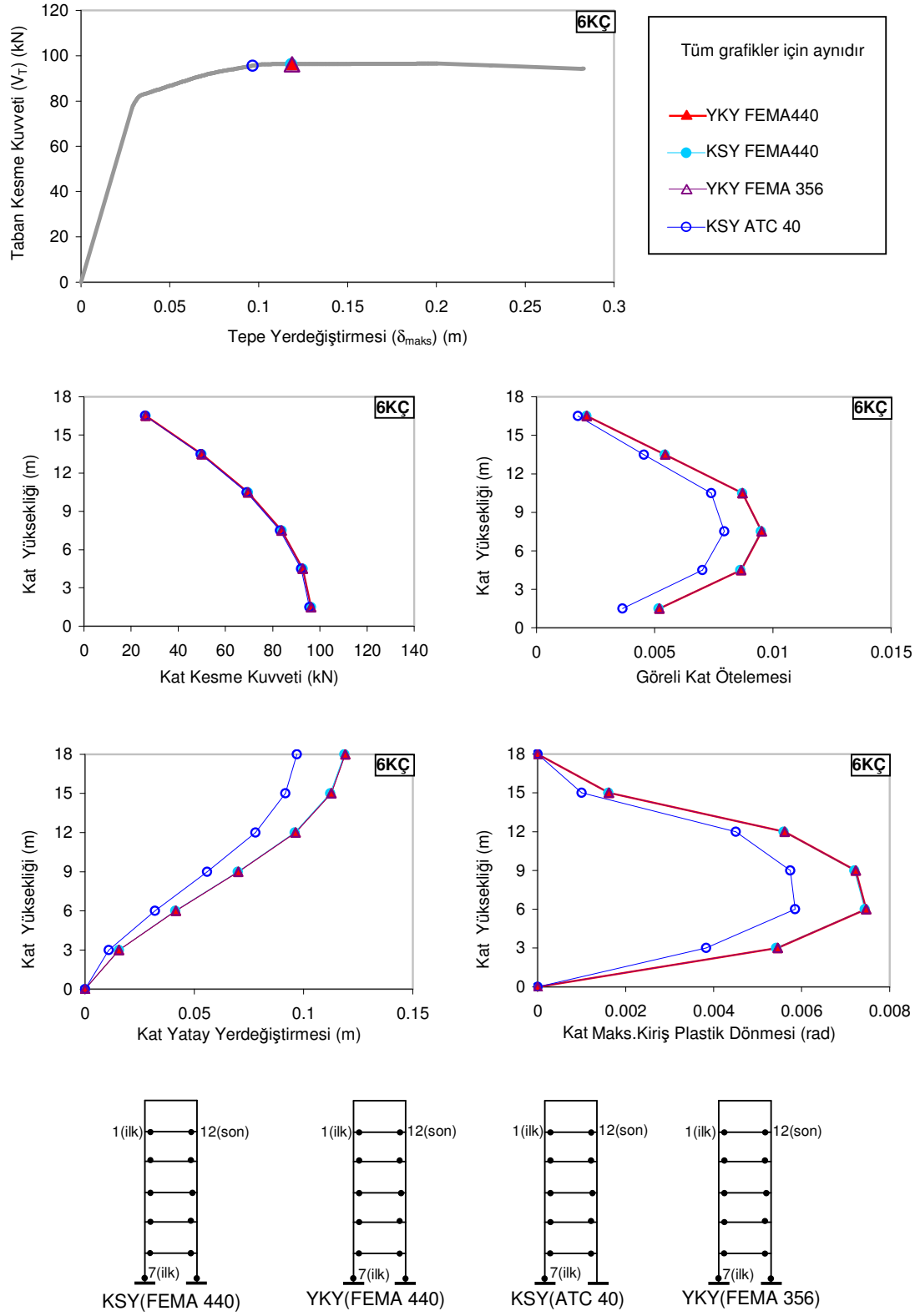
Bina	Karşılaştırma Parametreleri	YKY FEMA440 (1)	YKY FEMA356 (2)	KSY FEMA440 (3)	KSY ATC40 (4)	YKY FEMA 440'a göre Rölatif Fark		
						(2)-(1) (1) (%)	(3)-(1) (1) (%)	(4)-(1) (1) (%)
2 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.018	0.018	0.017	0.014	-1.103	-5.648	-20.537
	Dayanım Talebi	75.689	75.114	74.485	69.177	-0.760	-2.341	-8.604
	Maks.Plastik Dönme	0.0017	0.0017	0.0016	0.0008	0.000	-9.827	-51.908
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	0.322	0.317	0.310	0.258	-0.159	-0.154	-19.944
4 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.043	0.041	0.040	0.032	-4.539	-8.525	-25.576
	Dayanım Talebi	77.364	76.847	76.207	72.554	-0.668	-1.496	-6.217
	Maks.Plastik Dönme	0.0037	0.0034	0.0033	0.0021	-8.108	-10.811	-43.243
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	0.513	0.491	0.471	0.355	-0.276	-8.163	-30.781
6 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.058	0.056	0.055	0.043	-2.157	-4.713	-25.739
	Dayanım Talebi	88.575	88.237	87.890	84.833	-0.382	-0.773	-4.225
	Maks.Plastik Dönme	0.0027	0.0026	0.0025	0.0014	-3.704	-7.407	-48.148
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	0.463	0.450	0.438	0.322	-2.784	-5.569	-30.585
8 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.078	0.078	0.076	0.060	0.000	-2.452	-22.374
	Dayanım Talebi	89.583	89.583	89.379	87.090	0.000	-0.228	-2.783
	Maks.Plastik Dönme	0.0033	0.0033	0.0031	0.0019	0.000	-6.061	-42.424
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	0.496	0.496	0.481	0.365	0.000	-2.947	-26.297
10 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.105	0.105	0.105	0.088	0.000	-0.171	-16.590
	Dayanım Talebi	99.088	99.088	99.076	97.369	0.000	-0.012	-1.735
	Maks.Plastik Dönme	0.0025	0.0025	0.0025	0.0012	0.000	0.000	-52.000
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	0.497	0.497	0.497	0.389	0.000	0.000	-21.715
12 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.133	0.133	0.131	0.116	0.000	-0.808	-12.264
	Dayanım Talebi	102.893	102.893	102.824	100.523	0.000	-0.067	-2.303
	Maks.Plastik Dönme	0.0029	0.0029	0.0028	0.0017	0.000	-3.448	-41.379
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	0.548	0.548	0.538	0.420	0.000	-1.806	-23.436
14 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.155	0.155	0.154	0.145	0.000	-0.490	-6.406
	Dayanım Talebi	117.026	117.026	116.701	112.380	0.000	-0.278	-3.970
	Maks.Plastik Dönme	0.0013	0.0013	0.0005	---	0.000	-61.538	---
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	0.507	0.507	0.507	---	0.000	0.000	---
16 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.184	0.184	0.185	0.180	0.000	0.358	-2.360
	Dayanım Talebi	117.706	117.706	118.060	115.486	0.000	0.301	-1.886
	Maks.Plastik Dönme	0.0003	0.0003	0.0004	0.0002	0.000	33.333	-33.333
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	0.481	0.481	0.483	0.472	0.000	0.374	-2.015



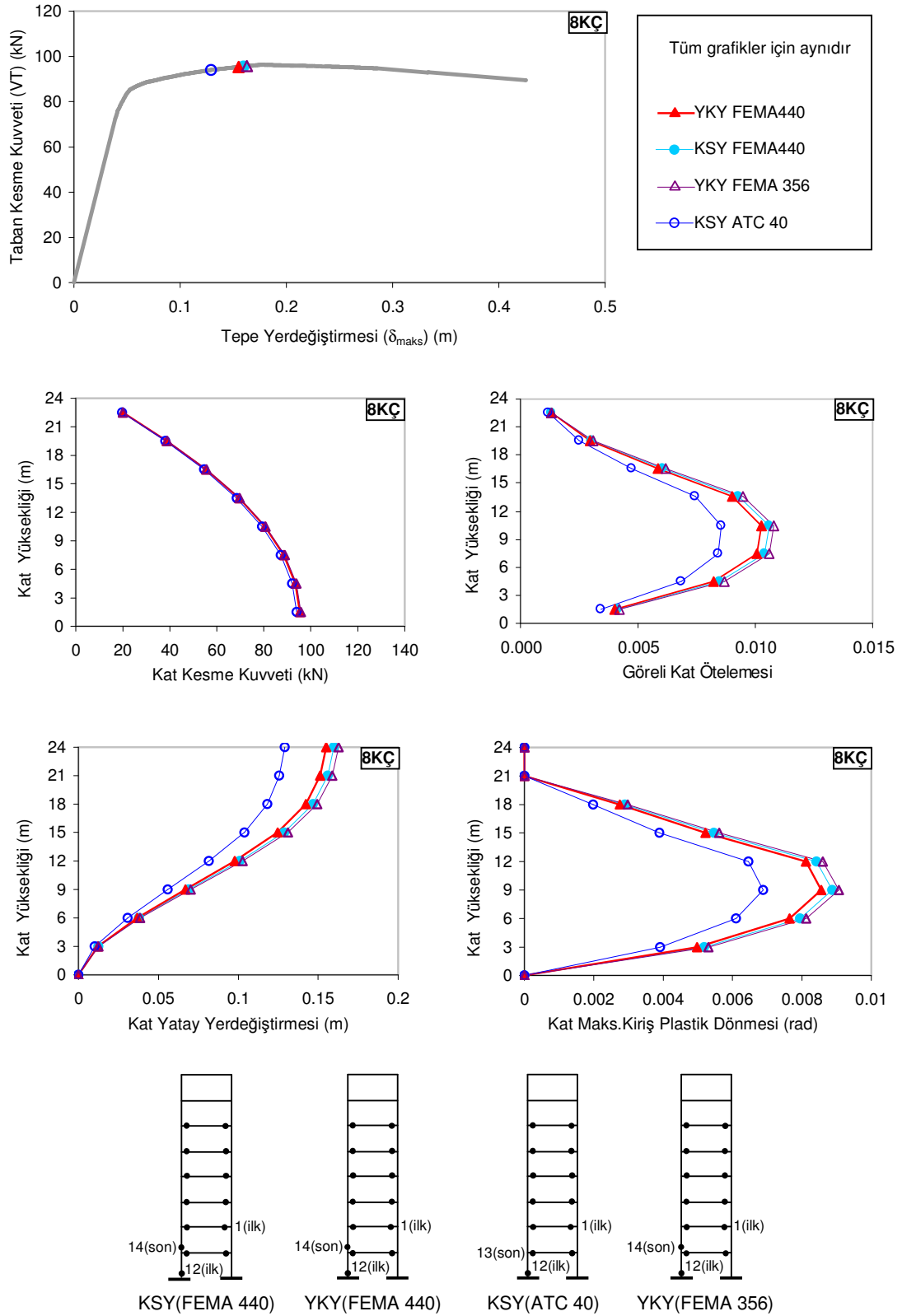
Şekil 6.9 2KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları



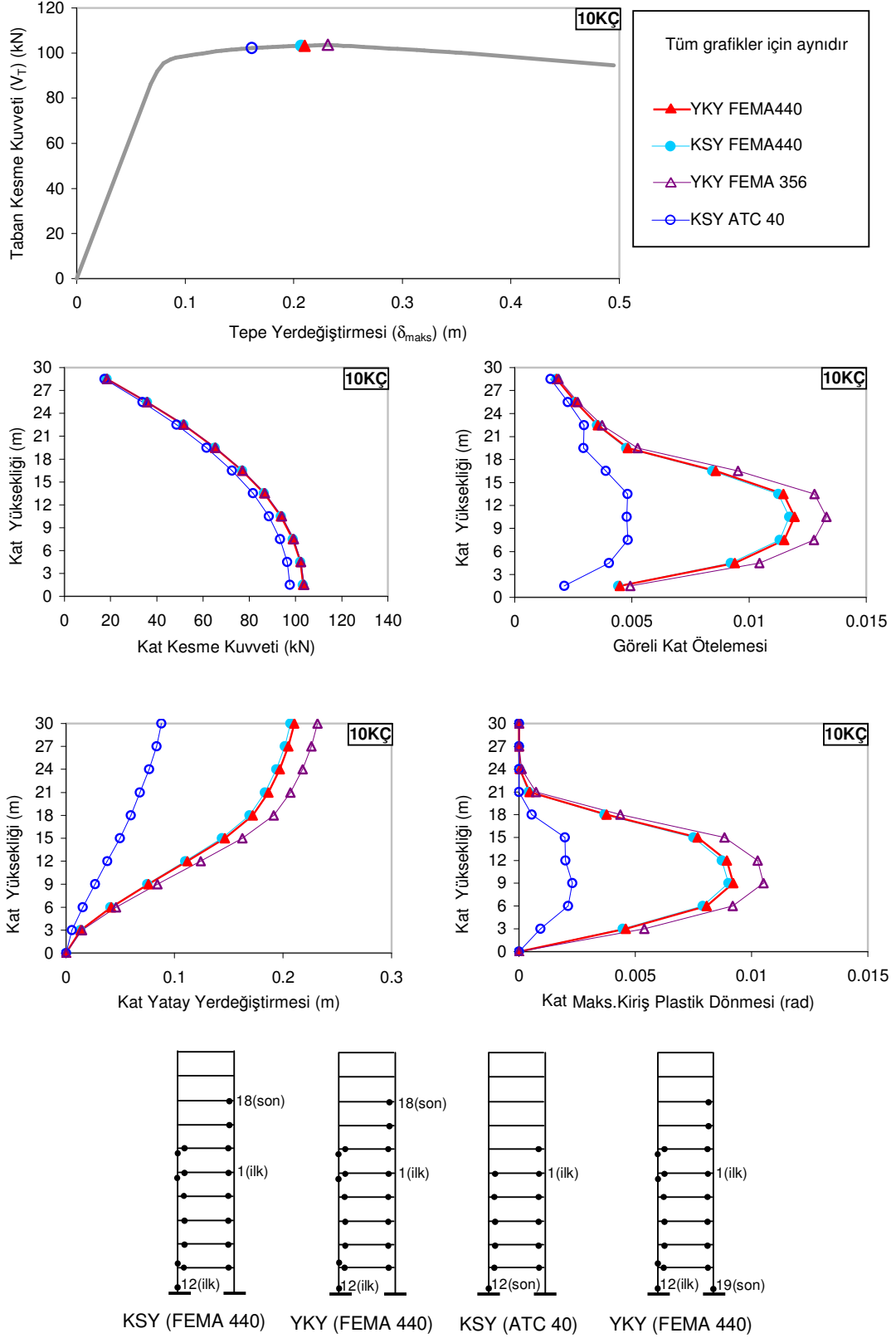
Şekil 6.10 4KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları



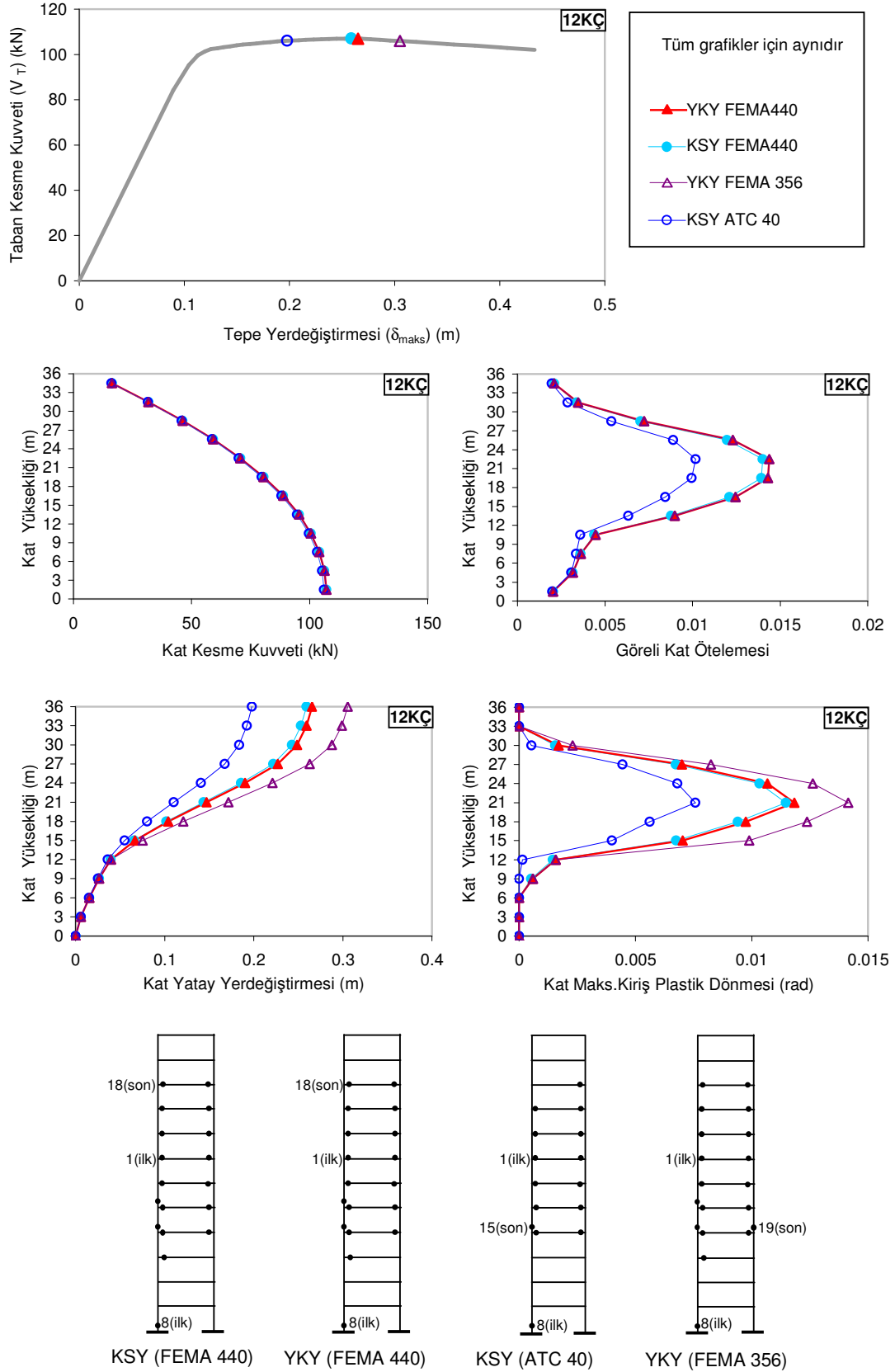
Şekil 6.11 6KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları



şekil 6.12 8KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları

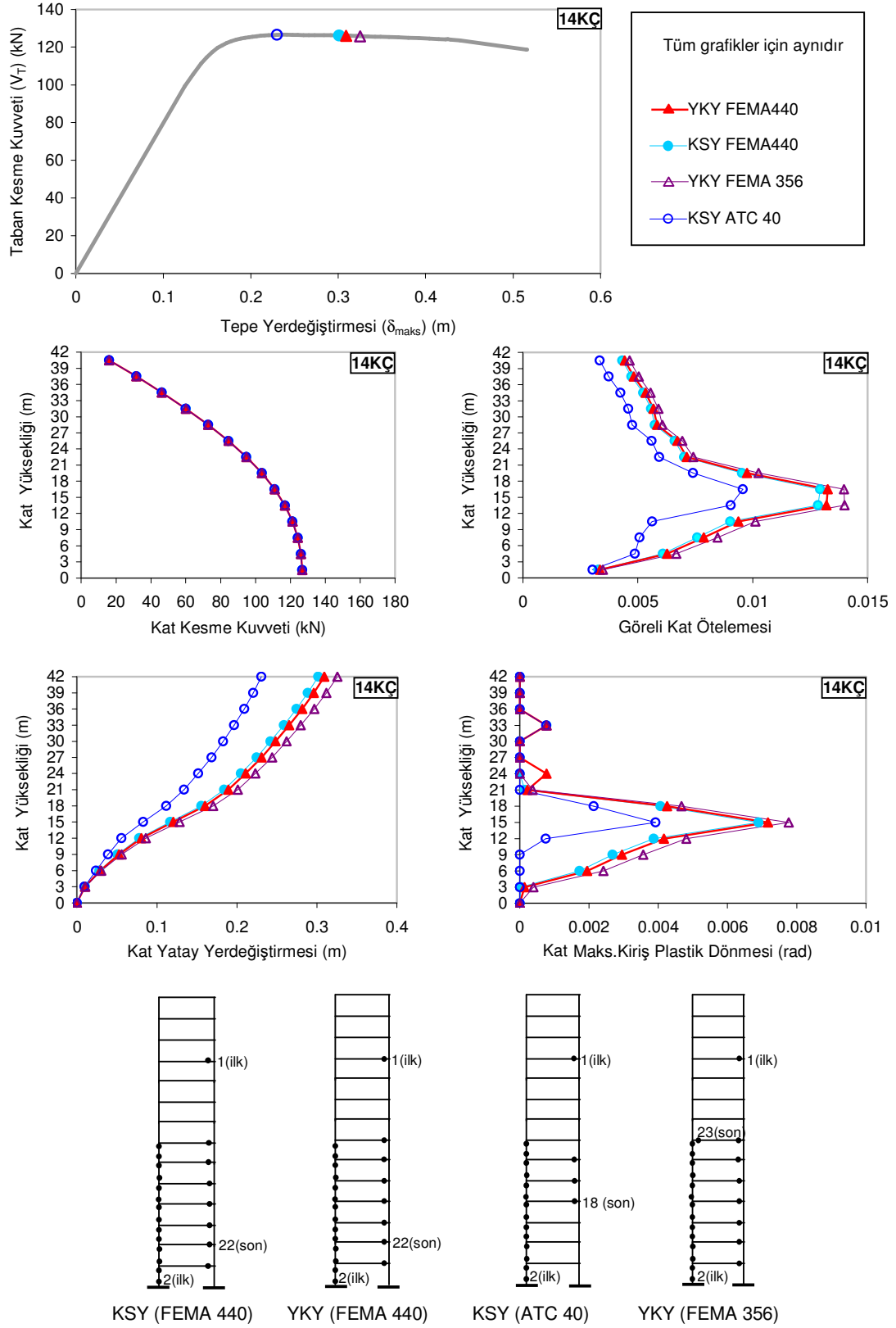


Şekil 6.13 10KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları

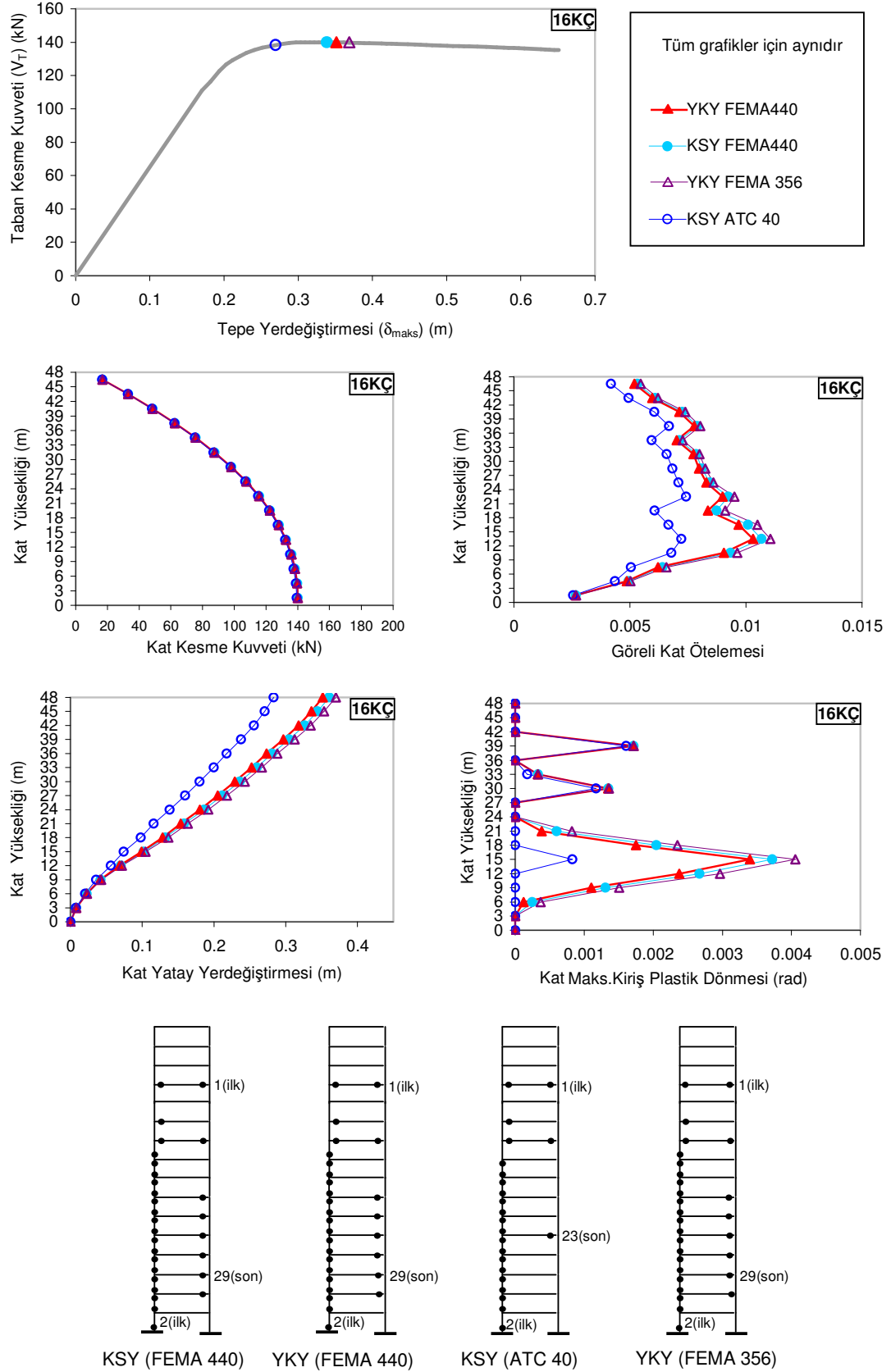


Şekil 6.14 12KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları





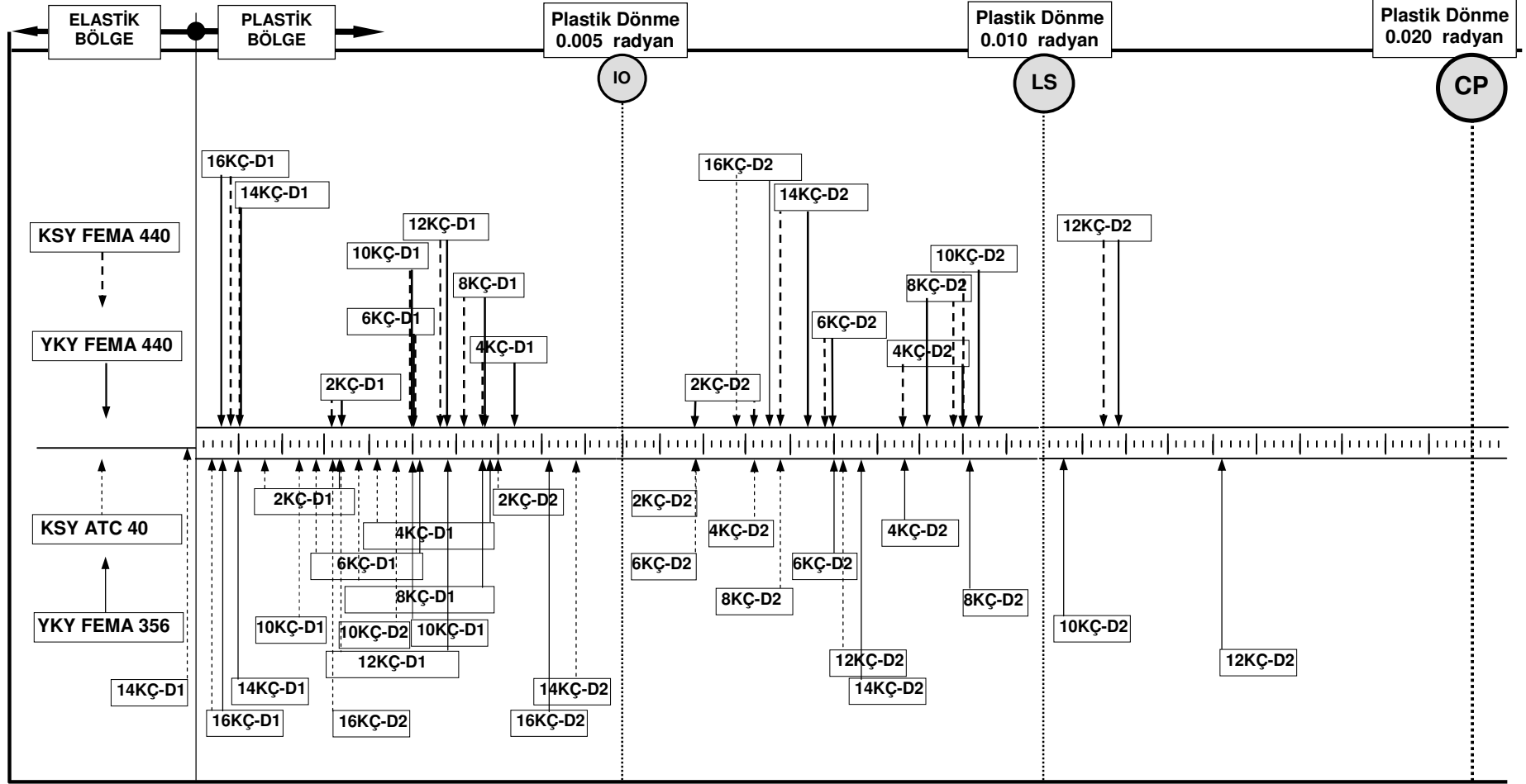
Şekil 6.15 14KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları



Şekil 6.16 16KÇ'nin 1.mod dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları

Çizelge 6.2 Binaların 1. mod dağılımına ait D2 deprem seviyesi ( $S_{maks}=1.064g$ ) için KSY ve YKY'nin karşılaştırılması

Bina	Karşılaştırma Parametreleri	YKY FEMA440 (1)	YKY FEMA356 (2)	KSY FEMA440 (3)	KSY ATC40 (4)	YKY FEMA 440'a göre Rölatif Fark		
						(2)-(1) (1) (%)	(3)-(1) (1) (%)	(4)-(1) (1) (%)
2 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.041	0.041	0.046	0.028	-0.280	10.462	-33.120
	Dayanım Talebi	84.148	83.230	83.853	80.834	0.000	-0.741	-4.715
	Maks.Plastik Dönme	0.0053	0.0047	0.0066	0.0035	0.000	7.207	-41.018
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	0.751	0.681	0.885	0.530	-0.236	7.998	-35.341
4 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.095	0.088	0.088	0.071	-7.105	-7.137	-24.895
	Dayanım Talebi	80.980	80.846	80.782	80.290	-0.165	-0.245	-0.852
	Maks.Plastik Dönme	0.009	0.0083	0.0083	0.0066	-7.778	-7.778	-26.667
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	1.071	0.997	0.997	0.816	-6.928	-6.928	-23.782
6 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.119	0.119	0.118	0.097	0.000	-0.622	-18.840
	Dayanım Talebi	96.254	96.254	96.253	95.517	0.000	-0.001	-0.766
	Maks.Plastik Dönme	0.0075	0.0075	0.0074	0.0059	0.000	-1.333	-21.333
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	0.953	0.953	0.950	0.795	0.000	-0.336	-16.563
8 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.155	0.163	0.160	0.129	5.006	3.039	-16.710
	Dayanım Talebi	95.346	95.724	95.576	93.989	0.396	0.241	-1.423
	Maks.Plastik Dönme	0.0086	0.0091	0.0089	0.0069	5.814	3.488	-19.767
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	1.029	1.081	1.062	0.856	5.042	3.167	-16.825
10 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.210	0.231	0.207	0.161	10.195	-1.486	-23.157
	Dayanım Talebi	103.265	103.642	103.205	102.185	0.365	-0.058	-1.046
	Maks.Plastik Dönme	0.0092	0.0105	0.009	0.0023	14.130	-2.174	-75.000
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	1.193	1.330	1.172	0.482	11.421	-1.818	-59.636
12 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.265	0.305	0.259	0.198	14.991	-2.394	-25.484
	Dayanım Talebi	107.012	105.989	107.039	106.091	-0.956	0.025	-0.861
	Maks.Plastik Dönme	0.0118	0.0142	0.0115	0.0076	20.339	-2.542	-35.593
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	1.437	1.654	1.400	1.017	15.121	-2.561	-29.239
14 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.309	0.325	0.301	0.230	5.197	-2.563	-25.592
	Dayanım Talebi	126.068	125.840	126.167	126.608	-0.181	0.079	0.428
	Maks.Plastik Dönme	0.0083	0.0089	0.0069	0.0048	7.229	-16.867	-42.169
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	1.326	1.397	1.294	0.957	5.315	-2.450	-27.827
16 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.351	0.369	0.360	0.283	4.998	2.470	-19.488
	Dayanım Talebi	139.850	139.648	139.746	139.171	-0.144	-0.074	-0.486
	Maks.Plastik Dönme	0.0064	0.0071	0.0068	0.0036	10.938	6.250	-43.750
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	1.029	1.105	1.067	0.721	7.325	3.633	-29.940



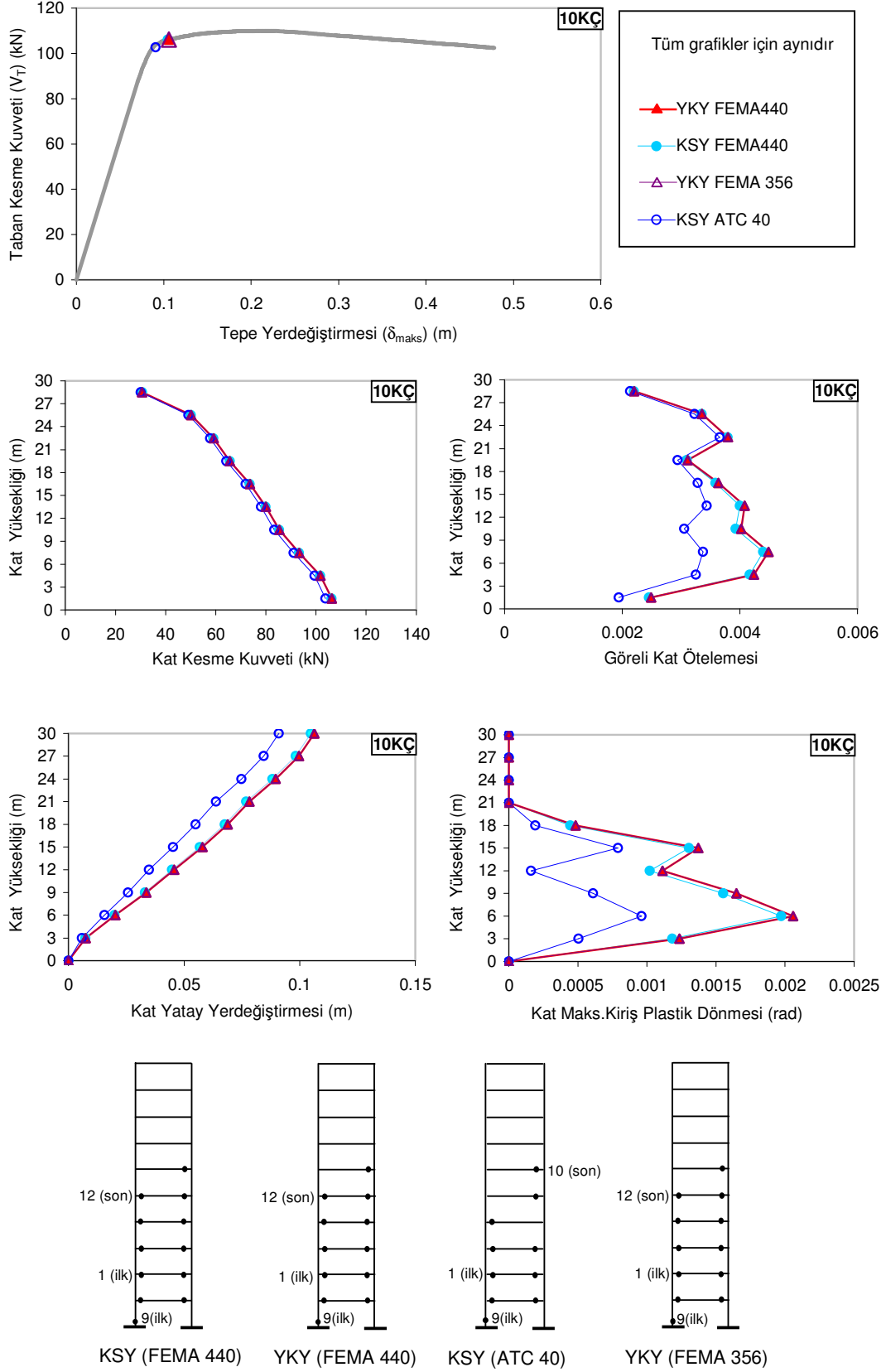
Şekil 6.17 Binaların 1. mod dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için KSY ve YKY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri

### **6.1.2 Binaların SRSS Atalet Kuvveti Dağılımı için YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40, KSY FEMA 440 ve YKY FEMA 356 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması**

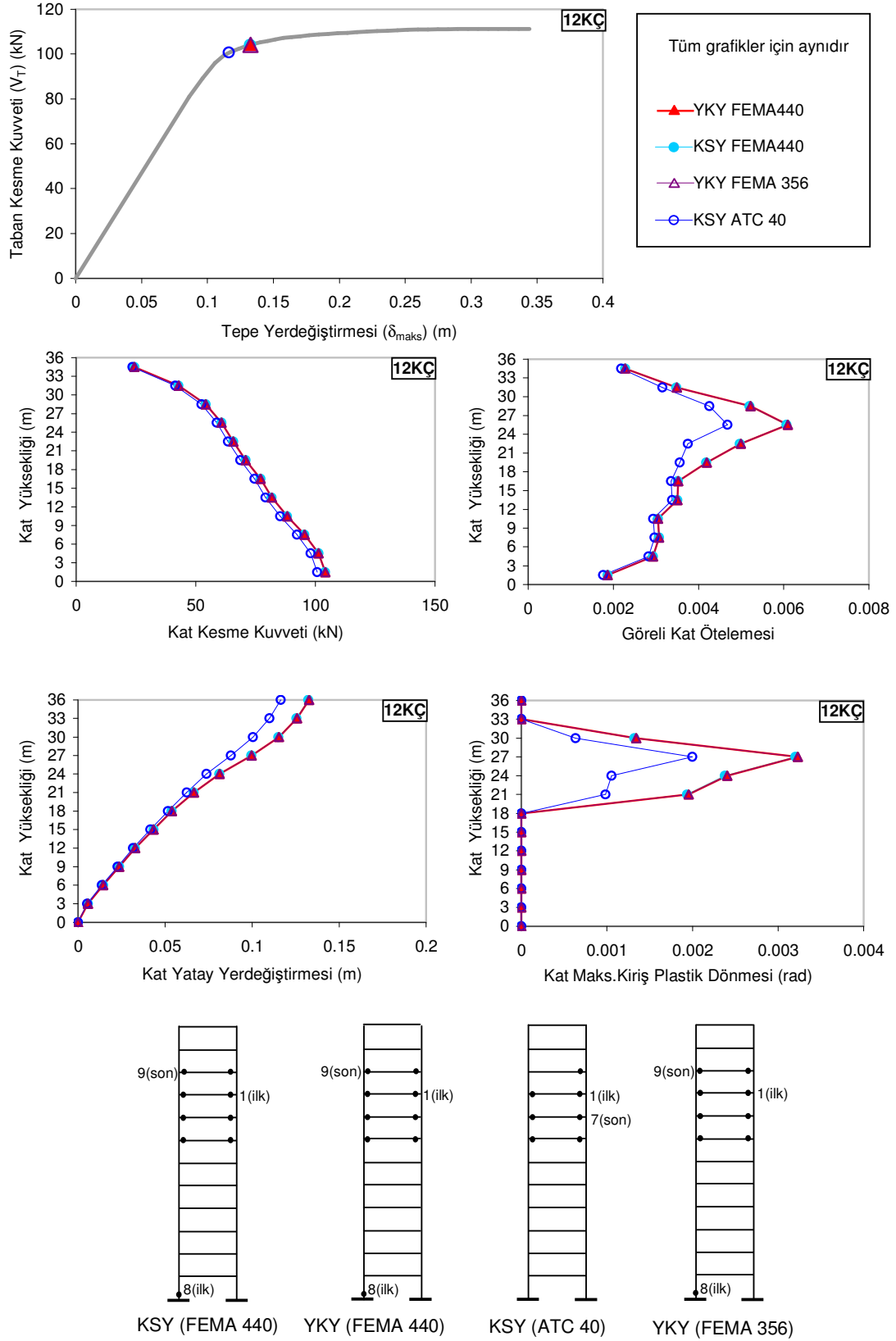
Doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden KSY ve YKY'nin karşılaştırılmasında 1. moda ait titreşim periyodu 1.00 sn'yi geçen yüksek modların etkin olduğu betonarme binalar (10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) için 1. mod dağılımlarının yanısıra çok modun gözönüne alındığı üst katlardaki hasar durumunu daha iyi temsil edeceği düşünülen SRSS atalet kuvveti dağılımlarına göre de analizler yapılmıştır. İncelenen betonarme çerçeve binaların Çizelge 5.10'da verilen SRSS atalet kuvveti dağılımı kullanılarak doğrusal elastik olmayan statik analiz yöntemlerinden KSY ve YKY ile elde edilen analiz sonuçları çeşitli parametrelerle karşılaştırılmıştır.

Tez çalışması kapsamında incelenen betonarme çerçeve binalar doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden YKY (FEMA 356 ve FEMA 440) ve KSY (ATC 40 ve FEMA 440) ile belirlenen maksimum yerdeğiştirme taleplerine kadar itilerek karşılaştırılacak olan parametreler (Yerdeğiştirme, dayanım talepleri, kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, kat yatay yerdeğiştirmeleri, maksimum kiriş plastik dönmeleri, plastik kesit dağılımı) D1 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=0.532g$ ) için Şekil 6.18-6.21'de D2 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=1.064g$ ) için Şekil 6.22-6.25'de verilmiştir.

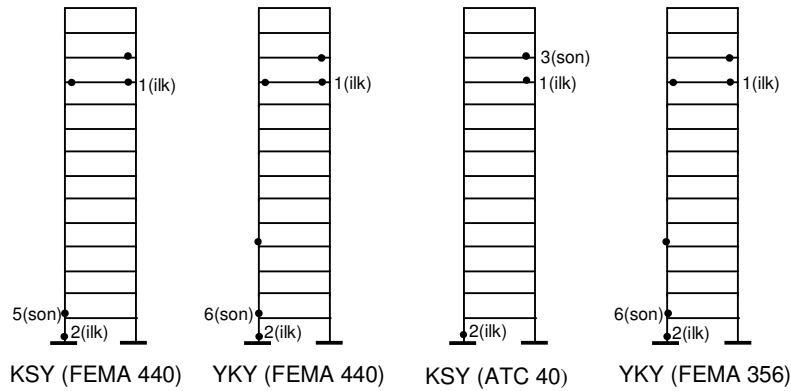
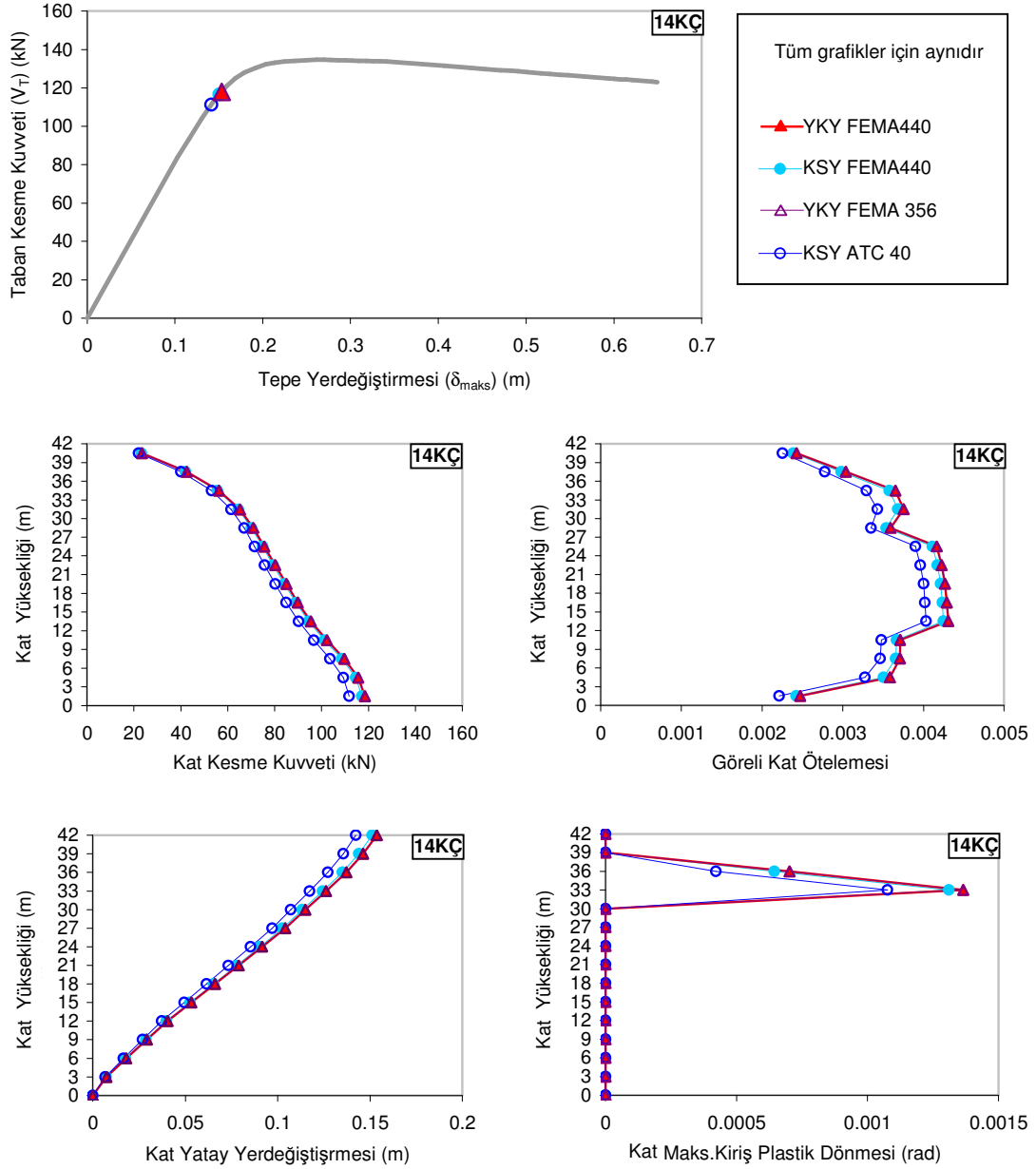
D1 ve D2 deprem seviyeleri için maksimum yerdeğiştirme talebine ( $\delta_{maks}$ ) kadar statik olarak itilerek betonarme çerçeve binaların yerdeğiştirme ve dayanım talepleri, kiriş maksimum plastik dönme talepleri ve maksimum öteleme talepleri YKY FEMA 440 referans alınarak, YKY FEMA 356, KSY FEMA 440 ve KSY ATC 40'dan elde edilen ait değerlerin ne oranda farklı oldukları hesaplanarak, D1 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=0.532g$ ) için Çizelge 6.3'de, D2 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=1.064g$ ) için Çizelge 6.4'de verilmiştir. Ayrıca binaların KSY ve YKY ile D1 ve D2 deprem seviyeleri için belirlenen kirişlerin maksimum plastik dönme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen performans seviyeleri SRSS dağılımına göre Şekil 6.26'da ve 1. mod ve SRSS dağılımına göre Şekil 6.27'de verilmiştir.



Şekil 6.18 10KÇ'nin SRSS dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları

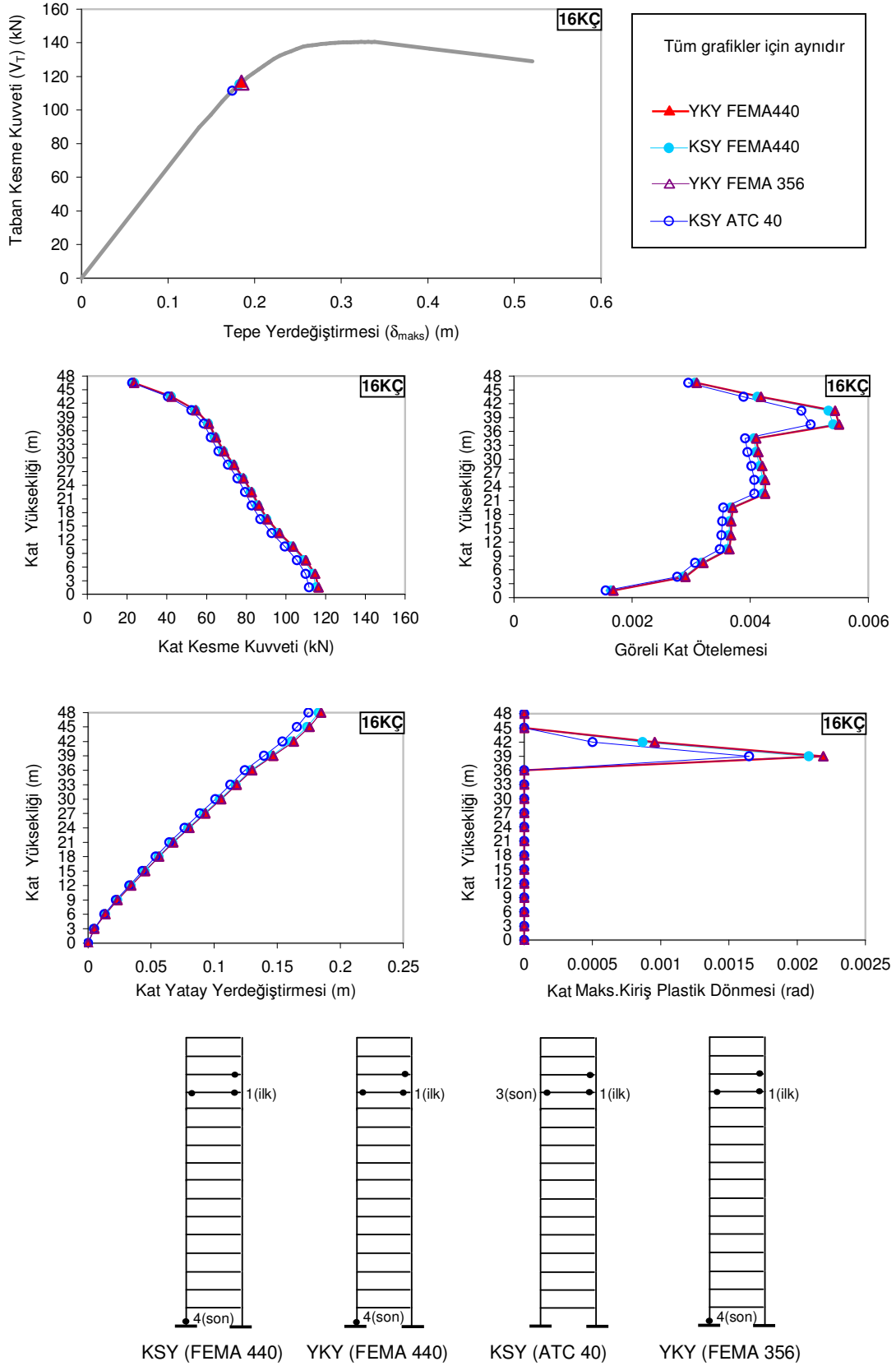


Şekil 6.19 12KÇ'nin SRSS dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları



şekil 6.20 14KÇ'nin SRSS dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları

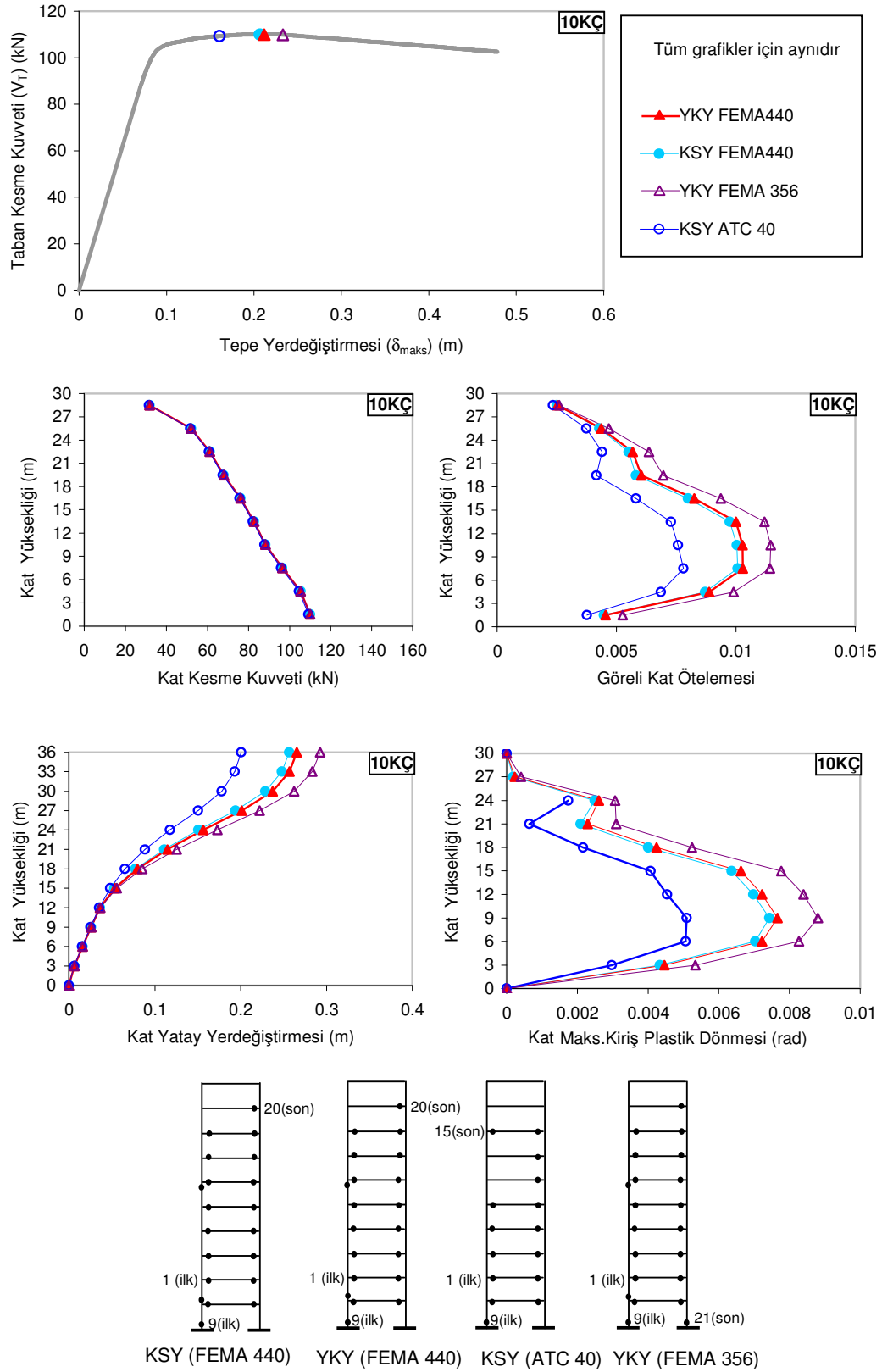




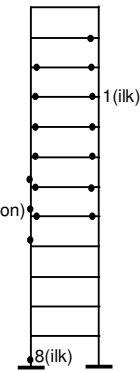
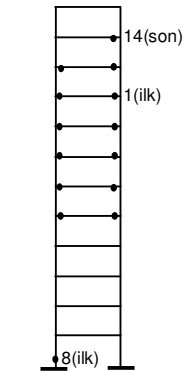
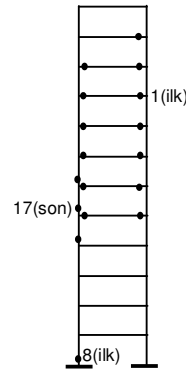
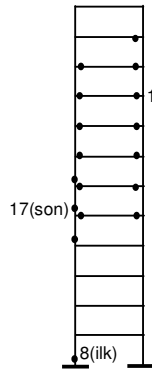
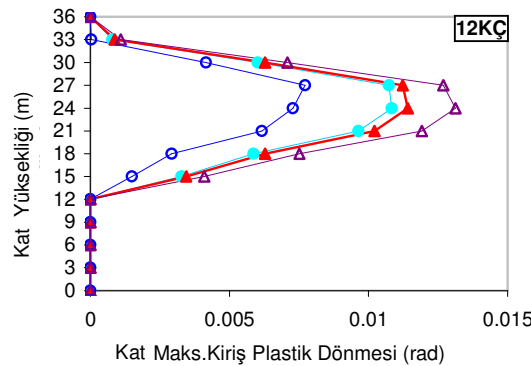
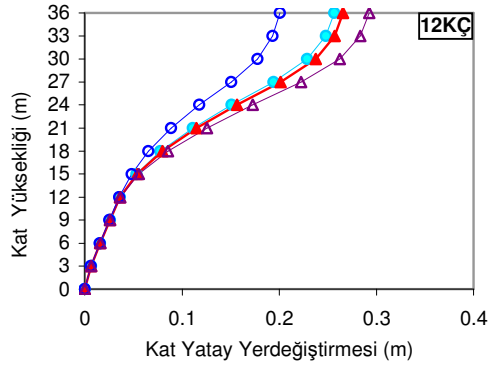
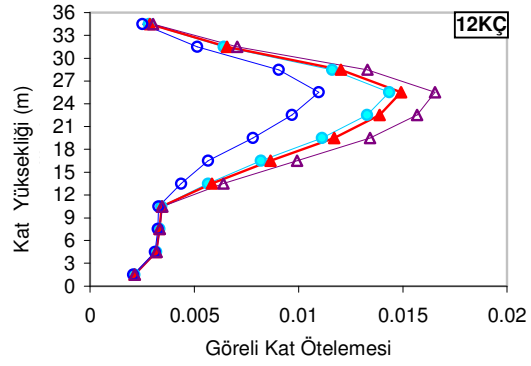
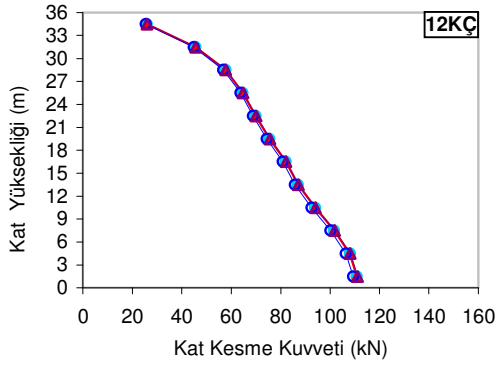
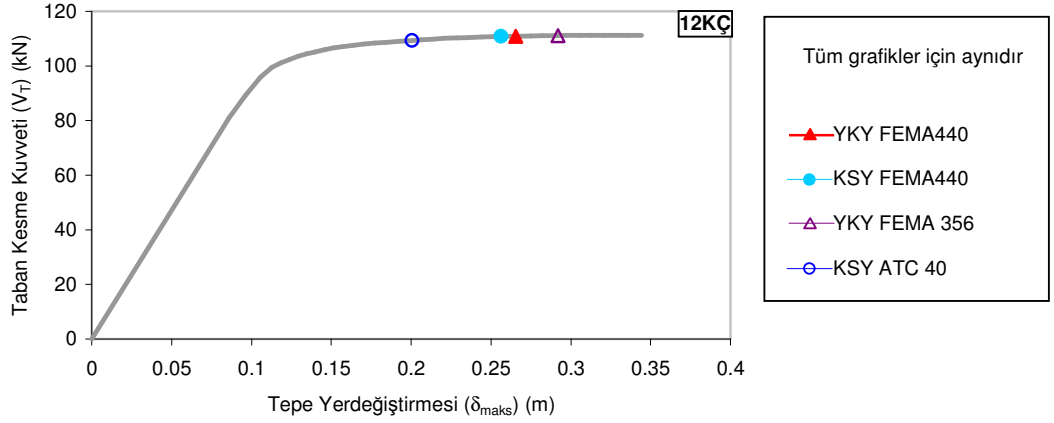
Şekil 6.21 16KÇ'nin SRSS dağılımı için D1 deprem seviyesine ait analiz sonuçları

Çizelge 6.3 Binaların SRSS dağılımına ait D1 deprem seviyesi ( $S_{maks}=0.532g$ ) için KSY ve YKY'nin karşılaştırılması

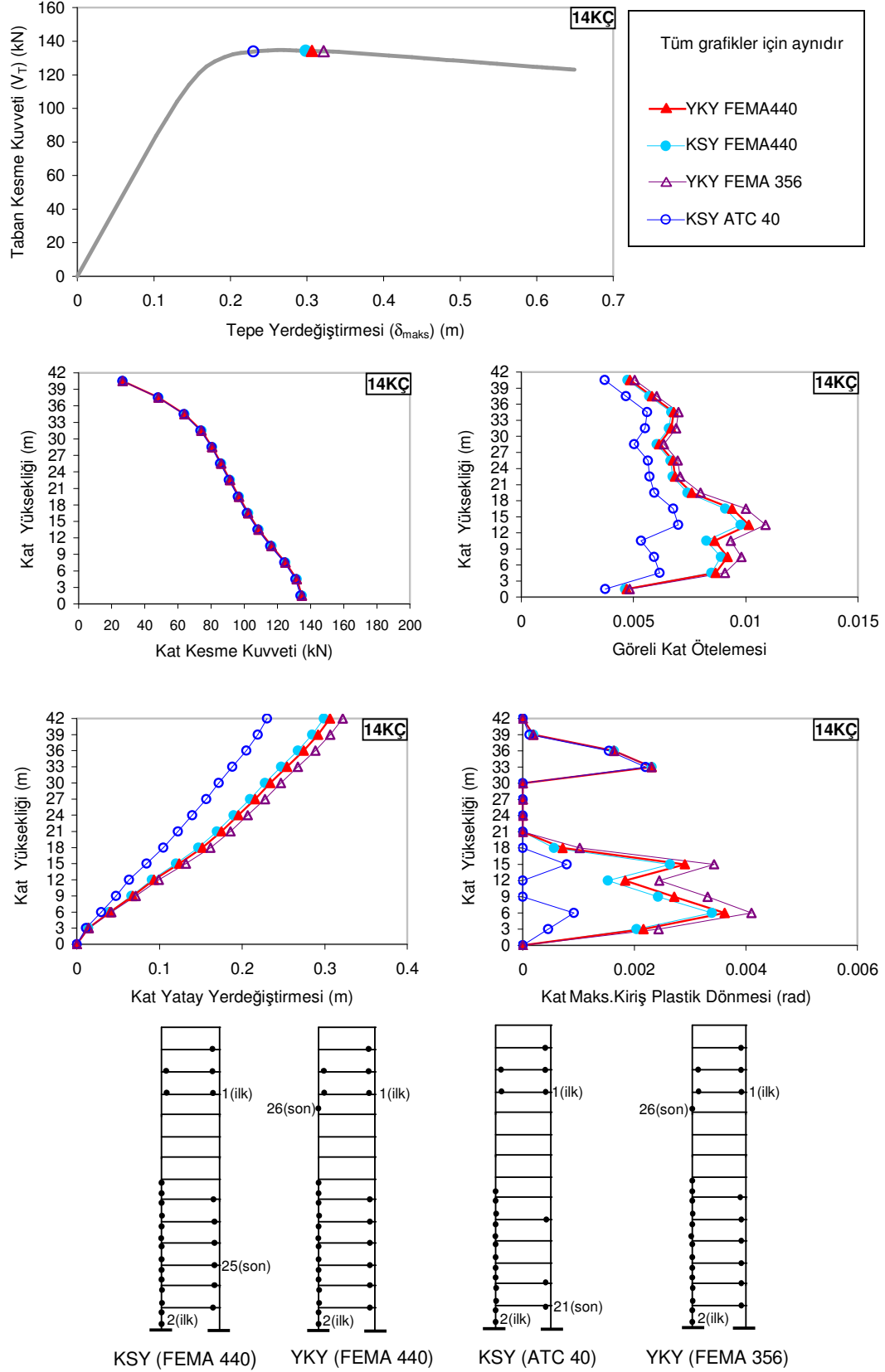
Bina	Karşılaştırma Parametreleri	YKY FEMA440 (1)	YKY FEMA356 (2)	KSY FEMA440 (3)	KSY ATC40 (4)	YKY FEMA 440'a göre Rölatif Fark		
						(2)-(1) (1) (%)	(3)-(1) (1) (%)	(4)-(1) (1) (%)
10 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.106	0.1059	0.105	0.091	0.000	-1.020	-14.438
	Dayanım Talebi	106.188	106.188	106.106	102.729	0.000	-0.077	-3.257
	Maks.Plastik Dönme	0.0021	0.0021	0.002	0.001	0.000	-4.762	-52.381
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	0.449	0.449	0.440	0.337	0.000	-2.094	-24.883
12 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.133	0.133	0.132	0.116	0.000	-0.332	-12.396
	Dayanım Talebi	104.136	104.136	104.065	100.671	0.000	-0.068	-3.327
	Maks.Plastik Dönme	0.0032	0.0032	0.0032	0.002	0.000	0.000	-37.500
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	0.610	0.610	0.607	0.468	0.000	-0.508	-23.250
14 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.153	0.153	0.151	0.142	0.000	-1.704	-7.509
	Dayanım Talebi	117.951	117.951	116.583	111.240	0.000	-1.160	-5.690
	Maks.Plastik Dönme	0.0014	0.0014	0.0013	0.0011	0.000	-7.143	-21.429
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	0.431	0.431	0.425	0.403	0.000	-1.438	-6.425
16 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.185	0.185	0.183	0.174	0.000	-1.007	-5.646
	Dayanım Talebi	116.282	116.282	115.441	111.471	0.000	-0.723	-4.137
	Maks.Plastik Dönme	0.0022	0.0022	0.0021	0.0016	0.000	-4.545	-27.273
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	0.550	0.550	0.541	0.502	0.000	-1.708	-8.706



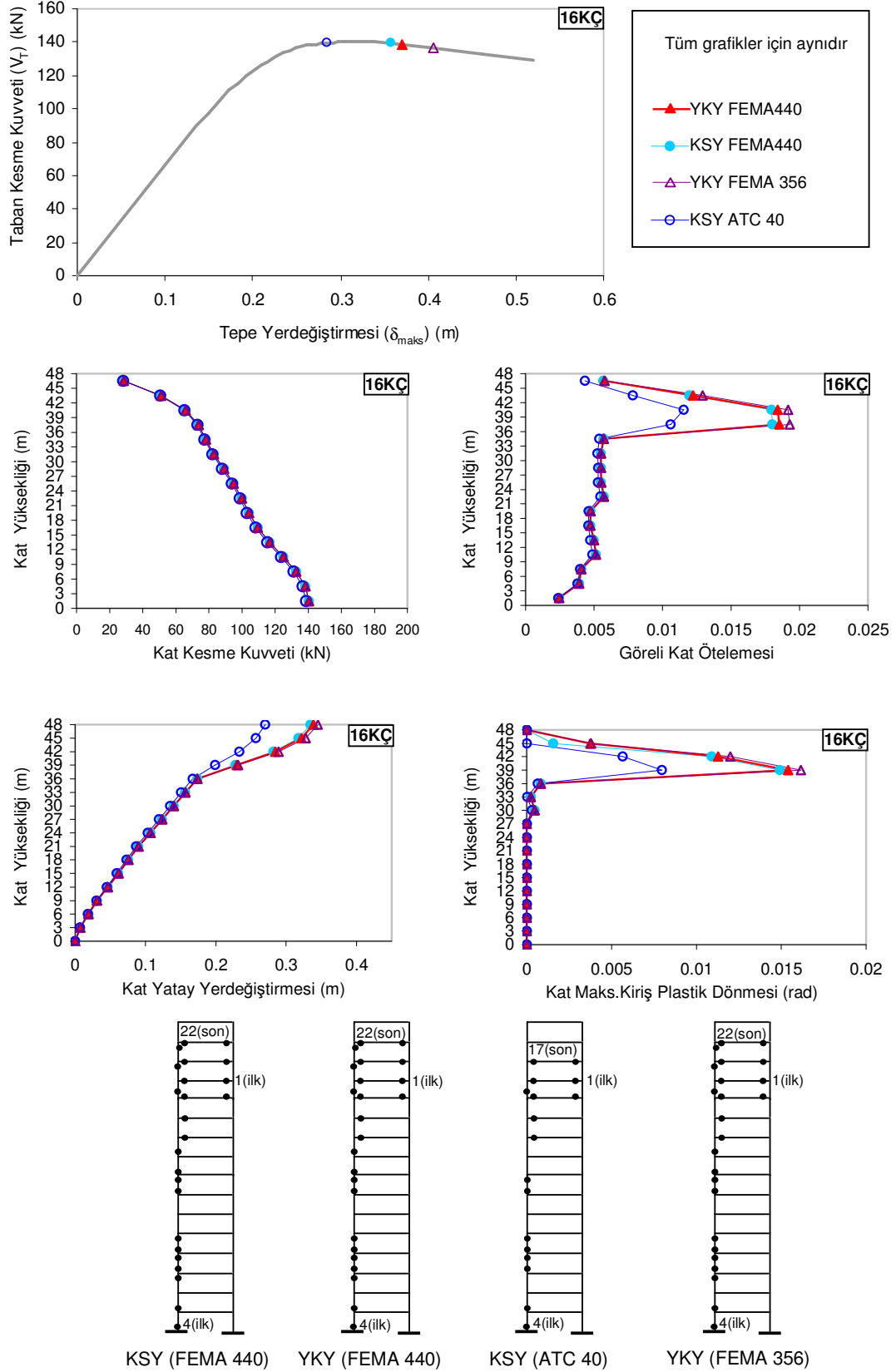
Şekil 6.22 10KÇ'nin SRSS dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları



Şekil 6.23 12KÇ'nin SRSS dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları



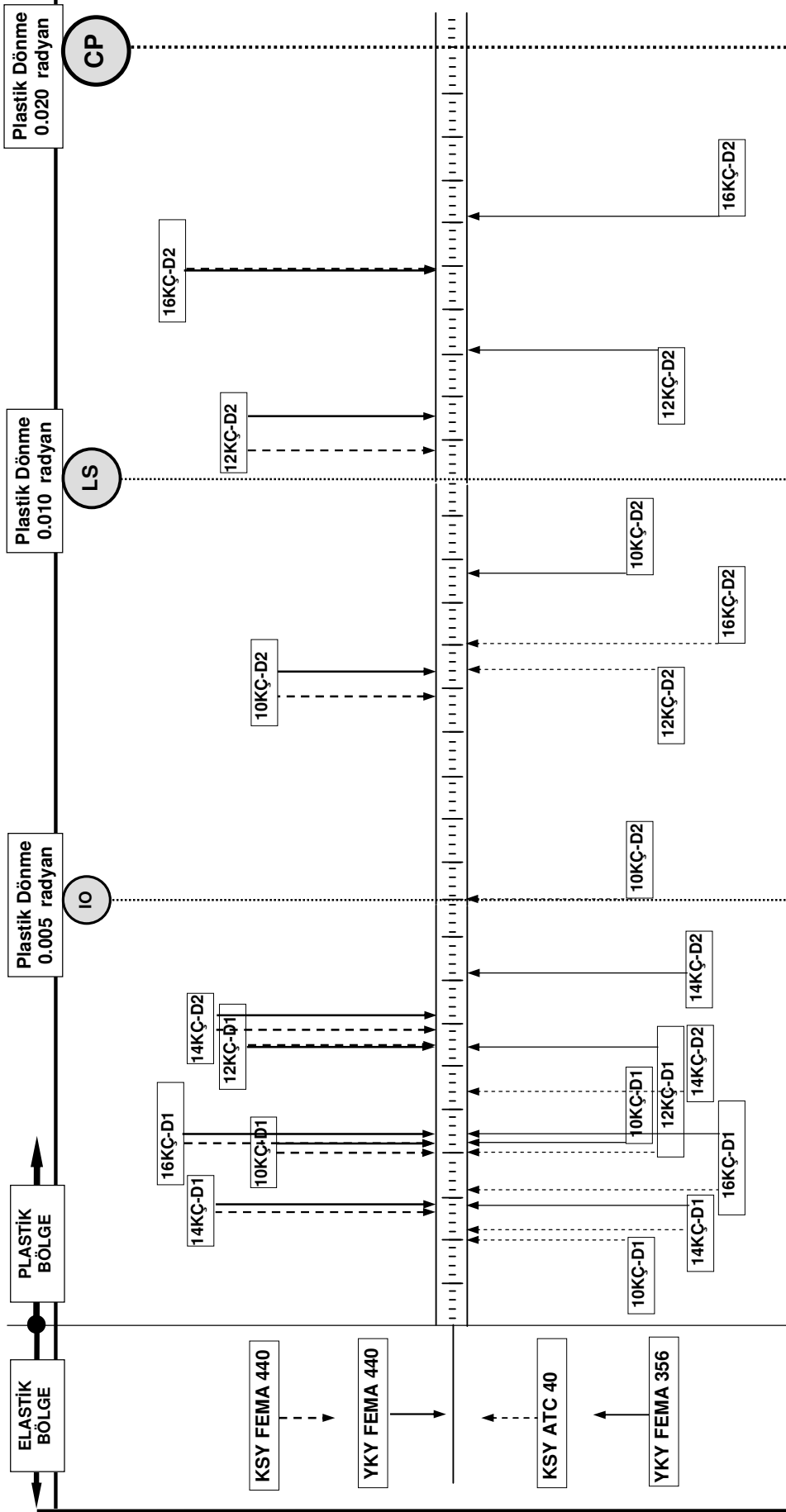
şekil 6.24 14KÇ'nin SRSS dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları



Şekil 6.25 16KÇ'nin SRSS dağılımı için D2 deprem seviyesine ait analiz sonuçları

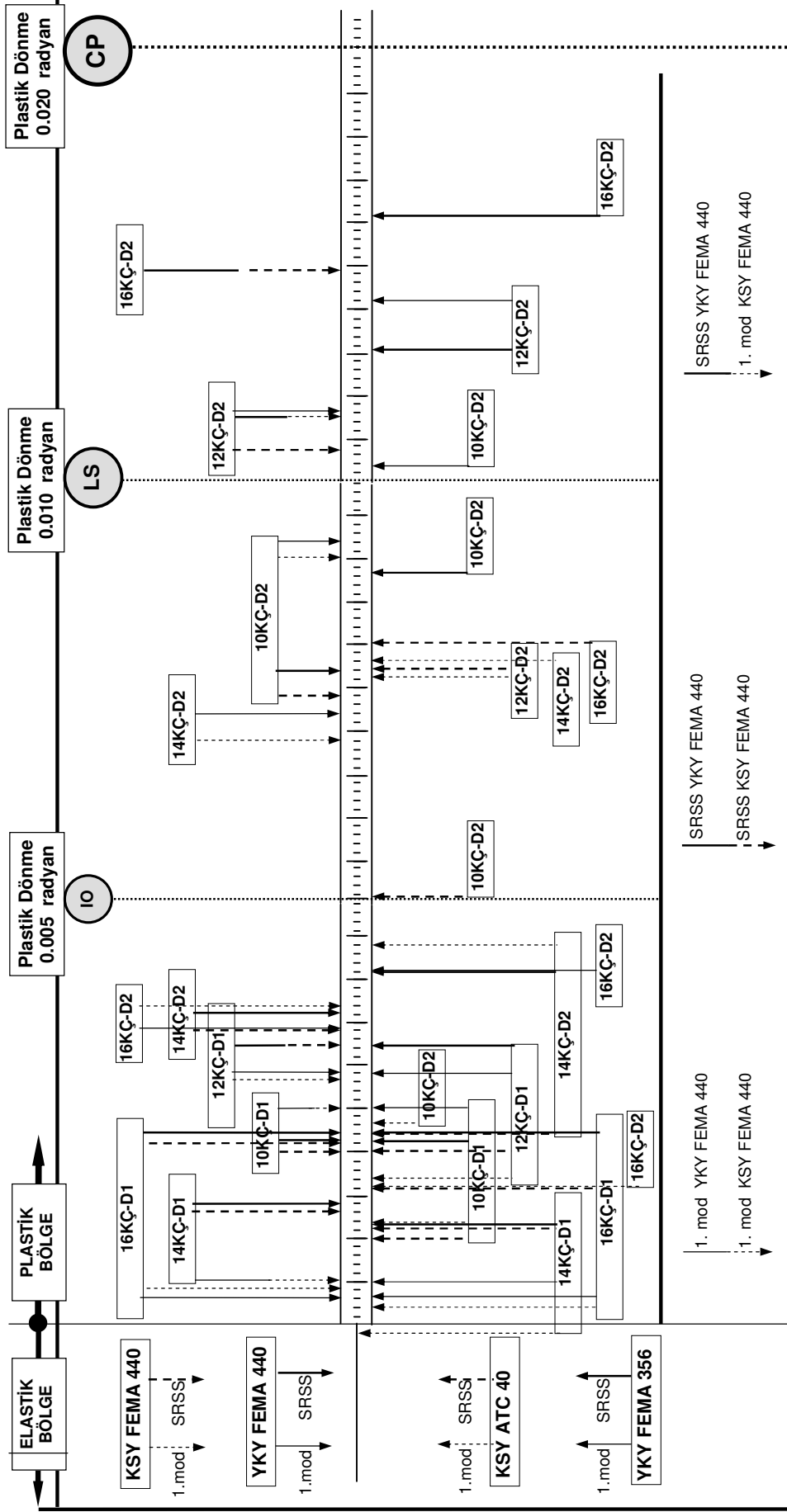
Çizelge 6.4 Binaların SRSS dağılımına ait D2 deprem seviyesi ( $S_{a_{maks}}=1.064g$ ) için KSY ve YKY'nin karşılaştırılması

Bina	Karşılaştırma Parametreleri	YKY FEMA440 (1)	YKY FEMA356 (2)	KSY FEMA440 (3)	KSY ATC40 (4)	YKY FEMA 440'a göre Rölatif Fark		
						(2)-(1) (1) (%)	(3)-(1) (1) (%)	(4)-(1) (1) (%)
10 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.2118	0.233	0.207	0.161	10.009	-2.323	-24.136
	Dayanım Talebi	109.941	109.852	109.919	109.226	-0.081	-0.020	-0.650
	Maks.Plastik Dönme	0.0077	0.0088	0.0074	0.0051	14.286	-3.896	-33.766
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	1.03	1.142	1.007	0.781	11.003	-2.109	-24.115
12 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.2655	0.292	0.256	0.200	10.011	-3.514	-24.490
	Dayanım Talebi	100.9	111.108	110.813	109.296	10.117	9.825	8.321
	Maks.Plastik Dönme	0.0114	0.0131	0.0108	0.0077	14.912	-5.263	-32.456
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	1.49	1.655	1.436	1.097	10.958	-3.715	-26.448
14 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.30643	0.322	0.298	0.230	5.003	-2.637	-24.968
	Dayanım Talebi	134.218	134.010	134.324	133.879	-0.155	0.079	-0.253
	Maks.Plastik Dönme	0.0062	0.0066	0.006	0.0037	6.452	-3.226	-40.323
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	1.01	1.088	0.977	0.699	7.298	-3.649	-31.026
16 KÇ	Yerdeğiştirme Talebi	0.36946	0.406	0.357	0.286	10.001	-3.326	-22.660
	Dayanım Talebi	138.562	136.205	139.345	139.676	-1.701	0.565	0.804
	Maks.Plastik Dönme	0.0149	0.0162	0.0149	0.008	8.725	0.000	-46.309
	Maks. Göreli Kat Ötelemesi	1.85	1.929	1.802	1.061	4.164	-2.705	-42.704



Şekil 6.26 Binaların SRSS dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için KSY ve YKY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri





Şekil 6.27 Binaların 1. mod ve SRSS dağılımına göre D1 ve D2 deprem seviyeleri için KSY ve YKY ile belirlenen maksimum kiriş plastik dönme değerleri

### 6.1.3 Analiz Sonuçlarının Parametrik Olarak Karşılaştırılması

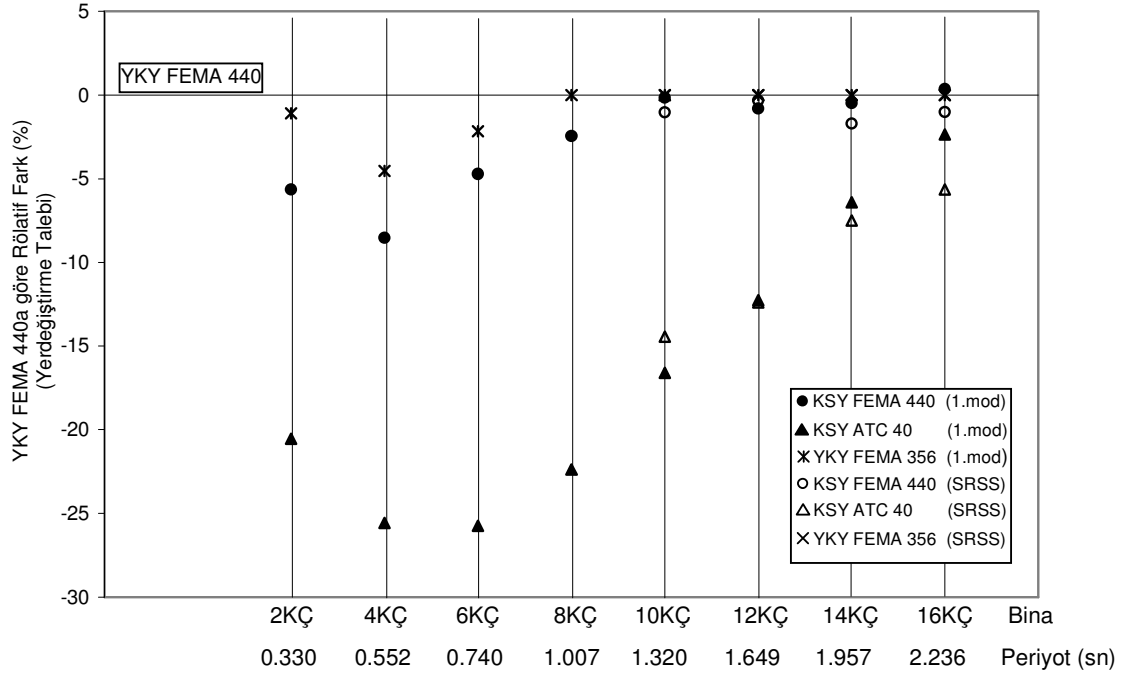
İncelenen binaların iki farklı deprem seviyesi (D1 deprem seviyesi ( $S_{\text{maks}}=0.532g$ ) ve D2 deprem seviyesi ( $S_{\text{maks}}=1.064g$ )) ve iki farklı atalet kuvveti dağılımları (1. mod ve SRSS) için KSY FEMA 440, KSY ATC 40, YKY FEMA 356 analizleri ile elde edilen sonuçlar YKY FEMA 440 referans alınarak aşağıda verilen parametrelerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca incelenen binaların analizinden elde edilen her bir parametreye ait değerlerin ortalamaları hesaplanarak genel bir karşılaştırma da yapılmıştır.

- Maksimum yerdeğiştirme talebi,
- Maksimum dayanım talebi,
- Kirişlerin maksimum plastik dönme talebi,
- Maksimum görelî kat öteleme talebi.

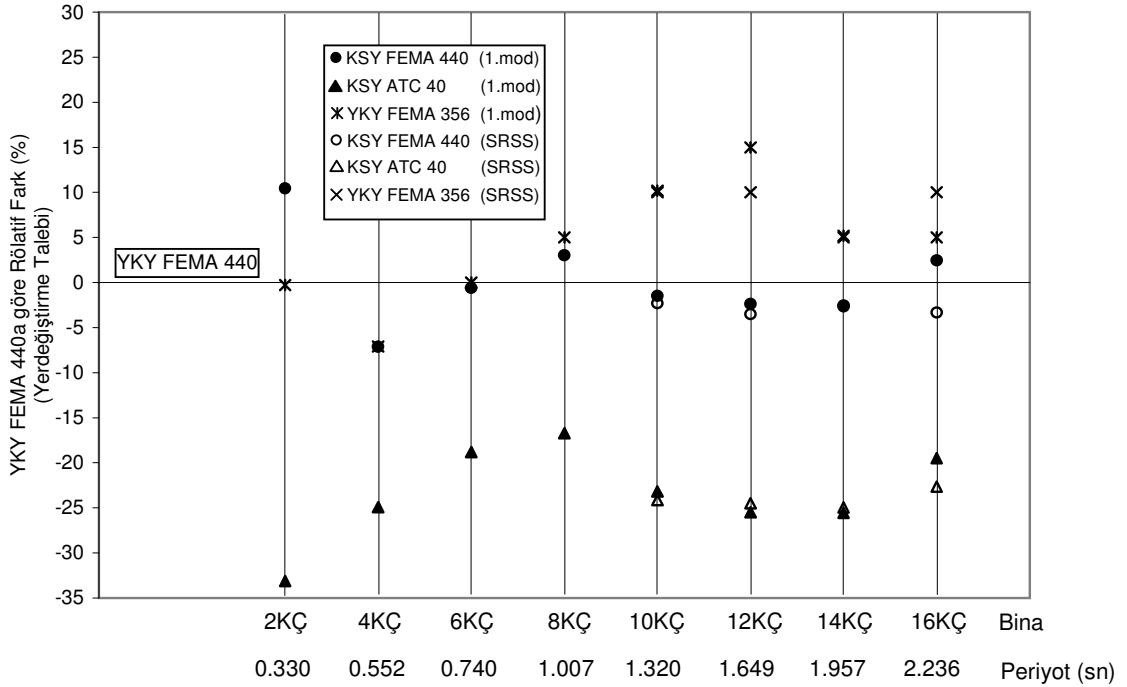
İncelenen binalara (2KÇ, 4KÇ, 6KÇ, 8KÇ, 10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) ait analiz sonuçlarının karşılaştırmaları, 1.mod dağılımlarına ait D1 deprem seviyesi için Çizelge 6.1'de, D2 deprem seviyesi için Çizelge 6.2'de ve SRSS dağılımlarına ait D1 deprem seviyesi için Çizelge 6.3'de, D2 deprem seviyesi için Çizelge 6.4'de verilen analiz sonuçlarından yararlanılarak yapılmış ve Şekil 6.28-6.35'de verilmiştir. Yapılan parametrik karşılaştırmaların açıklamaları örnek olmak üzere sadece 2KÇ binanın 1. mod atalet kuvveti dağılımı ve D1 deprem seviyesi için verilmiştir. İncelenen binalarla ilgili benzer açıklamaların 1. mod ve SRSS atalet kuvveti dağılımları ile D1 ve D2 deprem seviyeleri için ilgili çizelgelerden yararlanılarak kolayca yapılabileceği düşünülmüştür.

- D1 deprem seviyesi için 1.mod dağılımına göre YKY FEMA 440 referans alınarak yerdeğiştirme talepleri, incelenen binalar için karşılaştırılmıştır, (Şekil 6.28).

Şekil 6.28 incelendiğinde, yerdeğiştirme talebi için 2KÇ'de YKY FEMA 440'a göre YKY FEMA 356'ın %5.65 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %1.10 oranında daha az ve KSY ATC 40'ın %20.54 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir.



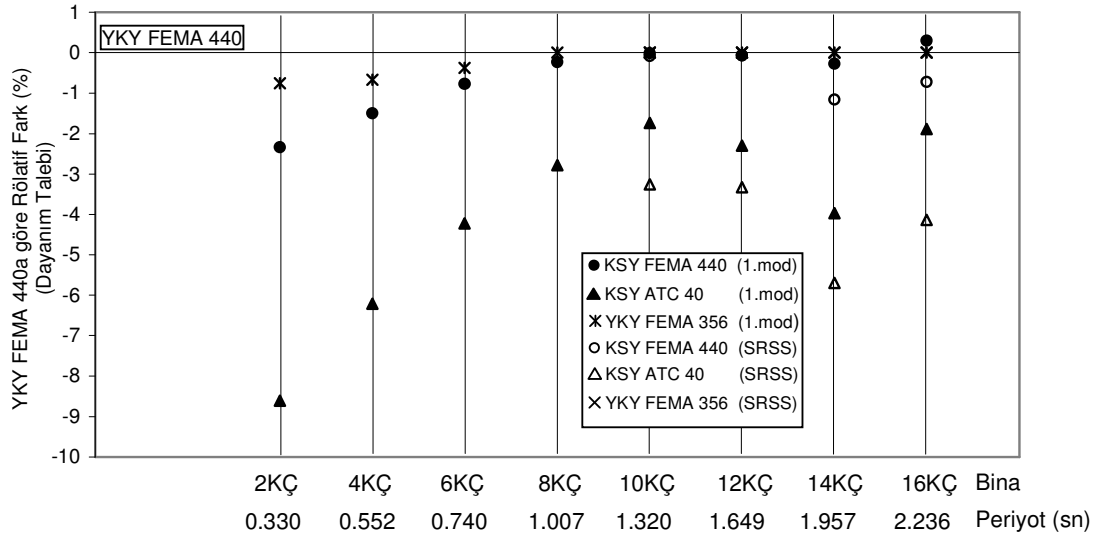
Şekil 6.28 Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D1 deprem seviyesine ait yerdeğiştirme talepleri



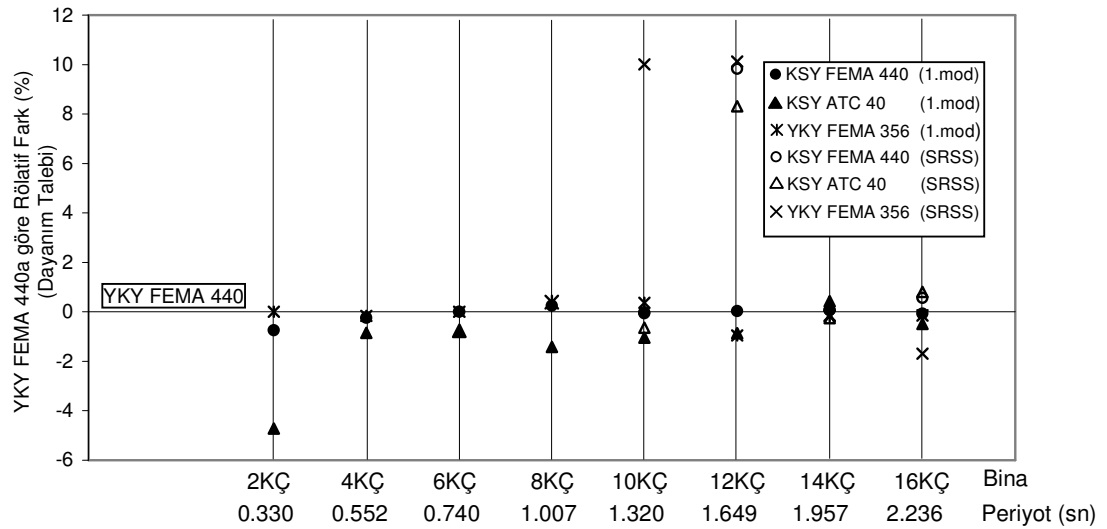
Şekil 6.29 Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D2 deprem seviyesine ait yerdeğiştirme talepleri

- D1 deprem seviyesi için 1.mod dağılımına göre YKY FEMA 440 referans alınarak dayanım talepleri, incelenen binalar için karşılaştırılmıştır, (Şekil 6.30).

Şekil 6.30 incelendiğinde, dayanım talebi için 2KÇ'de YKY FEMA 440'a göre YKY FEMA 356'nın %0.76 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %2.34 oranında daha az ve KSY ATC 40'ın %7.90 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir.



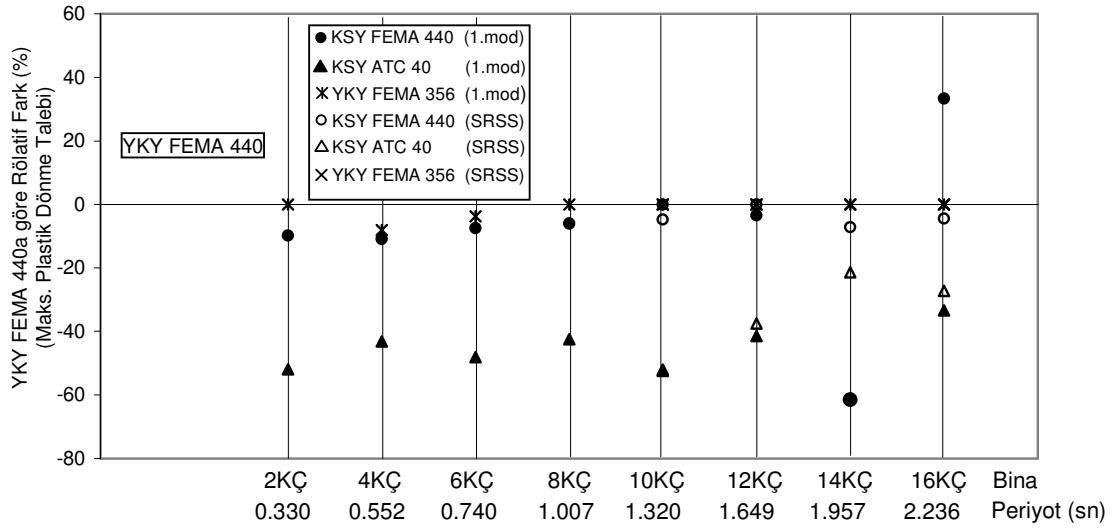
Şekil 6.30 Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D1 deprem seviyesine ait dayanım talepleri



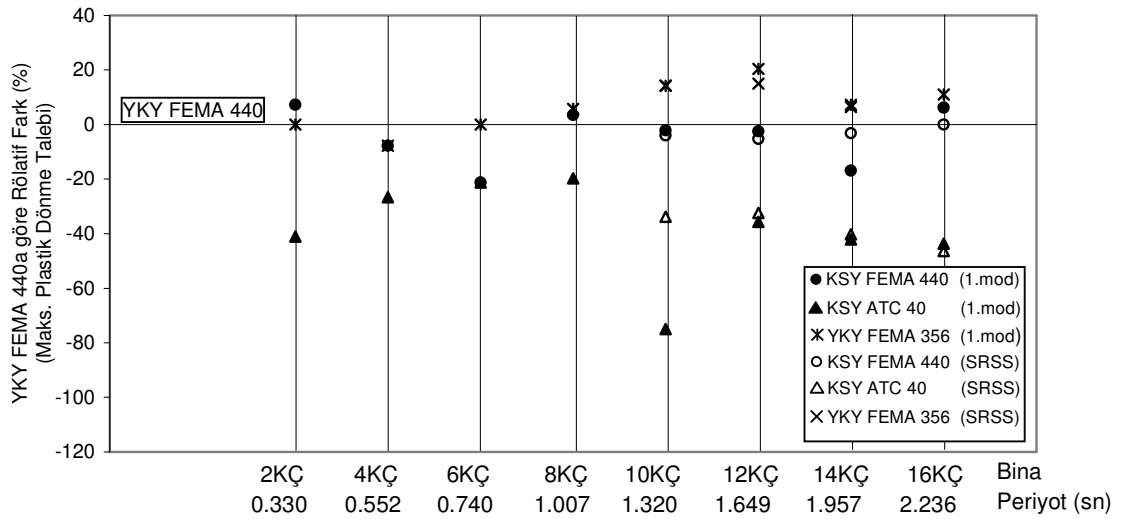
Şekil 6.31 Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D2 deprem seviyesine ait dayanım talepleri

- D1 deprem seviyesi için 1.mod dağılımına göre YKY FEMA 440 referans alınarak maksimum plastik dönme talepleri, incelenen binalar için karşılaştırılmıştır, (Şekil 6.32).

Şekil 6.32 incelendiğinde, maksimum plastik dönme talebi için 2KÇ'de YKY FEMA 440'a göre YKY FEMA 356'nın aynı, KSY FEMA 440'ın %9.83 oranında daha az ve KSY ATC 40'ın %51.91 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir.



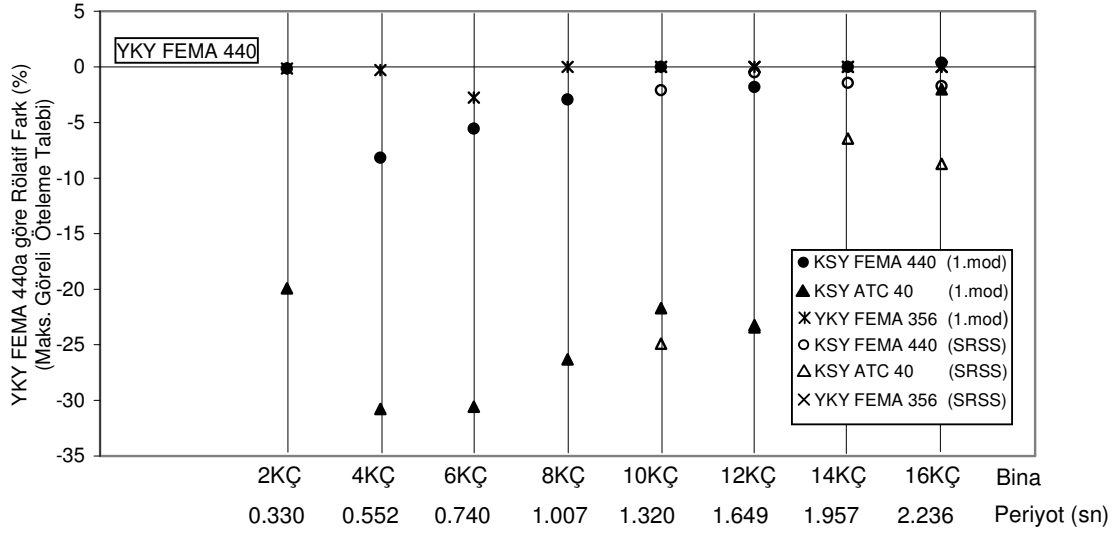
Şekil 6.32 Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D1 deprem seviyesine ait maks. plastik dönme talepleri



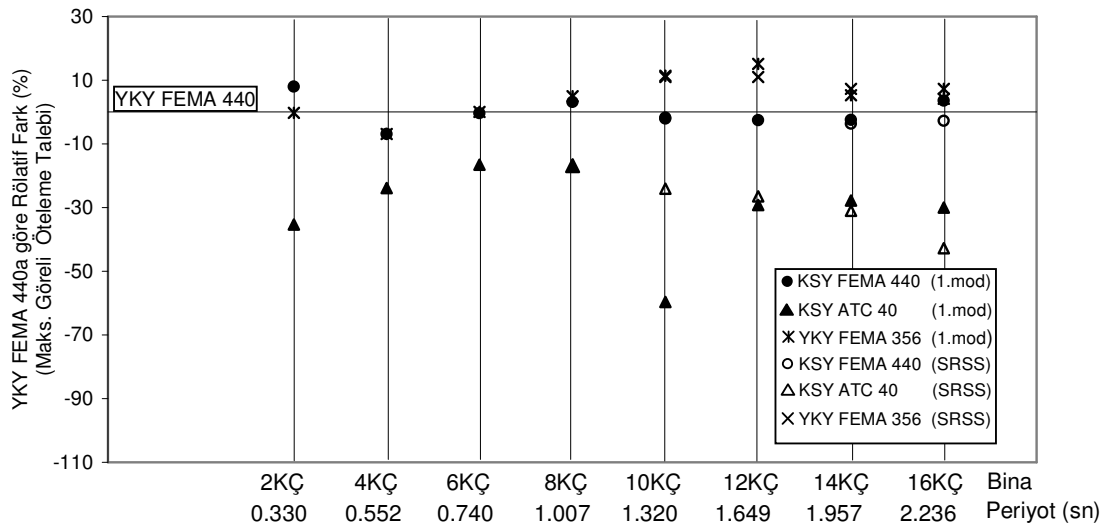
Şekil 6.33 Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D2 deprem seviyesine ait maks. plastik dönme talepleri

- D1 deprem seviyesi için 1.mod dağılımına göre YKY FEMA 440 referans alınarak maksimum görelî öteleme talepleri, incelenen binalar için karşılaştırılmıştır (Şekil 6.34).

Şekil 6.34 incelendiğinde, maksimum görelî öteleme talebi için 2KÇ'de YKY FEMA 440'a göre YKY FEMA 356'nın %0.16 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %0.15 oranında daha az ve KSY ATC 40'ın %19.94 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir.



Şekil 6.34 Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D1 deprem seviyesine ait maks. görelî öteleme talepleri



Şekil 6.35 Binaların 1. mod ve SRSS dağılımlarına göre D2 deprem seviyesine ait maks. görelî öteleme talepleri

İncelenen binaların KSY FEMA 440, KSY ATC 40, YKY FEMA 356, YKY FEMA 440 analizleri ile bulunan parametrelerin (maksimum görelî kat öteleme talebi, maksimum yerdeğiştirme talebi, maksimum dayanım talebi ve maksimum kat kiriş plastik dönme talebi) karşılaştırılması az katlı, orta katlı ve çok katlı yapıları temsil eden üç periyot bölgesi için yapılmıştır. 1. doğal titreşim periyodu  $T_1 \leq 0.5\text{sn}$  olan binalar (2KÇ - 4KÇ),  $0.5\text{sn} < T_1 \leq 1.0\text{sn}$  olan binalar (6KÇ - 8KÇ) ve  $1.0\text{sn} < T_1$  olan binalar (10KÇ - 12KÇ - 14KÇ - 16KÇ) olmak üzere üç farklı periyot bölgesinde, iki farklı deprem seviyesi (D1 ve D2) ve yatay yük dağılımını olarak iki farklı atalet kuvvetleri dağılımını (1.mod ve SRSS) için YKY FEMA 440 sonuçları referans alınarak yukarıda belirtilen parametrelere göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırmalar yapılırken üç farklı periyot bölgesi için ayrı ayrı olmak üzere binaların ilgili parametrelere ait değerlerinin ortalaması alınmıştır.

**a) Maksimum Yerdeğiştirme Talebi için :**

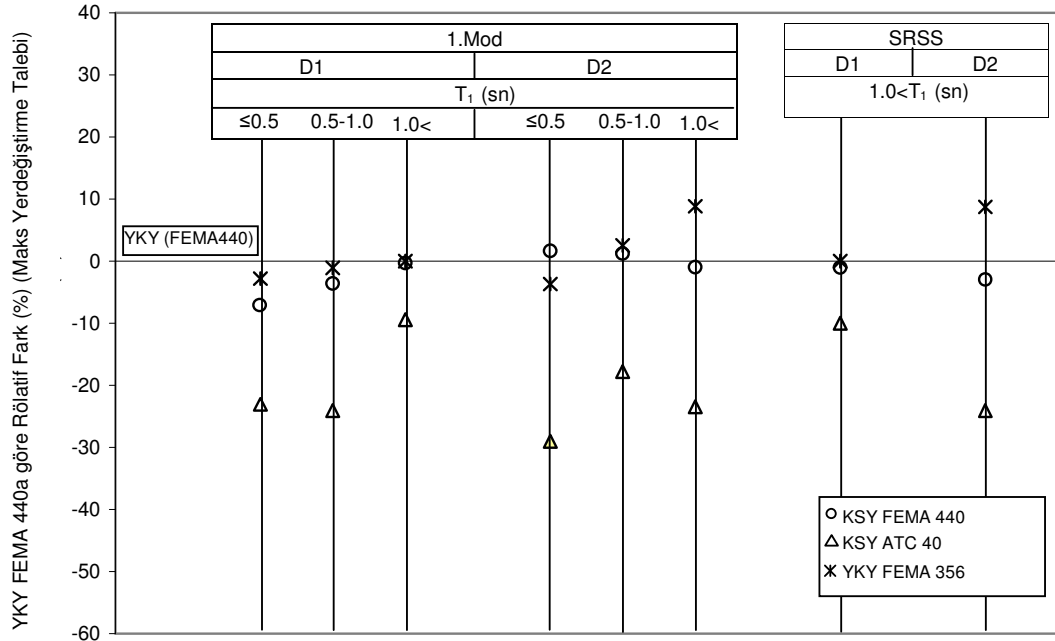
1.mod dağılımları için YKY FEMA 440'a göre:

- D1 deprem seviyesi için,  $T_1 \leq 0.5\text{sn}$  olan binalarda, YKY FEMA 356'in %2.82 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %7.09 daha az, KSY ATC 40'ın %23.06 oranında daha az sonuç verdiği,  $0.5\text{sn} < T_1 \leq 1.0\text{sn}$  olan binalarda, YKY FEMA 356'in %1.08 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %3.58 daha az, KSY ATC 40'ın %24.06 oranında daha az sonuç verdiği,  $1.0\text{sn} < T_1$  olan binalarda ise YKY FEMA 356'in eşit, KSY FEMA 440'ın %0.28 daha az, KSY ATC 40'ın %9.41 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (şekil 6.36),(Çizelge 6.5).
- D2 deprem seviyesi için,  $T_1 \leq 0.5\text{sn}$  olan binalarda, YKY FEMA 356'in %3.69 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %1.66 daha fazla, KSY ATC 40'ın %29.01 oranında daha az sonuç verdiği,  $0.5\text{sn} < T_1 \leq 1.0\text{sn}$  olan binalarda, YKY FEMA 356'in %2.50 oranında daha fazla, KSY FEMA 440'ın %1.21 daha fazla, KSY ATC 40'ın %17.78 oranında daha az sonuç verdiği,  $1.0\text{sn} < T_1$  olan binalarda ise YKY FEMA 356'in %8.85 oranında daha fazla,

KSY FEMA 440'ın %0.99 daha az, KSY ATC 40'ın %23.43 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.36) (Çizelge 6.6).

#### SRSS dağılımları için YKY FEMA 440'a göre

- D1 deprem seviyesi için, YKY FEMA 356'ın aynı oduğu, KSY FEMA 440'ın %1.02 oranında daha az, KSY ATC 40'ın %10.00 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.36) (Çizelge 6.5).
- D2 deprem seviyesi için, YKY FEMA 356'ın %8.76 oranında daha fazla, KSY FEMA 440'ın %2.95 oranında daha az, KSY ATC 40'ın %24.06 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.36) (Çizelge 6.6).



Şekil 6.36 KSY ve YKY'nin maksimum yerdeğiştirme talepleri bakımından karşılaştırılması



## b) Maksimum Dayanım Talebi için :

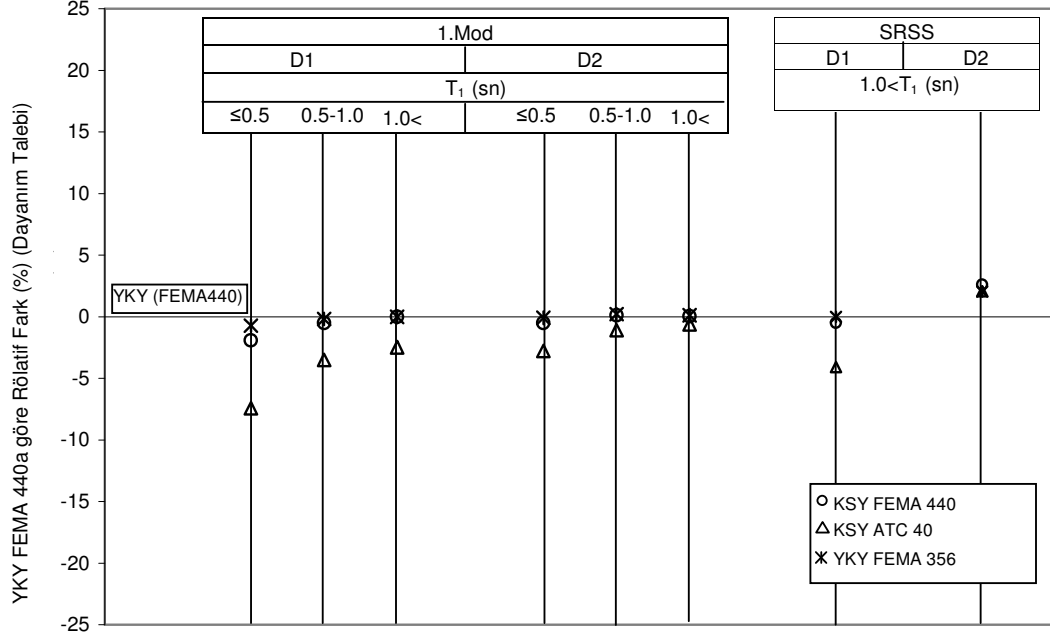
### 1.mod dağılımları için YKY FEMA 440'a göre

- D1 deprem seviyesi için,  $T_1 \leq 0.5s_n$  olan binalarda, YKY FEMA 356'in %0.71 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %1.92 daha az, KSY ATC 40'ın %7.41 oranında daha az sonuç verdiği,  $0.5s_n < T_1 \leq 1.0s_n$  olan binalarda, YKY FEMA 356'in %0.191 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %0.50 daha az, KSY ATC 40'ın %3.50 oranında daha az sonuç verdiği,  $1.0s_n < T_1$  olan binalarda ise YKY FEMA 356'in aynı, KSY FEMA 440'ın %0.01 daha az, KSY ATC 40'ın %2.47 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.37), (Çizelge 6.5).
- D2 deprem seviyesi için,  $T_1 \leq 0.5s_n$  olan binalarda, YKY FEMA 356'in %0.08 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %0.49 daha az, KSY ATC 40'ın %2.78 oranında daha az sonuç verdiği,  $0.5s_n < T_1 \leq 1.0s_n$  olan binalarda, YKY FEMA 356'in %0.20 oranında daha fazla, KSY FEMA 440'ın %0.12 daha fazla, KSY ATC 40'ın %1.09 oranında daha az sonuç verdiği,  $1.0s_n < T_1$  olan binalarda ise YKY FEMA 356'in %0.11 oranında daha fazla, KSY FEMA 440'ın %0.05 daha fazla, KSY ATC 40'ın %0.63 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.37), (Çizelge 6.6).

### SRSS dağılımları için YKY FEMA 440'a göre

- D1 deprem seviyesi için, YKY FEMA 356'in eşit olduğu, KSY FEMA 440'ın %0.51 oranında daha az, KSY ATC 40'ın %4.10 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.37) (Çizelge 6.5).

- D2 deprem seviyesi için, YKY FEMA 356'ın %2.05 oranında daha fazla, KSY FEMA 440'ın %2.61 oranında daha fazla, KSY ATC 40'ın %2.06 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.37)(Çizelge 6.6).



Şekil 6.37 KSY ve YKY'nin maksimum dayanım talepleri bakımından karşılaştırılması

### c) Kirişlerin Maksimum Plastik Dönme Talebi için :

#### 1.mod dağılımları için YKY FEMA 440'a göre

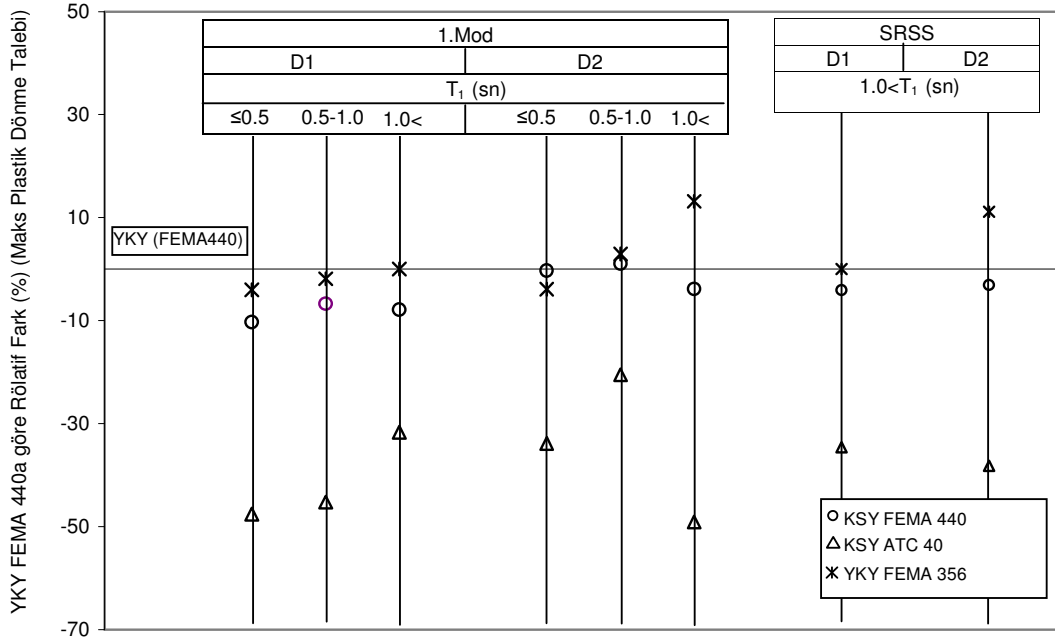
- D1 deprem seviyesi için,  $T_1 \leq 0.5$ sn olan binalarda, YKY FEMA 356'ın %4.05 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %10.32 daha az, KSY ATC 40'ın %47.58 oranında daha az sonuç verdiği,  $0.5 \text{sn} < T_1 \leq 1.0 \text{sn}$  olan binalarda, YKY FEMA 356'ın %1.85 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %6.73 daha az, KSY ATC 40'ın %45.29 oranında daha az sonuç verdiği,  $1.0 \text{sn} < T_1$  olan binalarda ise YKY FEMA 356'ın aynı, KSY FEMA 440'ın

%7.91 daha az, KSY ATC 40'ın %31.68 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.38), (Çizelge 6.5).

- D2 deprem seviyesi için,  $T_1 \leq 0.5\text{sn}$  olan binalarda, YKY FEMA 356'ın %3.89 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %0.29 daha az, KSY ATC 40'ın %33.84 oranında daha az sonuç verdiği,  $0.5\text{sn} < T_1 \leq 1.0\text{sn}$  olan binalarda, YKY FEMA 356'ın %2.91 oranında daha fazla, KSY FEMA 440'ın %1.08 daha fazla, KSY ATC 40'ın %20.55 oranında daha az sonuç verdiği,  $1.0\text{sn} < T_1$  olan binalarda ise YKY FEMA 356'ın %13.16 oranında daha fazla, KSY FEMA 440'ın %3.83 daha az, KSY ATC 40'ın %49.13 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.38) (Çizelge 6.6).

#### SRSS dağılımları için YKY FEMA 440'a göre

- D1 deprem seviyesi için, YKY FEMA 356'ın eşit olduğu, KSY FEMA 440'ın %4.13 oranında daha az, KSY ATC 40'ın %34.65 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.38) (Çizelge 6.5).
- D2 deprem seviyesi için YKY FEMA 356'ın %11.11 oranında daha fazla, KSY FEMA 440'ın %0.45 oranında daha fazla, KSY ATC 40'ın %38.21 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.38) (Çizelge 6.6).



Şekil 6.38 KSY ve YKY'nin maksimum plastik dönme talepleri bakımından karşılaştırılması

#### d) Maksimum Göreli Kat Öteleme Talebi için :

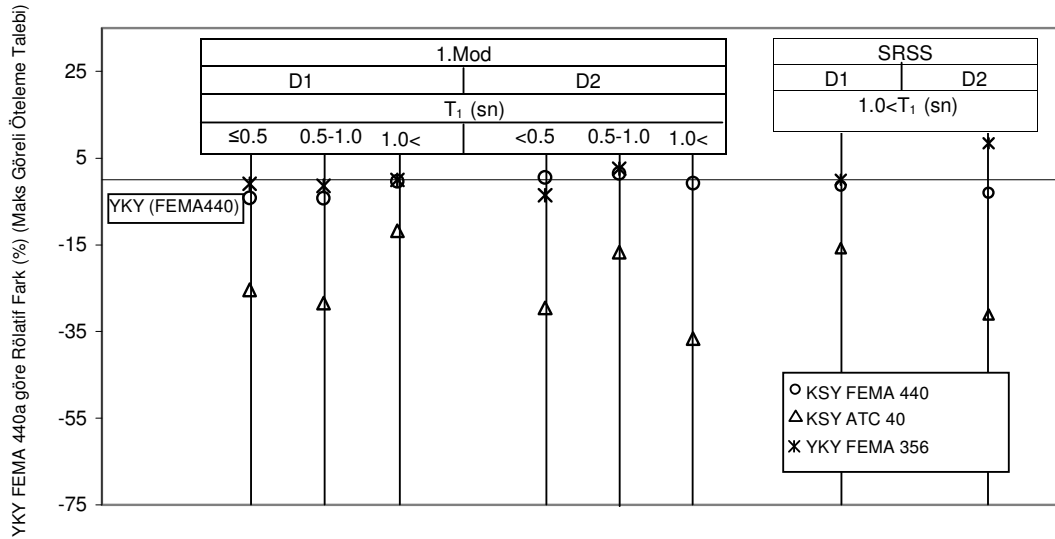
##### 1.mod dağılımları için YKY FEMA 440'a göre

- D1 deprem seviyesi için,  $T_1 \leq 0.5$ sn olan binalarda, YKY FEMA 356'in %0.92 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %4.16 daha az, KSY ATC 40'in %25.36 oranında daha az sonuç verdiği,  $0.5 \text{sn} < T_1 \leq 1.0 \text{sn}$  olan binalarda, YKY FEMA 356'in %1.39 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %4.26 daha az, KSY ATC 40'in %28.44 oranında daha az sonuç verdiği,  $1.0 \text{sn} < T_1$  olan binalarda ise YKY FEMA 356'in aynı, KSY FEMA 440'ın %0.36 daha az, KSY ATC 40'in %11.79 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.39), (Çizelge 6.5).

- D2 deprem seviyesi için,  $T_1 \leq 0.5$ sn olan binalarda, YKY FEMA 356'ın %3.58 oranında daha az, KSY FEMA 440'ın %0.53 daha fazla, KSY ATC 40'ın %29.56 oranında daha az sonuç verdiği,  $0.5 \text{sn} < T_1 \leq 1.0 \text{sn}$  olan binalarda, YKY FEMA 356'ın %2.52 oranında daha fazla, KSY FEMA 440'ın %1.42 daha fazla, KSY ATC 40'ın %16.69 oranında daha az sonuç verdiği,  $1.0 \text{sn} < T_1$  üzerinde olan binalarda ise YKY FEMA 356'ın %9.80 oranında daha fazla, KSY FEMA 440'ın %0.80 daha az, KSY ATC 40'ın %36.66 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.39), (Çizelge 6.6).

#### SRSS dağılımları için YKY FEMA 440'a göre

- D1 deprem seviyesi için, YKY FEMA 356'ın eşit olduğu, KSY FEMA 440'ın %1.44 oranında daha az, KSY ATC 40'ın %15.82 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.39) (Çizelge 6.5).
- D2 deprem seviyesi için, YKY FEMA 356'ın %8.36 oranında daha fazla, KSY FEMA 440'ın %3.05 oranında daha az, KSY ATC 40'ın %31.08 oranında daha az sonuç verdiği belirlenmiştir (Şekil 6.39) (Çizelge 6.6)



Şekil 6.39 KSY ve YKY'nin maksimum görelî öteleme talepleri bakımından karşılaştırılması

Çizelge 6.5 1. mod, SRSS dağılımı ve D1 deprem seviyesi için  
YKY FEMA 440'a göre incelenen periyot bölgelerine göre  
parametrelerin karşılaştırılması

Karşılaştırma Parametreleri	D1 deprem seviyesi için YKY FEMA 440'a göre incelenen parametrelerin karşılaştırılması											
	$\left( \frac{\text{Yöntem} - \text{YKY FEMA 440}}{\text{YKY FEMA 440}} \right)$											
	1.Mod Dağılımı									SRSS Dağılımı		
	YKY FEMA356 (%)			KSY FEMA440 (%)			KSYATC40 (%)			YKY FEMA 356 (%)	KSY FEMA 440 (%)	KSY ATC 40 (%)
	T <sub>1</sub> (sn)			T <sub>1</sub> (sn)			T <sub>1</sub> (sn)					
≤ 0.5	0.5-1.0	1.0<	≤ 0.5	0.5-1.0	1.0<	≤ 0.5	0.5-1.0	1.0<				
Yerdeğiştirme Talebi	-2.82	-1.08	0.00	-7.09	-3.58	-0.28	-23.06	-24.06	-9.41	0.00	-1.02	-10.00
Dayanım Talebi	-0.71	-0.19	0.00	-1.92	-0.50	-0.01	-7.41	-3.50	-2.47	0.00	-0.51	-4.10
Maks.Plastik Dönme Talebi	-4.05	-1.85	0.00	-10.32	-6.73	-7.91	-47.58	-45.29	-31.68	0.00	-4.13	-34.65
Maks. Göreli Kat Öteleme Talebi	-0.92	-1.39	0.00	-4.16	-4.26	-0.36	-25.36	-28.44	-11.79	0.00	-1.44	-15.82

Yöntem: YKY FEMA 356, KSY FEMA 440, KSY ATC 40'dır.

Çizelge 6.6 1. mod, SRSS dağılımı ve D2 deprem seviyesi için  
YKY FEMA 440'a göre incelenen periyot bölgelerine göre  
parametrelerin karşılaştırılması

Karşılaştırma Parametreleri	D2 deprem seviyesi için YKY FEMA 440'a göre incelenen parametrelerin karşılaştırılması											
	$\left( \frac{\text{Yöntem} - \text{YKY FEMA 440}}{\text{YKY FEMA 440}} \right)$											
	1.Mod Dağılımı									SRSS Dağılımı		
	YKY FEMA356 (%)			KSY FEMA440 (%)			KSYATC40 (%)			YKY FEMA 356 (%)	KSY FEMA 440 (%)	KSY ATC 40 (%)
	T <sub>1</sub> (sn)			T <sub>1</sub> (sn)			T <sub>1</sub> (sn)					
≤ 0.5	0.5-1.0	1.0<	≤ 0.5	0.5-1.0	1.0<	≤ 0.5	0.5-1.0	1.0<				
Yerdeğiştirme Talebi	-3.69	2.50	8.85	1.66	1.21	-0.99	-29.01	-17.78	-23.43	8.76	-2.95	-24.06
Dayanım Talebi	-0.08	0.20	0.11	-0.49	0.12	0.05	-2.78	-1.09	-0.63	2.05	2.61	-2.06
Maks.Plastik Dönme Talebi	-3.89	2.91	13.16	-0.29	1.08	3.83	-33.84	-20.55	-49.13	11.11	0.45	-38.21
Maks. Göreli Kat Öteleme Talebi	-3.58	2.52	9.80	0.53	1.42	-0.80	-29.56	-16.69	-36.66	8.36	3.05	-31.08

Yöntem: YKY FEMA 356, KSY FEMA 440, KSY ATC 40'dır.

## 6.2 Doğrusal Olmayan Statik Analiz Yöntemlerinden Elde Edilen Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden KSY FEMA 440, KSY ATC 40, YKY FEMA 356 ve YKY FEMA 440 ile elde edilen analiz sonuçları YKY FEMA 440 referans alınarak değerlendirilmiştir.

Değerlendirmeler aşağıdaki dört ana gruplandırma ile yapılmıştır.

- a) Beş farklı analiz parametresi ile ;
  - Kat kesme kuvveti dağılımı ve maksimum dayanım talebi
  - Göreli kat öteleme dağılımı ve maksimum göreli kat öteleme talebi
  - Kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımı ve maksimum yerdeğiştirme talebi
  - Kat kiriş plastik dönme dağılımı ve maksimum kat kiriş plastik dönme talebi
  - Sistemde oluşan plastik kesit dağılımı
- b) Üç farklı periyot ( $T_1$ ) bölgesi ile ;
  - $T_1 \leq 0.5sn$  (2KÇ, 4KÇ)
  - $0.5sn < T_1 \leq 1.0sn$  (6KÇ, 8KÇ)
  - $1.0sn < T_1$  (10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ)
- c) Depremi temsil eden iki farklı yatay yük dağılımı ile ;
  - 1. mod atalet kuvveti dağılımı
  - SRSS atalet kuvveti dağılımı
- d) İki farklı deprem seviyesi ile ;
  - D1 deprem seviyesi ( $S_{amaks}=0.532g$ )
  - D2 deprem seviyesi ( $S_{amaks}=1.064g$ )

- **1.mod atalet kuvveti dağılımı ve D1 deprem seviyesi için yapılan değerlendirmeler**

a) Çatlamış kesit periyodu  $T_1 \leq 0.5s$  olan binalar (2KÇ, 4KÇ) için;

- Kat kesme kuvveti dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın birbirine oldukça yakın bir dağılım gösterdiği, ancak KSY ATC 40'ın ise YKY FEMA 440'a göre kat kesme kuvveti dağılımını belirlemede biraz farklı olduğu görülmektedir (Şekil 6.1-6.2). Maksimum dayanım talebi bakımından da YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın birbirlerine çok yakın oldukları, KSY ATC 40'ın ise biraz farklı olduğu ve YKY FEMA 440'a göre %7.41 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.5).
- Göreli kat ötelemesi dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın birbirleri ile uyumlu bir dağılım gösterdiği ancak, YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40'ın göreli kat ötelemesi dağılımını belirlemede yetersiz kaldığı (Şekil 6.1-6.2) ve maksimum göreli kat öteleme talebinin %25.36 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.5).
- Kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın birbirleri ile uyumlu ve yakın bir dağılım gösterdiği ancak, YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40'ın göreli kat ötelemeleri dağılımında olduğu gibi kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımını belirlemede yetersiz kaldığı (Şekil 6.1-6.2) ve maksimum yerdeğiştirme talebinin %23.06 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.5).
- Kat kiriş plastik dönme dağılımı bakımından; YKY FEMA 440'a göre, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın az sonuç verdiği ve maksimum kat kiriş plastik dönmesinin sırasıyla %4.05 ve %10.32 oranında daha az olduğu belirlenmiştir. YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40'ın kat kiriş plastik dönme dağılımını belirlemede oldukça yetersiz kaldığı ve



maksimum kat giriş plastik dönme talebinin %47.58 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.1-6.2, Çizelge 6.5).

- Sistemde oluşan plastik kesit dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440 ile elde edilen plastikleşme dağılımının birbirleriyle uyumlu oldukları ancak, KSY ATC 40 ile elde edilen dağılımın YKY FEMA 440'a göre üst katlarda oluşan plastikleşmeyi belirleyemediği görülmüştür (Şekil 6.1-6.2).

b) Çatlamış kesit periyodu  $0.5 < T_1 \leq 1.0$ sn olan binalar (6KÇ, 8KÇ) için;

- Kat kesme kuvveti dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın birbirleri ile oldukça yakın bir dağılım gösterdiği, ancak KSY ATC 40'ın kat kesme kuvveti dağılımını belirlemede alt katlarda biraz farklı olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.3-6.4). Maksimum dayanım talebi bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356, KSY FEMA 440 ve KSY ATC 40'ın birbirleri ile oldukça yakın sonuç verdikleri belirlenmiştir (Çizelge 6.1).
- Göreli kat öteleme dağılımı bakımından; YKY FEMA 440 ile YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın hemen hemen aynı dağılımı gösterdiği ancak, YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40'ın göreli kat ötelemeleri dağılımını belirlemede yetersiz kaldığı (Şekil 6.3-6.4) ve maksimum göreli kat öteleme talebinin %28.44 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.5).
- Kat yatay yerdeğiştirme dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın birbirleri ile uyumlu ve yakın bir dağılım gösterdiği, ancak YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40'ın göreli kat ötelemeleri dağılımında olduğu gibi kat yatay yerdeğiştirme dağılımını belirlemede yetersiz kaldığı (Şekil 6.3-6.4) ve maksimum yerdeğiştirme talebinin %24.06 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.5).

- Kat kiriş plastik dönme dağılımı bakımından; YKY FEMA 440 ile YKY FEMA 356'nın hemen hemen aynı dağılımı gösterdiği, KSY FEMA 440'ın ise YKY FEMA 440'a göre çok az farklı sonuç verdiği ve maksimum kat kiriş plastik dönme talebinin %6.73 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.3-6.4, Çizelge 6.5). YKY FEMA 440'a göre, KSY ATC 40'ın kat kiriş plastik dönmeleri dağılımını belirlemede oldukça yetersiz kaldığı ve maksimum kat kiriş plastik dönme talebinin %45.29 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.3-6.4, Çizelge 6.5).
  - Sistemde oluşan plastik kesit dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356, KSY FEMA 440 ve KSY ATC 40'ın birbirleriyle uyumlu oldukları belirlenmiştir (Şekil 6.3-6.4).
- c) Çatlamış kesit periyodu  $T_1 > 1.0\text{sn}$  olan binalar (10KÇ,12KÇ, 14KÇ,16KÇ) için;
- Kat kesme kuvveti dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356, KSY FEMA 440 ve KSY ATC 40'ın birbirleri ile oldukça yakın bir dağılım gösterdiği (Şekil 6.5-6.8) ve maksimum dayanım talebi bakımından da birbirlerine oldukça yakın oldukları belirlenmiştir (Çizelge 6.5).
  - Göreli kat ötelemesi dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın hemen hemen aynı dağılımı gösterdiği, ancak KSY ATC 40'ın ise göreli kat ötelemeleri dağılımını belirlemede periyodu 1.0 – 2.0 sn arasındaki binalarda (10KÇ ve 12KÇ) yetersiz kaldığı ve maksimum göreli kat ötelemesi talebinin %22.58 oranında daha az olduğu, periyodu 2.0sn ve üzerindeki binalarda (14KÇ ve 16KÇ) YKY FEMA 440 ile aynı dağılımı gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 6.5-6.8, Çizelge 6.1).
  - Kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440 sonuçlarının göreli kat ötelemesi dağılımında olduğu gibi hemen hemen aynı dağılımı gösterdiği, ancak

KSY ATC 40'ın kat yatay yerdeştirmeleri dağılımını belirlemede periyodu 1.0 – 2.0 sn arasındaki binalarda (10KÇ ve 12KÇ) yetersiz kaldığı ve maksimum yerdeştirme talebinin %14.43 oranında daha az olduğu, periyodu 2.0sn ve üzerindeki binalarda (14KÇ ve 16KÇ) YKY FEMA 440 ile aynı dağılımı gösterdiği belirlenmiştir, (Şekil 6.5-6.8, Çizelge 6.1).

- Kat kiriş plastik dönme dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın görelî kat ötelemesi ve kat yatay yerdeştirmesi dağılımında olduğu gibi hemen hemen aynı dağılım gösterdiği, ancak KSY ATC 40'ın benzer şekilde kat kiriş plastik dönme dağılımını belirlemede periyodu 1.0 – 2.0 sn arasındaki binalarda (10KÇ ve 12KÇ) yetersiz kaldığı ve maksimum kat kiriş plastik dönme talebinin %46.69 oranında daha az olduğu, periyodu 2.0sn ve üzerindeki binalarda (14KÇ ve 16KÇ) YKY FEMA 440 ile aynı dağılımı gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 6.5-6.8, Çizelge 6.1). Bu parametrelerden görelî kat ötelemesi, kat yatay yerdeştirmesi ve kat kiriş plastik dönmesi parametrelerinde YKY FEMA 440'a göre periyodu 1.0 – 2.0 sn arasındaki binalarda (10KÇ ve 12KÇ) farklı, periyodu 2sn ve üzerindeki binalarda (14KÇ ve 16KÇ) YKY FEMA 440 ile aynı değerde elde edilmesinin nedeni ise bu binalarda henüz plastikleşmenin olmamasıdır.
- Sistemde oluşan plastik kesit dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440 ile elde edilen plastikleşme dağılımlarının birbirleriyle uyumlu oldukları ancak, KSY ATC 40'ın incelenen binaların hepsinde de alt kolonlarda oluşan plastikleşmeyi belirlemede yetersiz kaldığı görülmüştür (Şekil 6.5-6.8).

- **1.mod atalet kuvveti dağılımı ve D2 deprem seviyesi için yapılan değerlendirmeler**

a) Çatlamış kesit periyodu  $T_1 \leq 0.5$ sn olan binalar (2KÇ, 4KÇ) için;

- Kat kesme kuvveti dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356, KSY FEMA 440 ve KSY ATC 40'ın D1 deprem seviyesinde olduğu gibi birbirlerine oldukça yakın bir dağılım gösterdiği (Şekil 6.9-6.10) ve maksimum dayanım talebi bakımından da oldukça yakın sonuç verdikleri belirlenmiştir (Çizelge 6.6).

YKY FEMA 440'a göre YKY FEMA 356'nın ve KSY FEMA 440'ın görelî kat ötelemesi dağılımına, kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımına ve kat kiriş plastik dönme dağılımına ait değerlerin  $T_1 \leq 0.5$ sn olan 2KÇ'de ve 4KÇ'de farklılıklar göstermesi nedeniyle her iki bina için sözkonusu parametrelere ait değerlerin ortalaması alınmayıp her iki bina için ayrı ayrı değerlendirme yapılmıştır.

- Görelî kat ötelemesi dağılımı bakımından; 2KÇ'de YKY FEMA 440'a ve YKY FEMA 356'ya göre KSY FEMA 440'ın görelî kat ötelemelesi değerlerinin daha büyük olması nedeniyle görelî kat ötelemelesi dağılımının farklılaştığı ve maksimum görelî kat ötelemesi talebinin %8.00 oranında daha fazla olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.9, Çizelge 6.2). 4KÇ'de ise YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın YKY FEMA 440'a göre görelî kat ötelemeleri değerlerinin daha küçük olması nedeniyle görelî kat ötelemeleri dağılımının farklılaştığı ve maksimum görelî kat ötelemesi talebinin %6.93 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.10, Çizelge 6.2). YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40'ın 2KÇ ve 4KÇ için görelî kat ötelemeleri dağılımını belirlemede yetersiz kaldığı ve maksimum görelî kat ötelemesi talebinin %29.56 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.9-6.10, Çizelge 6.6).
- Kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımı bakımından; görelî kat ötelemesi dağılımında olduğu gibi, 2KÇ'de YKY FEMA 440'a ve YKY FEMA 356'ya göre KSY FEMA 440'ın kat yatay yerdeğiştirmesi

değerlerinin daha büyük olması nedeniyle kat yatay yerdeğiştirmesi dağılıminın farklılaştığı ve maksimum yerdeğiştirme talebinin %10.46 oranında daha fazla olduğu belirlenmiştir (şekil 6.9, izelge 6.2). 4K'de ise YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın YKY FEMA 440'a göre kat yatay yerdeğiştirmesi değerlerinin daha küçük olması nedeniyle kat yatay yerdeğiştirmesi dağılıminın farklılaştığı ve maksimum yerdeğiştirme talebinin sırasıyla %7.11 ve %7.14 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (şekil 6.10, izelge 6.2). YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40'ın 2K ve 4K için kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımı belirlemede yetersiz kaldığı ve maksimum yerdeğiştirme talebinin %29.01 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (şekil 6.9-6.10, izelge 6.6).

- Kat kiriş plastik dönme dağılımı bakımından; göreli kat öteleme dağılımı ve kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımında olduğu gibi 2K'de YKY FEMA 440'a ve YKY FEMA 356'ya göre KSY FEMA 440'ın kat kiriş plastik dönme değerlerinin daha büyük olması nedeniyle kat kiriş plastik dönme dağılıminın farklılaştığı ve maksimum plastik dönme talebinin %7.21 oranında daha fazla olduğu belirlenmiştir (şekil 6.9, izelge 6.2). 4K'de ise YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın YKY FEMA 440'a göre kat kiriş plastik dönme değerlerinin daha küçük olması nedeniyle kat kiriş plastik dönme dağılıminın farklılaştığı ve maksimum plastik dönme talebinin %7.78 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (şekil 6.10, izelge 6.2). YKY FEMA 440'a göre, KSY ATC 40'ın 2K ve 4K için kat kiriş plastik dönme dağılımını belirlemede oldukça yetersiz kaldığı ve maksimum kat kiriş plastik dönme talebinin %33.84 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (şekil 6.9-6.10, izelge 6.5).
- Sistemde oluşan plastik kesit dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440 ile elde edilen plastikleşme dağılıminın birbirleriyle uyumlu oldukları, ancak KSY ATC 40 ile elde edilen dağılımın binaların st katlarındaki kiriş ve kolon elemanlarında oluşan plastikleşmeyi belirleyemediği görülmüştür (şekil 6.9-6.10).

- b) Çatlamış kesit periyodu  $0.5 < T_1 \leq 1.0$ sn olan binalar (6KÇ, 8KÇ) için;
- Kat kesme kuvveti dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356, KSY FEMA 440 ve KSY ATC 40'ın birbirine oldukça yakın bir dağılım gösterdiği (Şekil 6.11-6.12) ve maksimum dayanım talebi bakımından da birbirlerine oldukça yakın sonuç verdikleri belirlenmiştir (Çizelge 6.6).
  - Göreli kat ötelemesi dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın birbirine yakın bir dağılım gösterdiği, ancak YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40'ın göreli kat ötelemeleri dağılımını belirlemede yetersiz kaldığı (Şekil 6.11-6.12) ve maksimum göreli kat ötelemesi talebinin %16.69 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.6).
  - Kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın birbirleri ile uyumlu ve yakın bir dağılım gösterdiği, ancak YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40'ın göreli kat ötelemeleri dağılımında olduğu gibi kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımını da belirlemede yetersiz kaldığı (Şekil 6.11-6.12) ve maksimum yerdeğiştirme talebinin %17.78 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.6).
  - Kat kiriş plastik dönme dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın hemen hemen aynı dağılımı gösterdiği, ancak YKY FEMA 440'a göre, KSY ATC 40'ın kat kiriş plastik dönme dağılımını belirlemede oldukça yetersiz kaldığı (Şekil 6.11-6.12) ve maksimum kat kiriş plastik dönme talebinin %20.55 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.6).
  - Sistemde oluşan plastik kesit dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440 ile elde edilen plastikleşme dağılımının birbirleriyle uyumlu oldukları, ancak KSY ATC 40 ile elde edilen dağılımın binaların üst katlarında bazı kolonlarda oluşan plastikleşmeyi belirleyemediği görülmüştür (Şekil 6.11-6.12).

- c) Çatlamış kesit periyodu  $T_1 > 1.0sn$  olan binalar (10KÇ,12KÇ, 14KÇ,16KÇ) için;
- Kat kesme kuvveti dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356, KSY FEMA 440 ve KSY ATC 40'ın birbirleri ile oldukça yakın bir dağılım gösterdiği, kat adedi arttıkça dağılımların aynı olduğu (Şekil 6.13-6.16) ve maksimum dayanım talebi bakımından da birbirlerine oldukça yakın sonuç verdikleri belirlenmiştir (Çizelge 6.6).
  - Göreli kat ötelemesi dağılımı bakımından; YKY FEMA 440 ile KSY FEMA 440'ın hemen hemen aynı dağılımı gösterdiği, YKY FEMA 356'nın ise YKY FEMA 440'a göre fazla sonuç verdiği ve maksimum göreli kat ötelemesi talebinin %9.80 oranında daha fazla olduğu, YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40'ın göreli kat ötelemeleri dağılımını belirlemede yetersiz kaldığı ve maksimum göreli kat ötelemesi talebinin %36.66 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Şekil6.13-6.16, Çizelge 6.6).
  - Kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımı bakımından; göreli kat ötelemesi dağılımında olduğu gibi YKY FEMA 440 ile KSY FEMA 440'ın hemen hemen aynı dağılımı gösterdiği, ancak YKY FEMA 356'nın YKY FEMA 440'a göre fazla sonuç verdiği ve maksimum yerdeğiştirme talebinin %8.85 oranında daha fazla olduğu, KSY ATC 40'ın ise kat yatay yerdeğiştirmeleri dağılımını belirlemede yetersiz kaldığı ve maksimum yerdeğiştirme talebinin %23.43 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.13-6.16, Çizelge 6.6).
  - Kat kiriş plastik dönme dağılımı bakımından; YKY FEMA 440 ile KSY FEMA 440'ın göreli kat ötelemesi ve kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımında da olduğu gibi hemen hemen aynı dağılımı gösterdiği, ancak YKY FEMA 356'nın ise göre fazla sonuç verdiği ve maksimum kat kiriş plastik dönme talebinin %13.16 oranında daha fazla olduğu, YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40'ın ise benzer şekilde kat kiriş

plastik dönme dağılımını belirlemede yetersiz kaldığı ve maksimum kat kiriş plastik dönme talebinin %49.13 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.13-6.16, Çizelge 6.6).

- Sistemde oluşan plastik kesit dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440 ile elde edilen plastikleşme dağılımının birbirleriyle uyumlu oldukları, ancak KSY ATC 40'ın taşıyıcı sistemlerde kiriş ve kolonlarda oluşan plastikleşmeyi belirlemede oldukça yetersiz kaldığı görülmüştür (Şekil 6.13-6.16).

- **SRSS atalet kuvveti dağılımı ve D1 deprem seviyesi için yapılan değerlendirmeler**

- Kat kesme kuvveti dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356, KSY FEMA 440 ve KSY ATC 40'ın 1. mod atalet kuvveti dağılımında olduğu gibi birbirine oldukça yakın bir dağılım gösterdiği (Şekil 6.18-6.21) ve maksimum dayanım talebi bakımından da birbirlerine oldukça yakın sonuç verdikleri belirlenmiştir (Çizelge 6.5).

- Göreli kat ötelemesi dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın hemen hemen aynı dağılımı gösterdiği, ancak KSY ATC 40'ın göreli kat ötelemeleri dağılımını belirlemede yetersiz kaldığı (Şekil 6.18-6.21) ve maksimum göreli kat öteleme talebinin %15.82 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.5).

- Kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın göreli kat ötelemesi dağılımında olduğu gibi hemen hemen aynı dağılımı gösterdiği, ancak KSY ATC 40'ın kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımını belirlemede yetersiz kaldığı (Şekil 6.18-6.21) ve maksimum yerdeğiştirme talebinin %10.00 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.5).



- Kat kiriş plastik dönme dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440'ın görelî kat ötelemesi ve kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımında olduğu gibi hemen hemen aynı dağılımı gösterdiği, ancak KSY ATC 40'ın benzer şekilde kat yerdeğiştirmeleri dağılımını belirlemede yetersiz kaldığı (Şekil 6.18-6.21) ve maksimum kat kiriş plastik dönme talebinin %34.65 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.5).
- Sistemde oluşan plastik kesit dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440 ile elde edilen plastikleşme dağılımının birbirleriyle uyumlu oldukları, ancak KSY ATC 40'ın binaların alt kolonlarında oluşan plastikleşmeyi belirleyemediği görölmüştür (Şekil 6.18-6.21).
- **SRSS atalet kuvveti dağılımı ve D2 deprem seviyesi için yapılan değerlendirmeler**
  - Kat kesme kuvveti dağılımı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356, KSY FEMA 440 ve KSY ATC 40'ın 1. mod atalet kuvveti dağılımında olduğu gibi birbirleri ile neredeyse aynı dağılım gösterdiği (Şekil 6.22-6.25) ve maksimum dayanım talebi bakımından da birbirlerine oldukça yakın sonuç verdikleri belirlenmiştir (Çizelge 6.6).
  - Görelî kat ötelemesi dağılımı bakımından; YKY FEMA 440 ile KSY FEMA 440'ın hemen hemen aynı dağılımı gösterdiği, ancak YKY FEMA 356'nın ise YKY FEMA 440'a göre fazla sonuç verdiği ve maksimum görelî kat öteleme talebinin %8.36 oranında daha fazla olduğu, YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40'ın görelî kat ötelemesi dağılımını belirlemede yetersiz kaldığı ve maksimum görelî kat öteleme talebinin %31.08 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.22-6.25, Çizelge 6.6).

- Kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımlı bakımından; göreli kat ötelemesi dağılımlında olduğu gibi YKY FEMA 440 ile KSY FEMA 440'ın hemen hemen aynı dağılımlı gösterdiği, ancak YKY FEMA 356'nın YKY FEMA 440'a göre fazla sonuç verdiği ve maksimum yerdeğiştirme talebinin %8.76 oranında daha fazla olduğu, YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40'ın ise kat yatay yerdeğiştirmeleri dağılımlını belirlemede yetersiz kaldığı ve maksimum yerdeğiştirme talebinin %24.06 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (şekil 6.22-6.25, izelge 6.6).
- Kat kiriş plastik dönme dağılımlı bakımından; YKY FEMA 440 ile KSY FEMA 440'ın göreli kat ötelemesi ve kat yatay yerdeğiştirmesi dağılımlında olduğu gibi hemen hemen aynı dağılımlı gösterdiği, ancak YKY FEMA 356'nın YKY FEMA 440'a göre fazla sonuç verdiği ve maksimum kat kiriş plastik dönme talebinin %11.11 oranında daha fazla olduğu, YKY FEMA 440'a göre KSY ATC 40'ın kat kiriş plastik dönme dağılımlını belirlemede yetersiz kaldığı ve maksimum kat kiriş plastik dönme talebinin %38.21 oranında daha az olduğu belirlenmiştir (şekil 6.22-6.25, izelge 6.4).
- Sistemde oluşan plastik kesit dağılımlı bakımından; YKY FEMA 440, YKY FEMA 356 ve KSY FEMA 440 ile elde edilen plastikleşme dağılımlının birbirleri ile uyumlu oldukları, ancak KSY ATC 40'ın taşıyıcı sistemlerde kiriş ve kolonlarda oluşan plastikleşmeyi belirlemede oldukça yetersiz kaldığı görülmüştür (şekil 6.22-6.25).

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, betonarme binaların doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440) ve Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY FEMA 356 ve KYK FEMA 440) ile analizleri yapılarak performanslarının belirlenmesi ve elde edilen analiz sonuçlarının çeşitli parametrelerle karşılaştırılması ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda herhangi bir düzensizliği bulunmayan ve geniş bir periyot aralığındaki sekiz ayrı betonarme düzlem çerçeve bina (2KÇ, 4KÇ, 6KÇ, 8KÇ, 10KÇ, 12KÇ, 14KÇ, 16KÇ) belirlenerek yürürlükteki Türk Standartları ( TS 498 TS 500) ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1998) esaslarına göre boyutlandırılmıştır. Binalara etkiyecek deprem kuvvetini temsil eden yatay yük dağılımı için 1. mod ve SRSS atalet kuvveti dağılımları kullanılmış ve binaların elastik ötesi statik itme (pushover) analizleri yapılarak kapasite eğrileri belirlenmiştir. Daha sonra doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden KSY ve KYK ile iki farklı deprem seviyesi (D1 deprem seviyesi ( $S_{a\text{maks}}=0.532g$ ) ve D2 deprem seviyesi ( $S_{a\text{maks}}=1.064g$ )) için bina performans seviyeleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada yapılan karşılaştırma ve değerlendirmeler Bölüm 5.1'de açıklanan hesaplarda yapılan varsayımlar kapsamında geçerlidir.

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden KSY (ATC 40 ve KSY FEMA 440) ve KYK (FEMA 356 ve FEMA 440)'nin 1.mod ve SRSS atalet kuvveti dağılımlarına göre karşılaştırılmaları ve değerlendirmeleri kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, kat yatay yerdeğiştirmeleri ve kat giriş plastik dönmeleri, maksimum görelî kat ötelemesi, maksimum yerdeğiştirme talebi, maksimum dayanım talebi ve maksimum giriş plastik dönme talebi parametreleri ile yapılmıştır. Yapılan tüm karşılaştırmalarda ve değerlendirmelerde KYK FEMA 440 referans olarak alınmıştır.

KSY ATC 40'ın her iki deprem seviyesi ve her iki yük dağılımı için incelenen analiz parametrelerini belirlemede yetersiz kaldığı görülmüştür. Bunun nedeninin deprem etkisi altındaki binaların etkin sönümünün belirlenmesindeki yetersizlikten kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

KSY FEMA 440 ve YKY FEMA 440 ile her iki deprem seviyesi ve her iki yatay yük dağılımı için tüm periyot bölgelerindeki (0.5 sn'den küçük; 0.5 – 1.0 sn ve 1.0 sn'den büyük) binalarda incelenen tüm parametrelere ait dağılımların hemen hemen aynı ve maksimum davranış talepleri (maksimum yerdeğiştirme, maksimum görelî öteleme, maksimum dayanım, maksimum kat giriş plastik dönmesi) değerlerinin hemen hemen aynı olduğu belirlenmiştir.

YKY FEMA 356'nın D1 deprem seviyesi ve her iki yük dağılımı için YKY FEMA 440'a göre incelenen tüm parametrelerin benzer dağılım gösterdiği ve maksimum davranış taleplerine ait değerlerin de çok yakın sonuç verdiği belirlenmiştir. Ancak yapısal elemanlarda yaşam güvenliği performans seviyesini meydana getiren D2 deprem seviyesi için, YKY FEMA 356'nın KSY FEMA 440 ve YKY FEMA 440'a göre çok az da olsa fazla sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Yapılan tüm analizler sonucunda beklenildiği gibi kat kesme kuvveti dağılımının yöntemler arasındaki farkı belirlemede etkin bir parametre olmadığı belirlenmiştir.

Benzer şekilde ifade etmek gerekirse, yapılan tüm analizler sonucunda kat giriş plastik dönme dağılımı parametresinin incelenen diğer parametrelere (kat kesme kuvveti, görelî kat ötelemesi, kat yatay yerdeğiştirmesi) göre yöntemler arasındaki farkı belirlemede en etkili parametre olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında binaların performans seviyelerinin belirlenmesinde ve yapılan karşılaştırmalarda her iki deprem seviyesi için de

yatay yük dağılımlarının (1.mod atalet kuvveti ve SRSS atalet kuvveti dağılımı) analiz sonuçlarına ait yorumu değiştirmediği ifade edilebilir. Yani her iki yük dağılımı için elde edilen bina performans seviyeleri, incelen parametrelere ait dağılımlar ve maksimum davranış taleplerinin yüksek modun etkili olduğu binalarda birbirlerine oldukça yakın sonuç verdikleri belirlenmiştir.

Her periyot bölgesi için doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden hangilerinin gerçek bina davranışına daha yakın sonuçlar verdiğini belirleyebilmek için doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi (Non-linear Time History) referans alınarak, bu çalışmada elde edilen sonuçlarla değerlendirilmesinin gerekli olduğu düşünölmektedir.

Ayrıca, tekrarlı yükler altında plastik mafsalların histeretik modellerine ait rijitlik azalması (stiffness degrading) ve dayanım azalması (strength degrading) modellerinin de gözönüne alınarak doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinin karşılaştırmalarının yeniden yapılmasının da yararlı olacağı düşünölmektedir.

Düzenli binalar için yapılan bu çalışmaların, düzensiz binaları da içerecek kapsamının genişletilmesinin yararlı olacağı düşünölmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Özer, E., “Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi“, [www.ins.itu.edu.tr/eozer](http://www.ins.itu.edu.tr/eozer), İstanbul, (2006)
- [2] SEAOC, “Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, Blue Book”, Structural Engineers Association of California, Seventh Edition, Sacramento,CA, (1999).
- [3] Vision 2000, “Performance Based Seismic Engineering of Buildings”, Structural Engineers Association of California, , Sacramento,CA, (1995).
- [4] ATC 40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC 40, V.1, Applied Technology Council, Washington, DC., USA, (1996).
- [5] FEMA, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 273, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC., USA, (1997).
- [6] FEMA, NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 356, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC., USA, (2000).
- [7] FEMA, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, FEMA 440, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC., USA, (2004).
- [8] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik ”, (2006).

- [9] European Standard Norme (Eurocode8), Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, (2003).
- [10] European Standard Norme (Eurocode8), Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings, (2004).
- [11] Özer, E., "Determination of Second-Order Limit Load by a Method of Load Increments", Bulletin of the Technical University of İstanbul, V.40, No.4, (1987), 815.
- [12] İrtem, E., "Uzay Çubuk Sistemlerde İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, (1991).
- [13] Girgin, K., "Betonarme Yapı Sistemlerinde İkinci Mertebe Limit Yükün ve Göçme Güvenliğinin Belirlenmesi İçin Bir Yük Artımı Yöntemi", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, (1996).
- [14] Freeman, S.A., "Development and Use of Capacity Spectrum Method", 6th U.S. Natural Conference on Earthquake Engineering, Seattle, (1998).
- [15] Fajfar, P., "Capacity Spectrum Method Based on Inelastic Demand Spectra", Earthquake Engng. Struct. Dyn., V. 28, (1999), 979.
- [16] Zhao, Z.Z., Kwan, A.K.H. ve Fang, E.H., "Simplified Pushover Analysis of Tall Building Structures", Engineering Mechanics Division Conference, Baltimore, (1999).
- [17] Albanesi, T., Nuti, C. ve Vanzi, I., "A Simplified Procedure to Assess the Seismic Response of Nonlinear Structures", Earthquake Spectra, V.16, No.4 (2000).

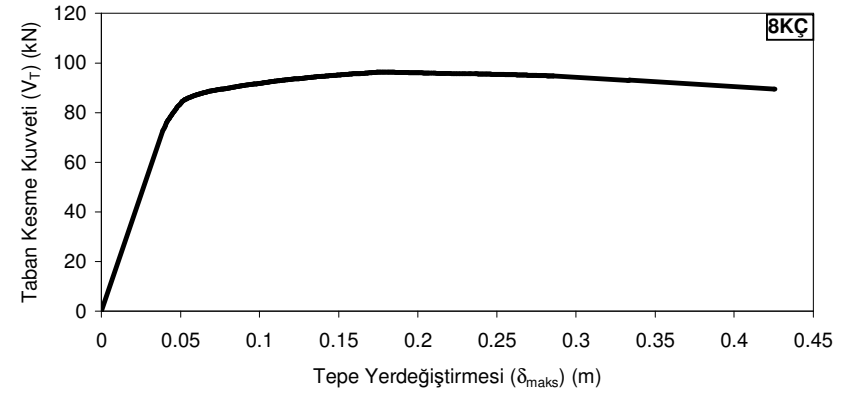
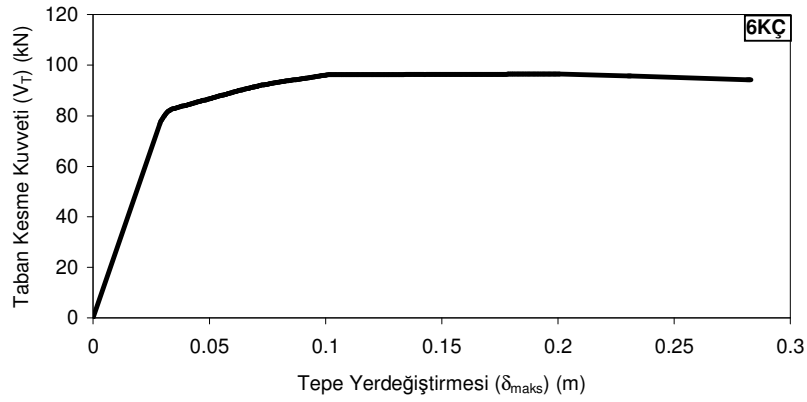
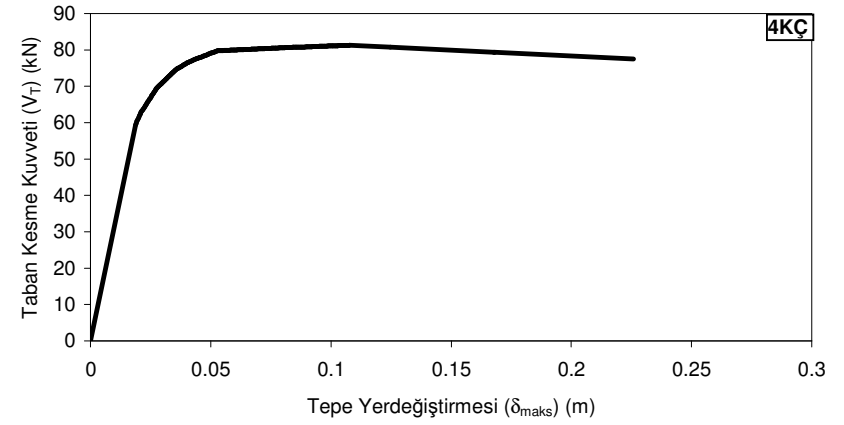
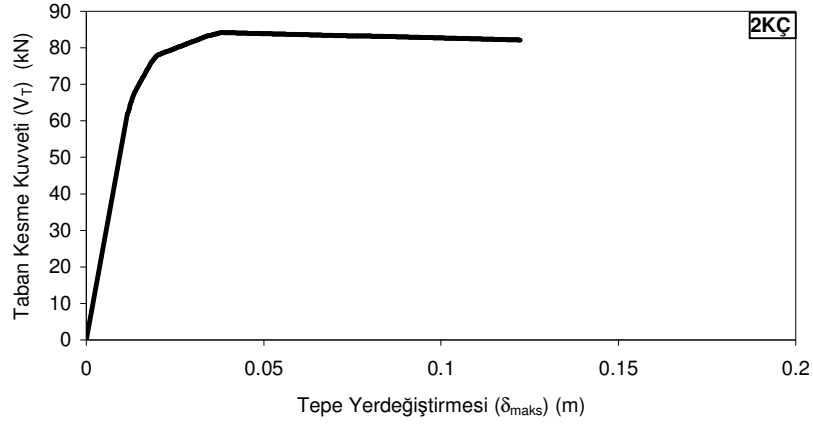
- [18] Aschheim, M. ve Black, E., "Yield Point Spectra for Seismic Design and Rehabilitation", *Eartquake Spectra*, V.16, No.2, (2000), 317.
- [19] Chopra, K.A. ve Goel, R.K., "Evaluation of NSP to Estimate Seismic Deformation: SDF Systems ", *Journal of Struct. Engineering*, V.126, No. 4, (2000).
- [20] Zamfirescu, D. ve Fajfar, P., "Comparison Of Simplified Procedures for, Nonlinear Seismic Analysis Of Structures", *Proceedings of the 3th U.S-Japan Workshop on Performance-Based Earthquake Engineering Methodoloy for Reinforced Concrete Buildings*, Seattle, (2001).
- [21] Miranda, E. ve Garcia, J.R., "Evaluation of Approximate Methods to Estimate Maximum Inelastic Displacement Demands", *Eartquake Engng. Struct. Dyn.*, V. 31, (2001), 539.
- [22] Lew, H.S. ve Kunnath S.K., " Evaluation of Nonlinear Static Procedures for Seismic Desing of Buildings", *33rd Joint Meeting of the UJNR Panel on Wind and Seismic Effects*, (2001).
- [23] Moghadam, A.S., "A Pushover Procedure for Tall Buildings", *12th European Conference on Earthquake Engineering*, Paper no.395, London (2002).
- [24] Iancovici, M., Fukuyama, H. ve Kusunoki, K., "The Assessment of The Reinforced Concrate Building Structures Based on the Seismic Performance Concept", *Fifth International Congress on Advances in Civil Engineering*, İstanbul, (2002), 555.
- [25] Falcao, S. ve Bento R., "Analysis Procedures for Performance-Based Seismic Design", *12th European Conference on Earthquake Engineering*, Paper no. 371, London, (2002).



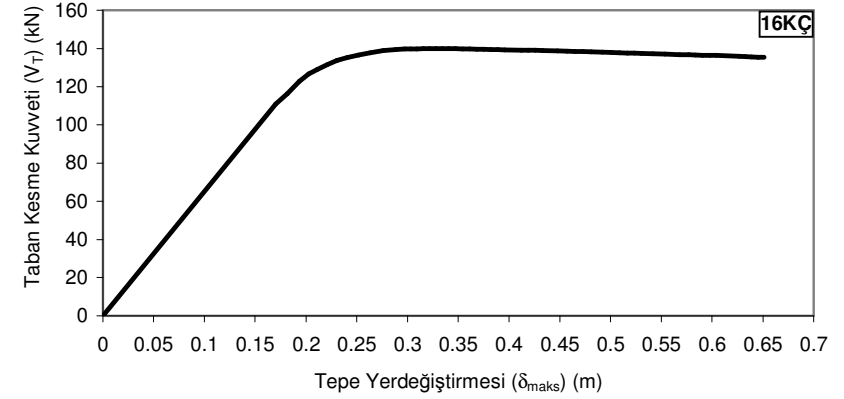
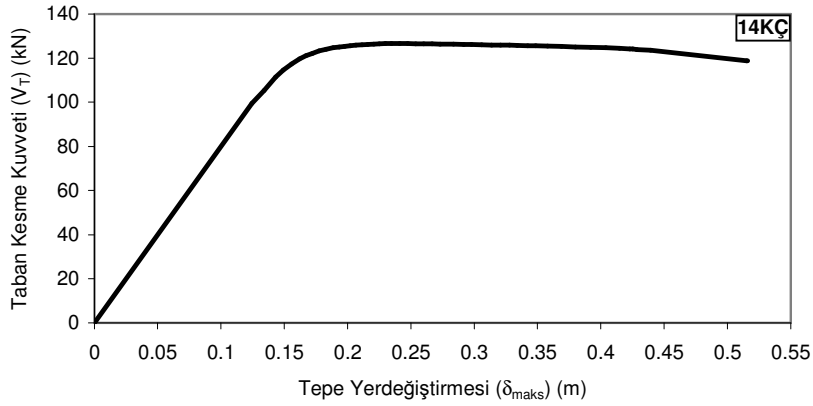
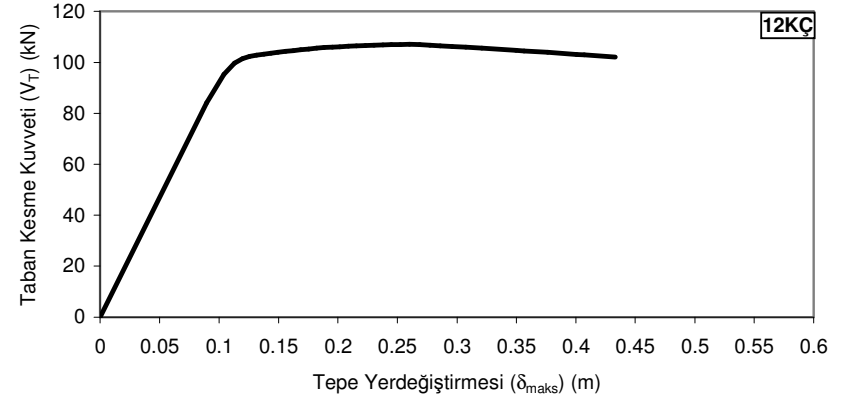
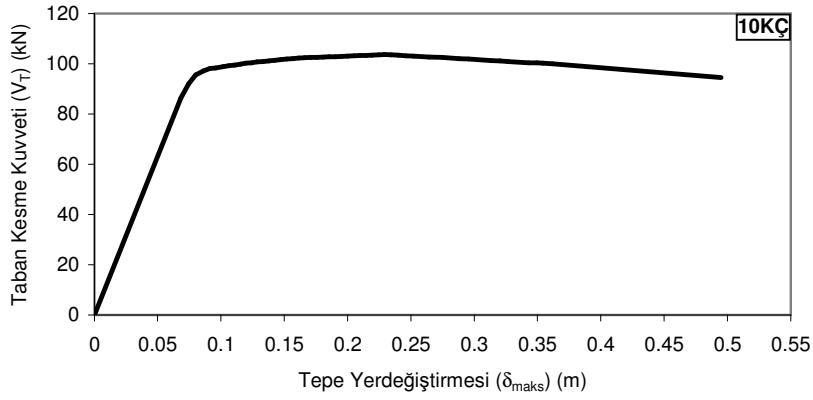
- [26] Albanesi, T., Nuti, C. ve Vanzi, I., "State Of The Art Review for Non Linear Static Methods", 12th European Conference on Earthquake Engineering, London , (2002), 602.
- [27] Jan, T.S., Liu, M.W.ve Kao, Y.C., "An Upper-bound Pushover Procedure for Estimating the Seismic Demands of High-rise Buildings", Engineering Structures V.26, (2003), 128.
- [28] Lin, Y. ve Chang, K., "An Improved Capacity Spectrum Method for ATC-40", Earthquake Engng. Struct. Dyn., V. 32, (2003), 2025.
- [29] Luco, N., Mori, Y., Funahashi, Y., Cornell, C.A. ve Nakashima, M., "Evaluation of Predictors of Nonlinear Seismic Demands Using "Fishbone" Models of SMRF Buildings", Earthquake Engng. Struct. Dyn., Early View (2003).
- [30] Lin, Y. Chang, K. ve Wang, Y., "Comparison of Displacement Coefficient Method and Capacity Spectrum Method with Experimental Results of RC Columns", Earthquake Engng. Struct. Dyn., V. 33, (2004), 48.
- [31] Türker, K., "Yapıların Deprem Davranışının Belirlenmesi için Çok Modlu Uyarlamalı Yük Artımı Yöntemi", Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2005).
- [32] Kalkan, E. ve Kunnath, S.K., "Assessment of Current Nonlinear Static Procedures for Seismic Evaluation of Buildings", Engineering Structures, (In press) Baskıda, (2006).
- [33] Fragiacommo, M., Amadio, C. ve Rajgelj, S., "Evaluation of the Structural Response Under Seismic Actions Using Non-linear Static Methods", Earthquake Engng. Struct. Dyn., (In press) Baskıda (2006).
- [34] Türk Standartları, "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TS 498", Türk Standartları Enstitüsü, (1987).

- [35] Türk Standartları, "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TS 500", Türk Standartları Enstitüsü, (2000).
- [36] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", (1998).
- [37] Aksoylu, G., "Betonarme Yapı Sistemlerinde Pekleşme Etkisini Gözönüne Alan Bir Doğrusal Olmayan Artımsal Analiz Yöntemi", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- [38] Hasgöl, U., "Türk Deprem Yönetmeliğine göre Boyutlandırılan Betonarme Binaların Performanslarının İrdelenmesi", Y.Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2004).
- [39] Chopra K.A. ve Chintanapakdee, C., "Inelastic Deformation Ratios for Design and Evaluation of Structures: Single-Degree-of-Freedom Bilinear Systems", Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No: EERC 2003-09, (2003).
- [40] Chopra K.A, Dynamics of Structures, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey, (2001).
- [41] RAM INTERNATIONAL, User guide and element descriptions RAM Perform-2D, Ver.130, <http://www.ramint.com>, (2004).

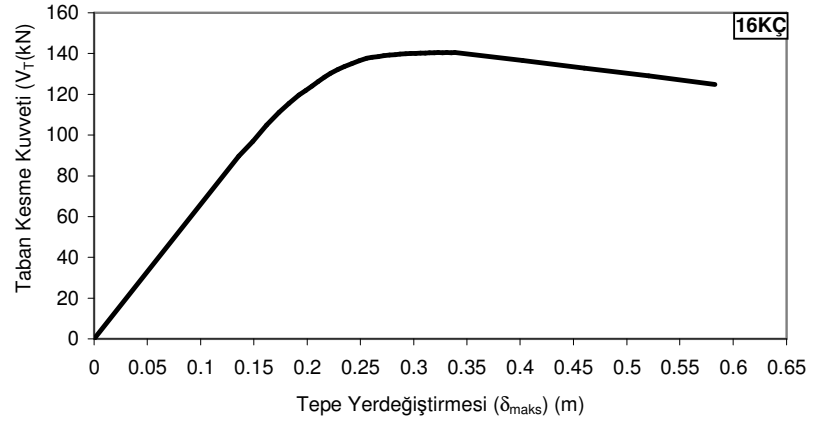
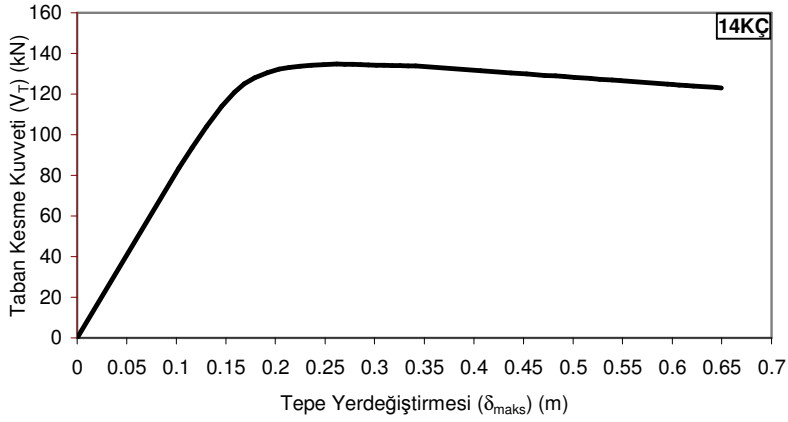
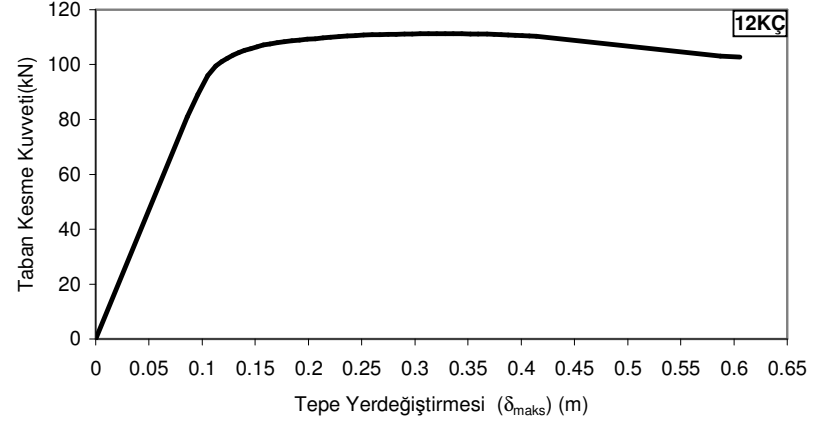
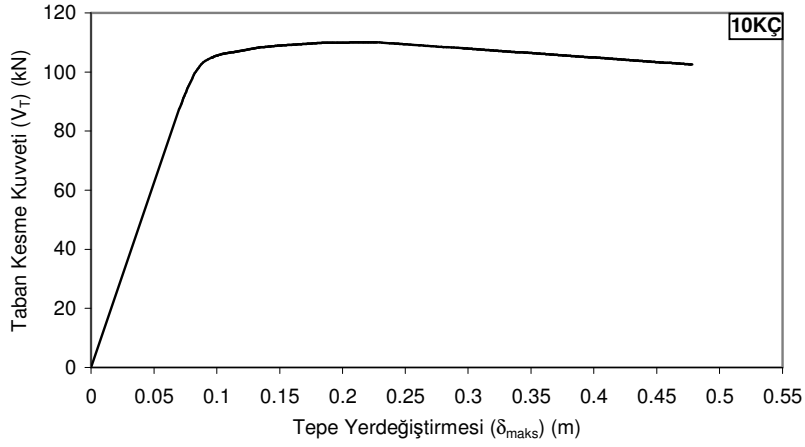
EK-A  
İncelenen Binaların 1. Mod ve SRSS Dağılımları Kullanılarak Elde Edilen  
Kapasite Eğrileri



Şekil A.1 İncelenen binaların 1. mod dağılımları kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri



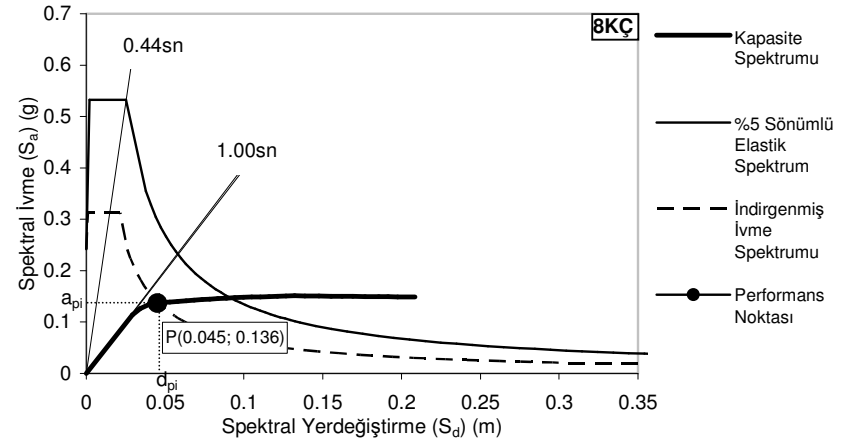
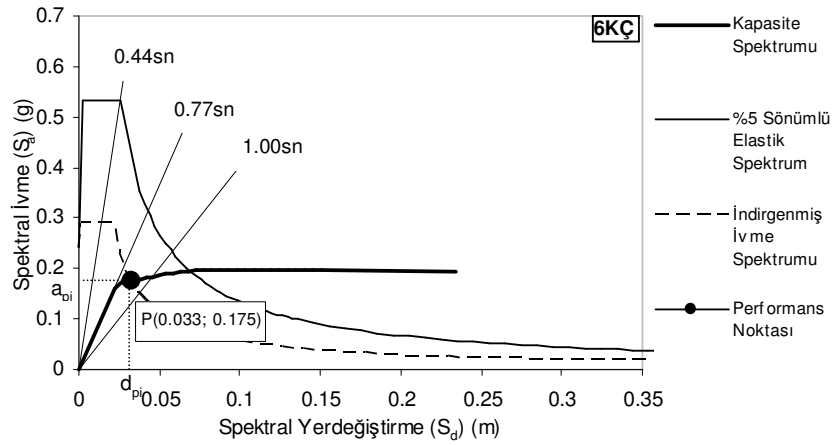
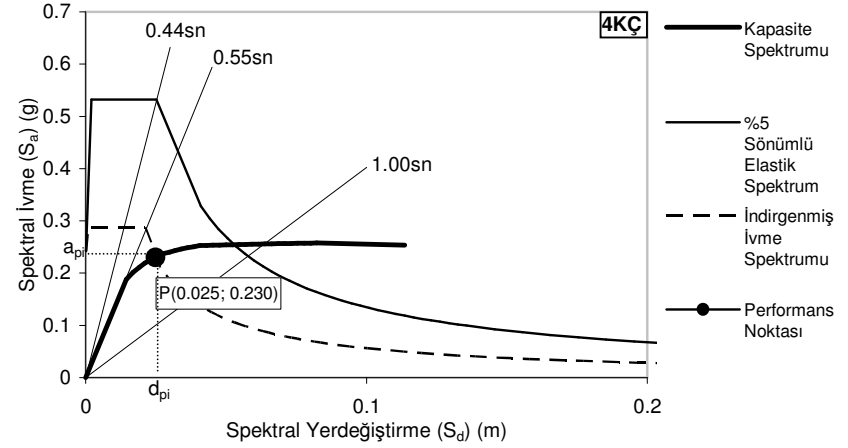
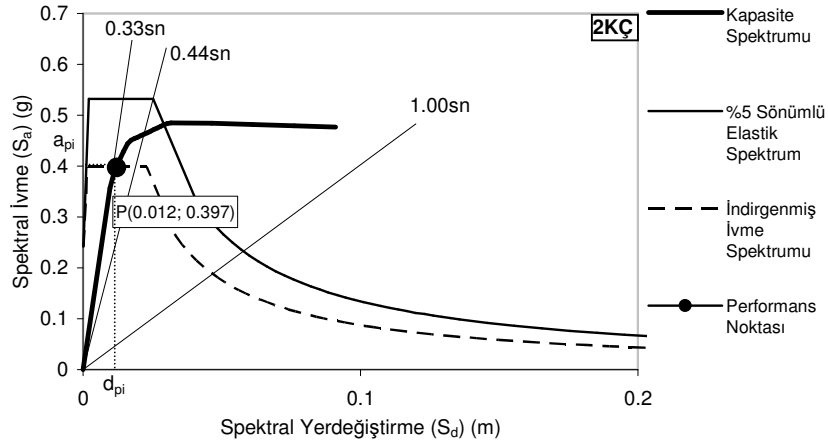
Şekil A.1 İncelenen binaların 1. mod dağılımları kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri (devam)



Şekil A.2 İncelenen binaların SRSS dağılımları kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri

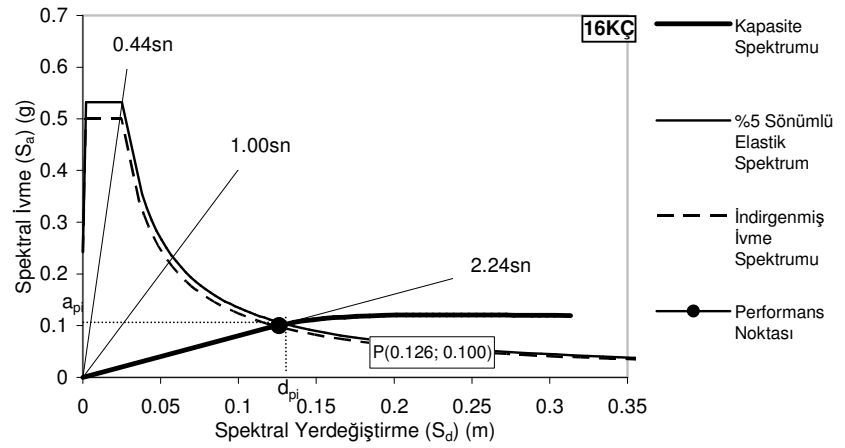
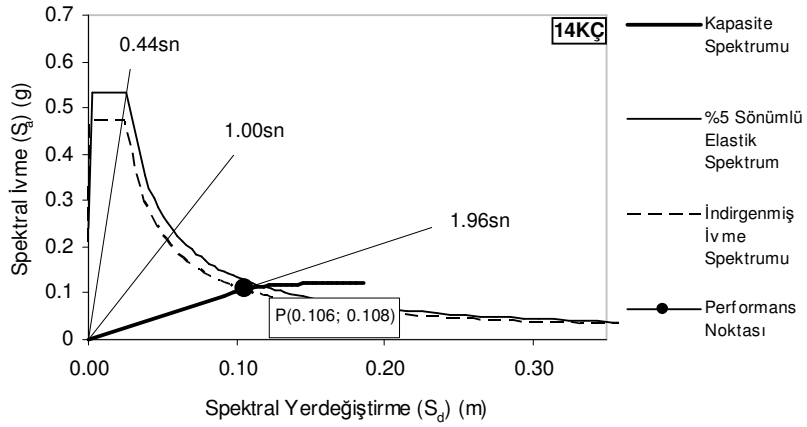
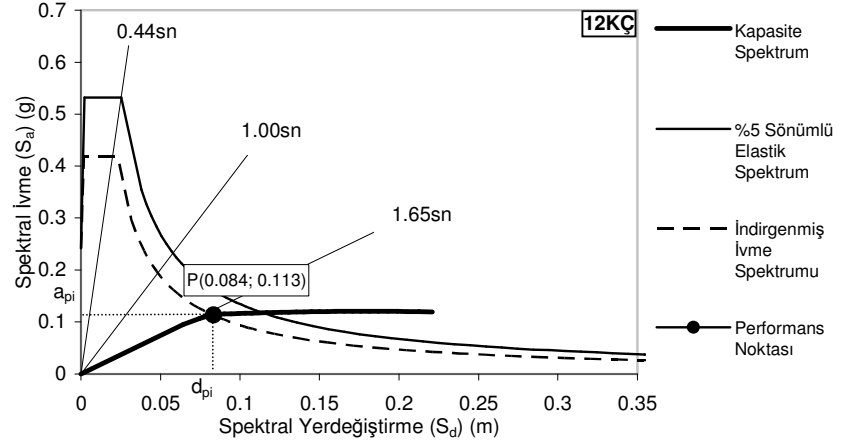
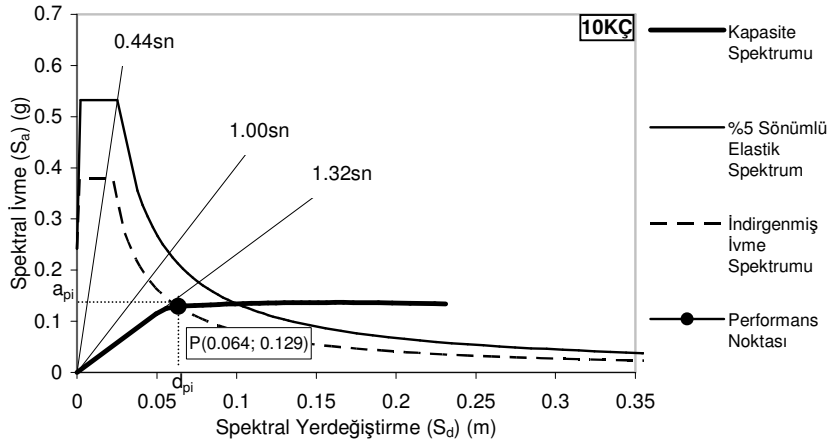
EK-B

İncelenen Binaların KSY ATC 40 ve KSY FEMA 440 ile Performans  
Noktalarının Belirlenmesi

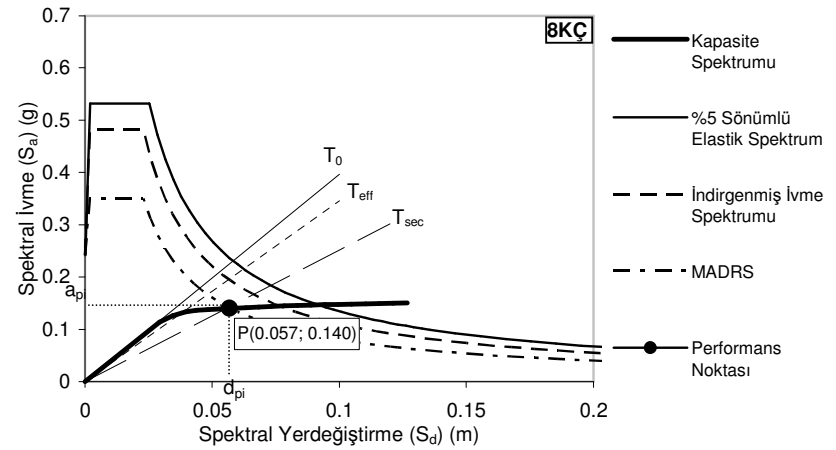
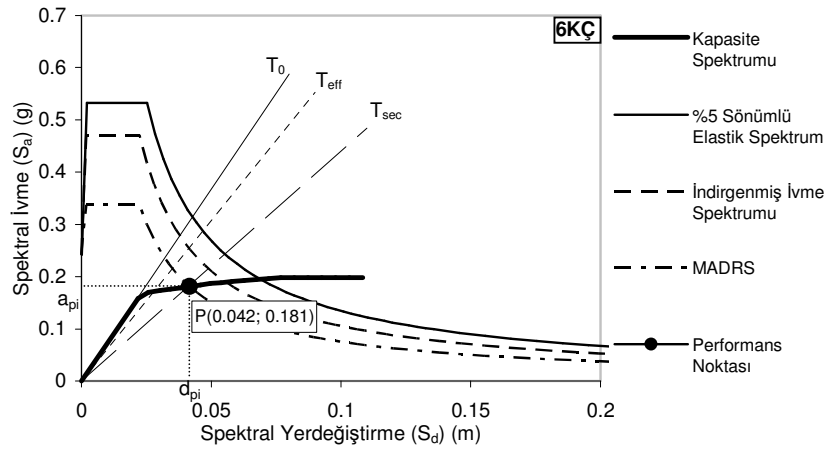
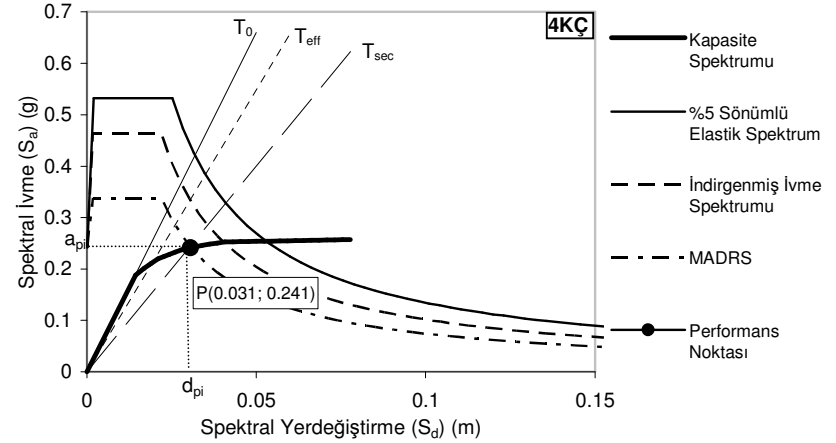
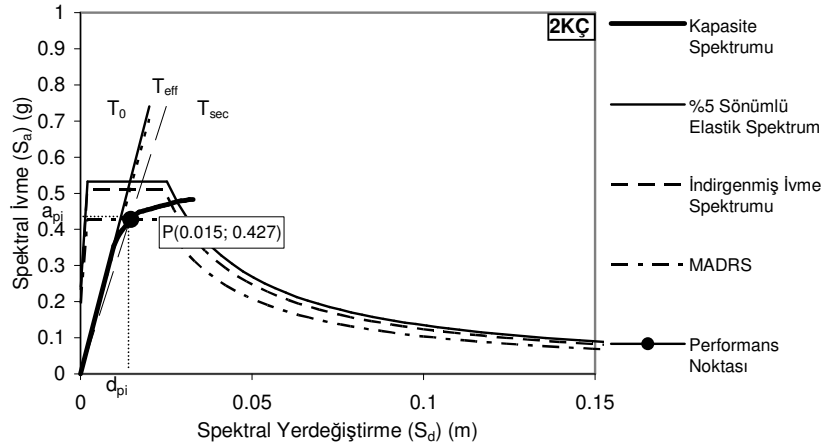


Şekil B.1 Binaların D1 deprem seviyesi için 1. mod dağılımlarına göre KSY ATC 40 ile performans noktalarının belirlenmesi

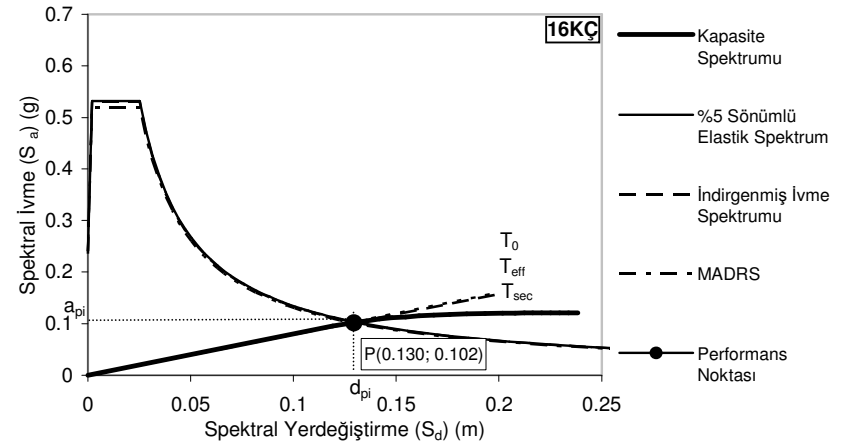
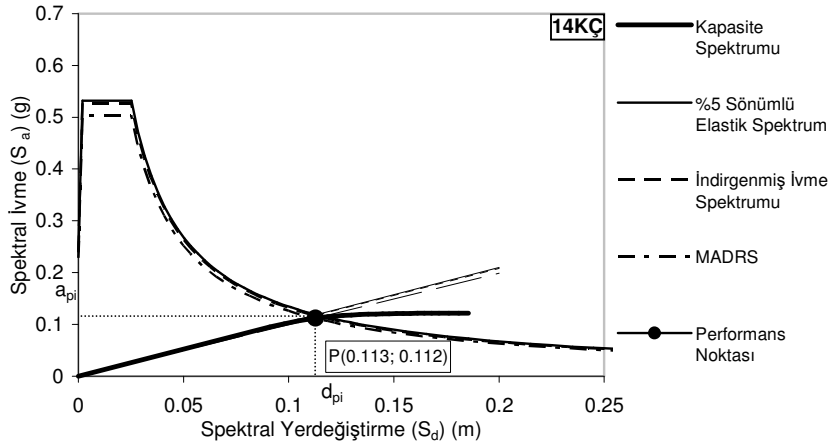
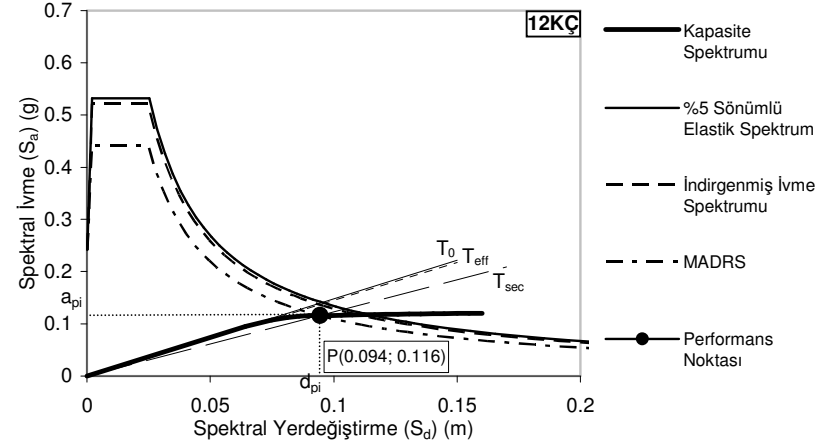
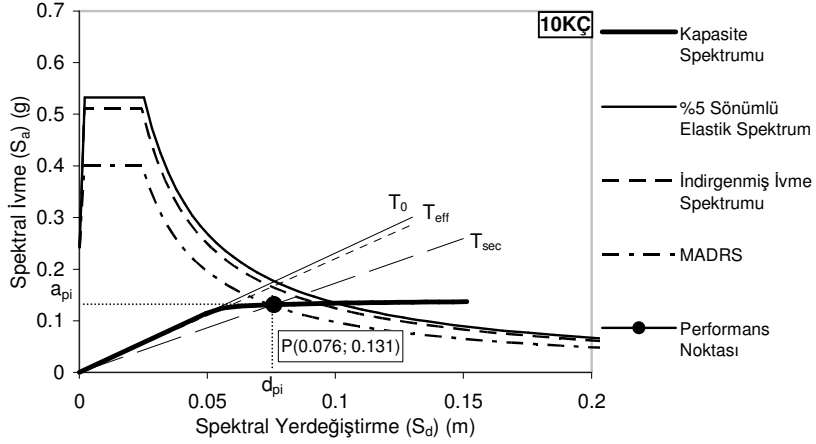




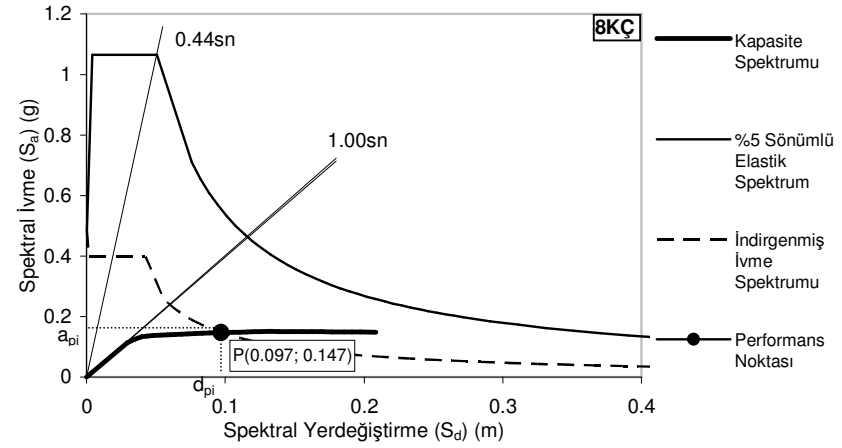
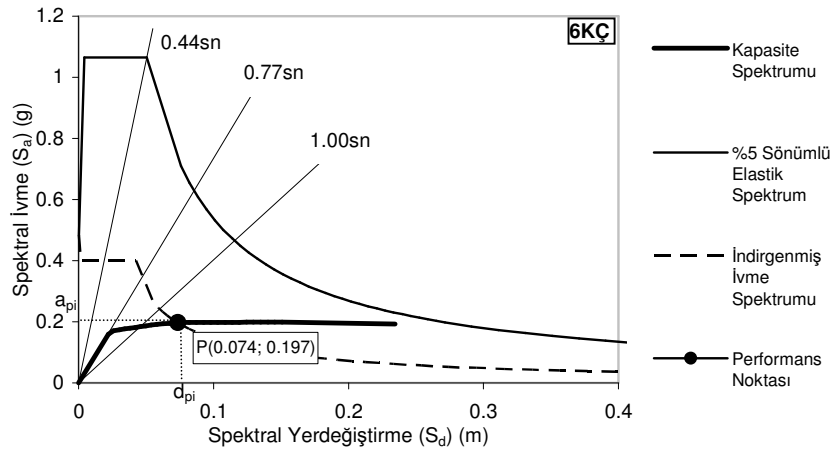
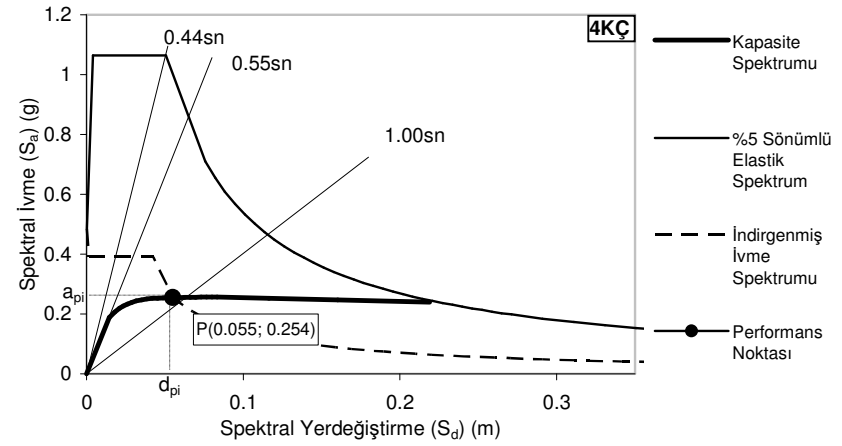
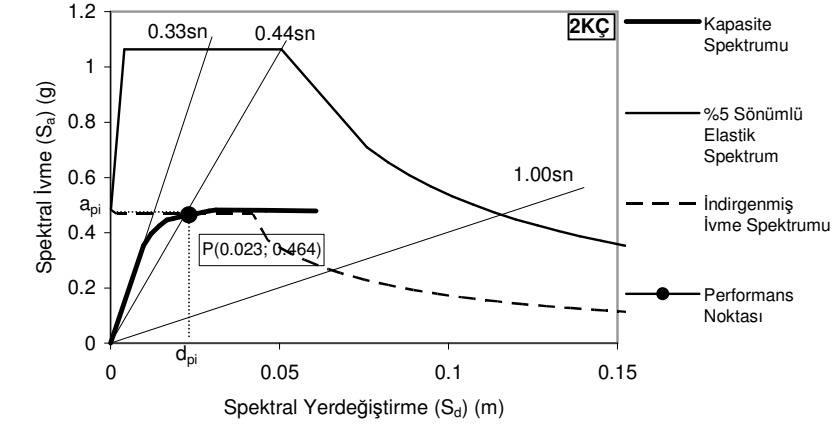
Şekil B.1 Binaların D1 deprem seviyesi için 1. mod dağılımlarına göre KSY ATC 40 ile performans noktalarının belirlenmesi (devam)



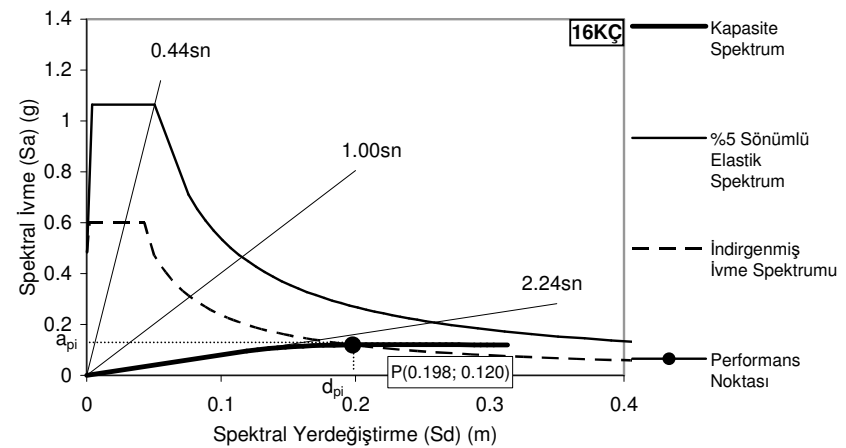
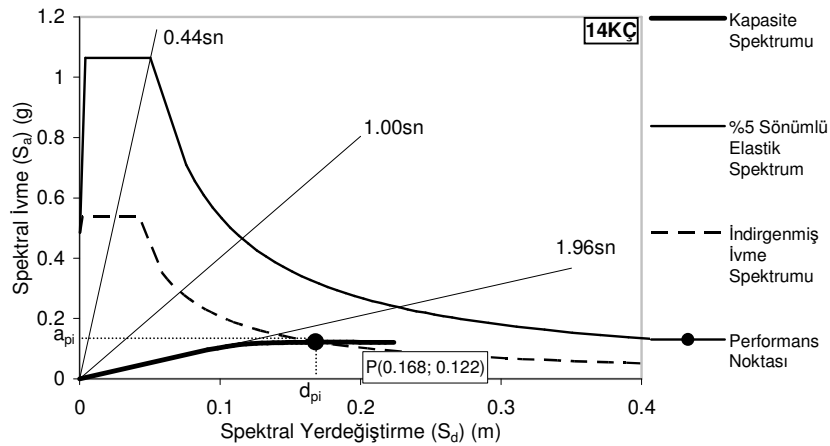
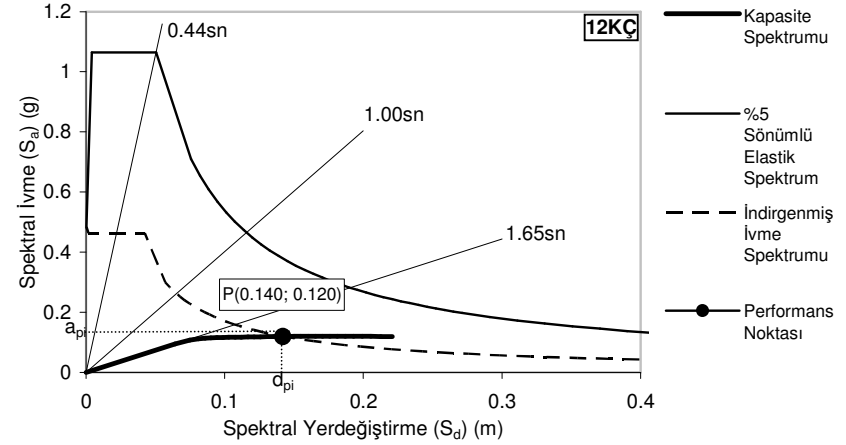
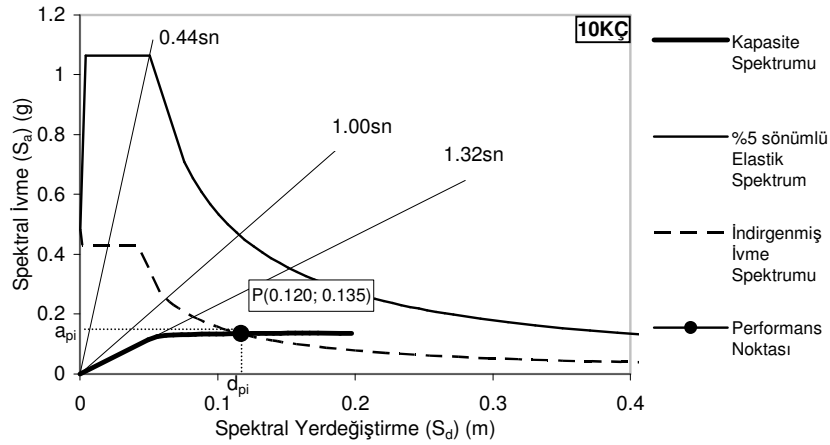
Şekil B.2 Binaların D1 deprem seviyesi için 1. mod dağılımlarına göre KSY FEMA 440 ile performans noktalarının belirlenmesi



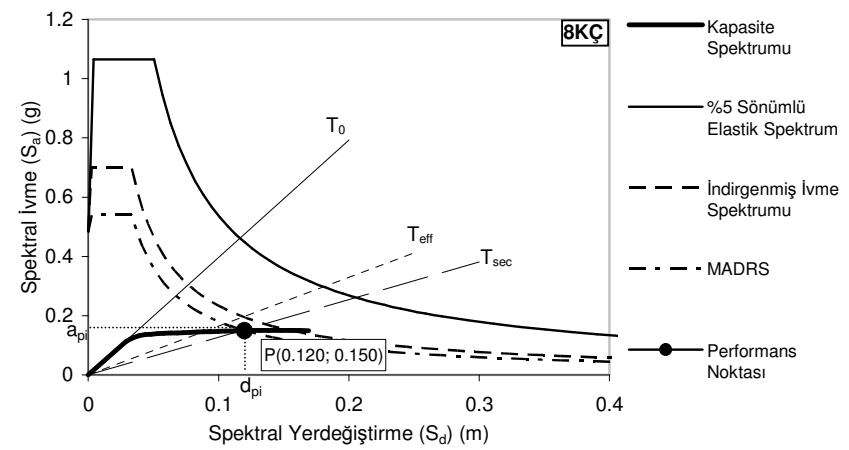
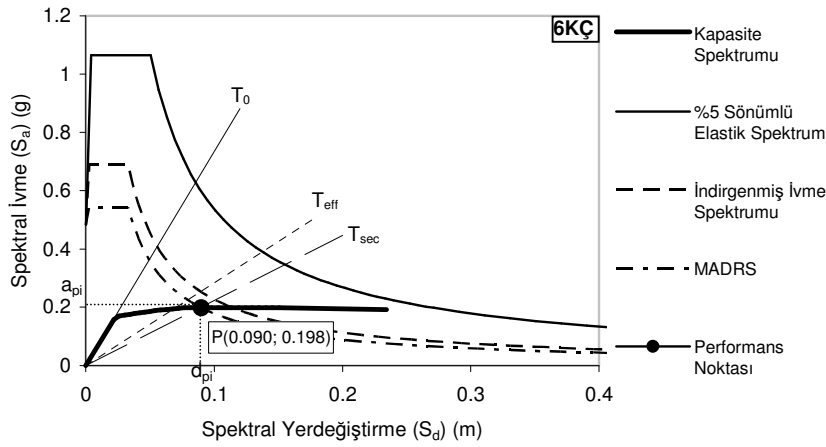
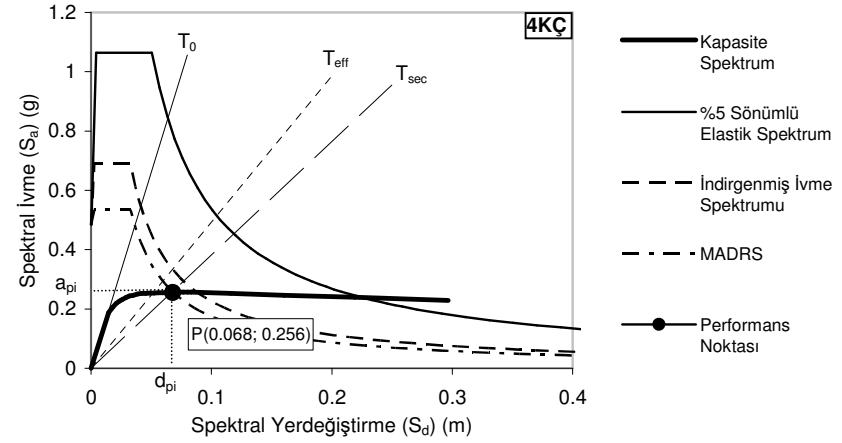
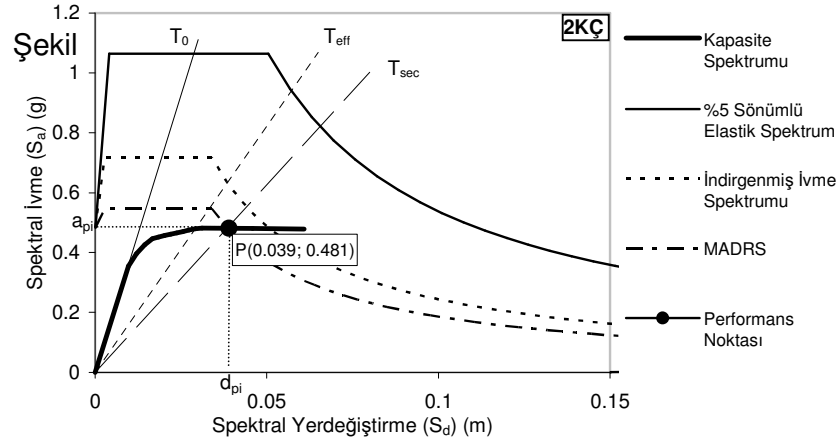
Şekil B.2 Binaların D1 deprem seviyesi için 1.mod dağılımlarına göre KSY FEMA 440 ile performans noktalarının belirlenmesi (devam)



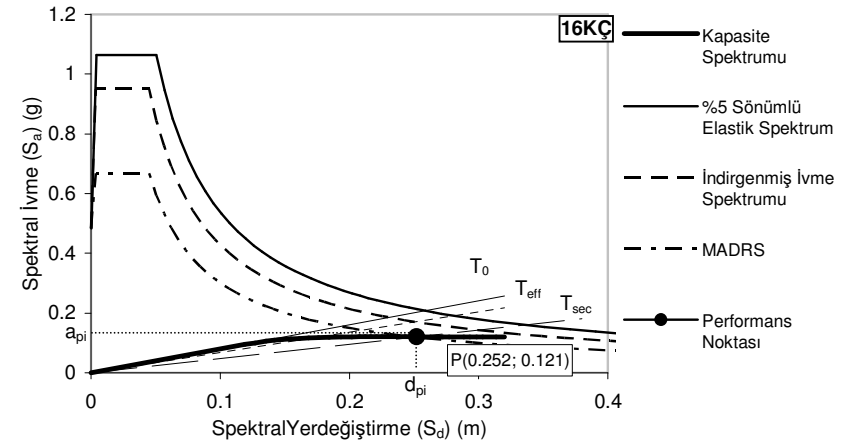
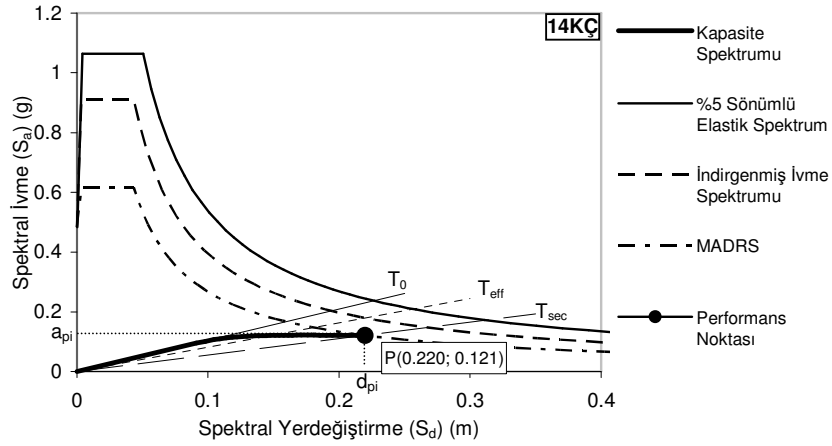
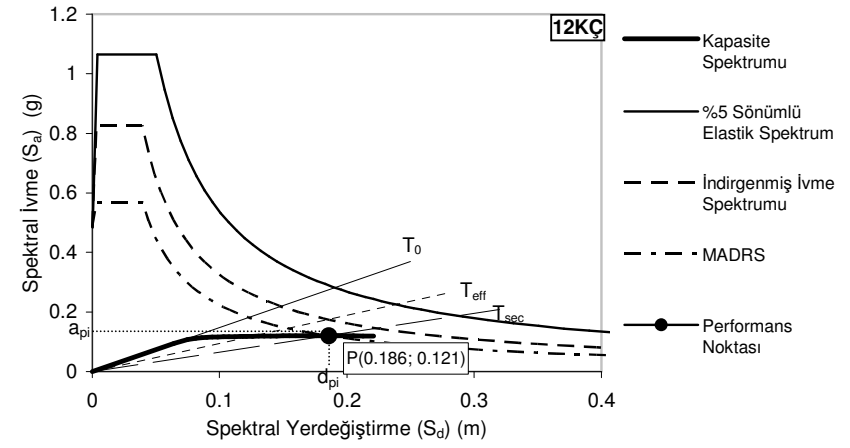
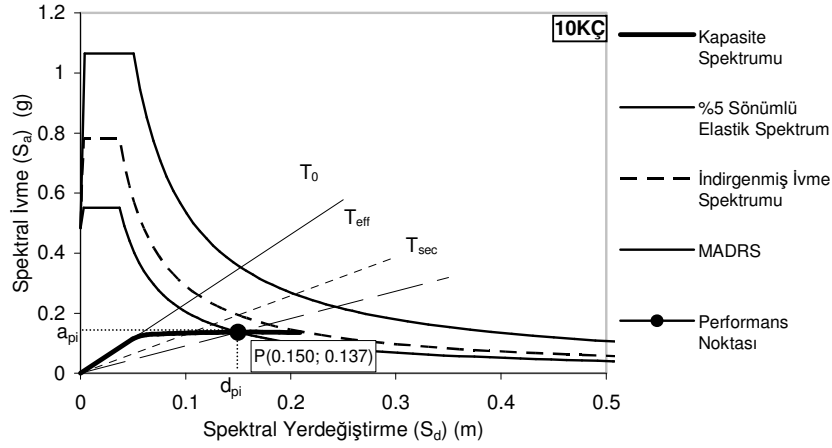
Şekil B.3 Binaların D2 deprem seviyesi için 1. mod dağılımlarına göre KSY ATC 40 ile performans noktalarının belirlenmesi



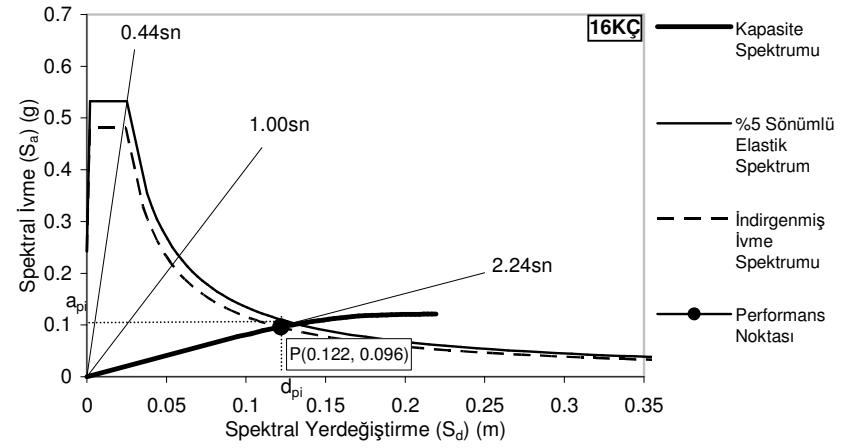
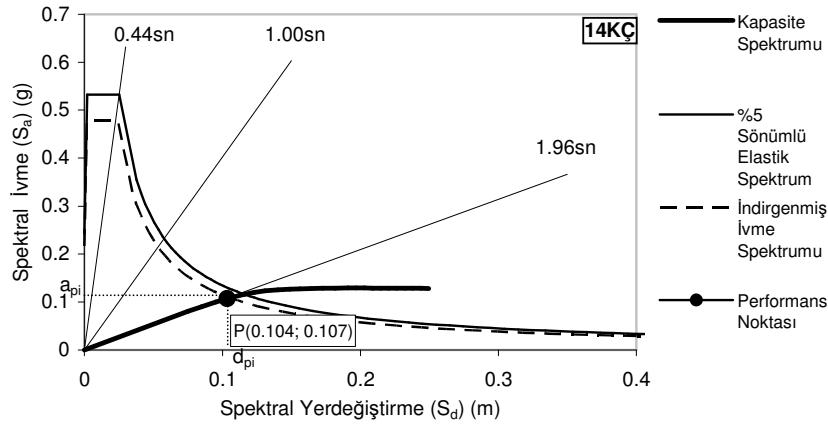
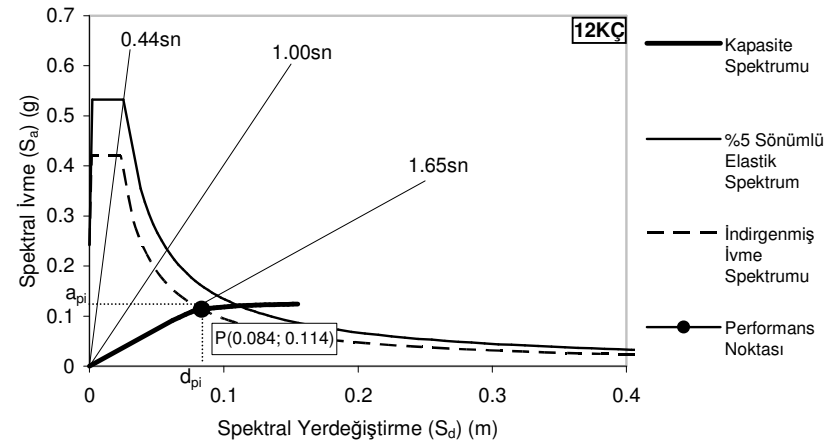
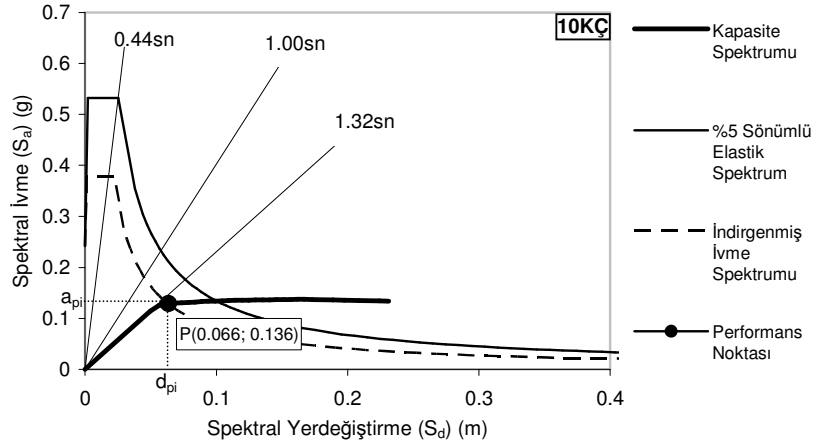
Şekil B.3 Binaların D2 deprem seviyesi için 1. mod dağılımlarına göre KSY ATC 40 ile performans noktalarının belirlenmesi (devam)



Şekil B.4 Binaların D2 deprem seviyesi için 1. mod dağılımlarına göre KSY FEMA 440 ile performans noktalarının belirlenmesi

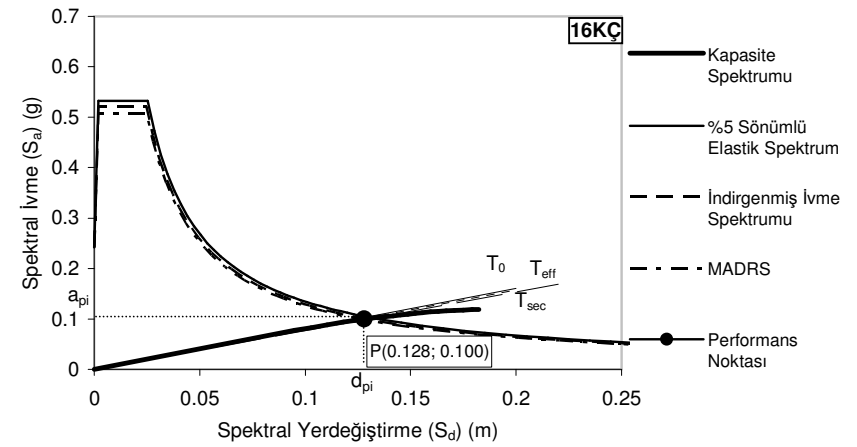
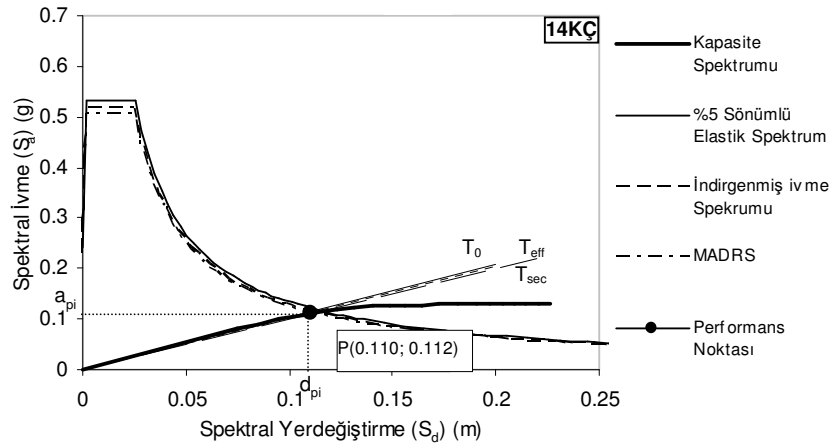
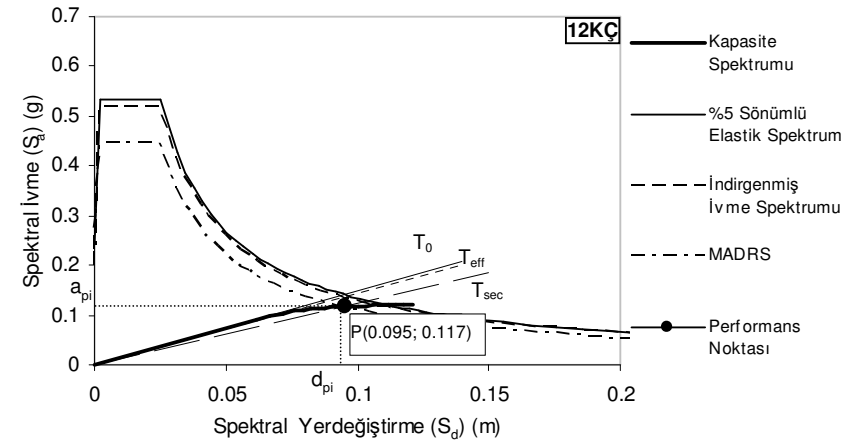
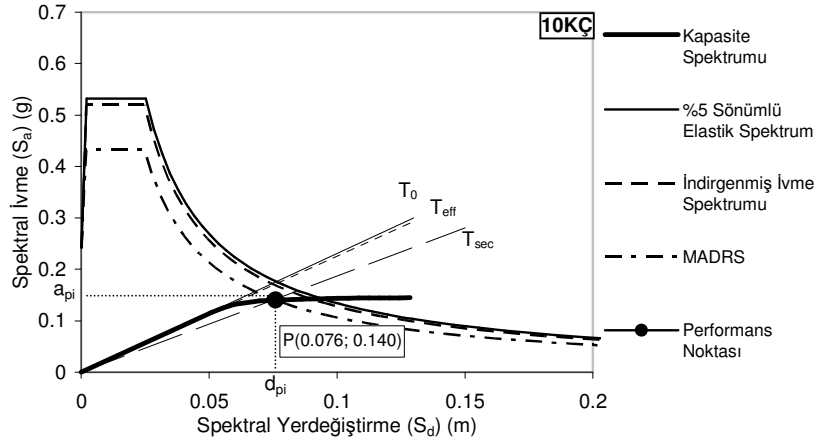


Şekil B.4 Binaların D2 deprem seviyesi için 1. mod dağılımlarına göre KSY FEMA 440 ile performans noktalarının belirlenmesi (devam)

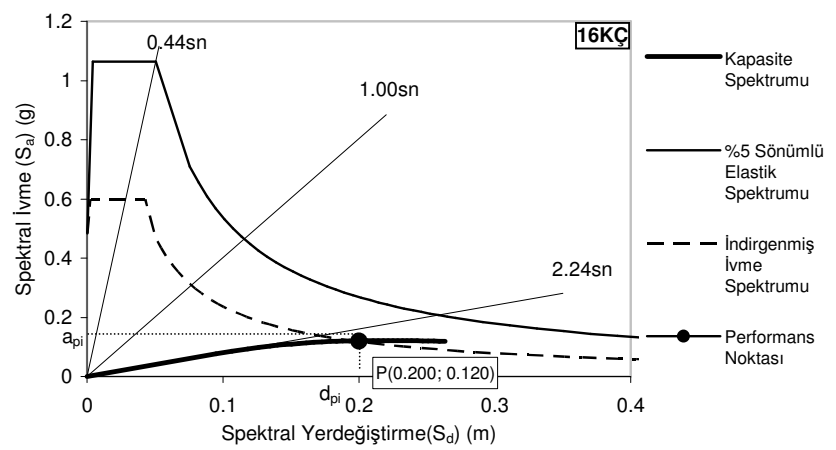
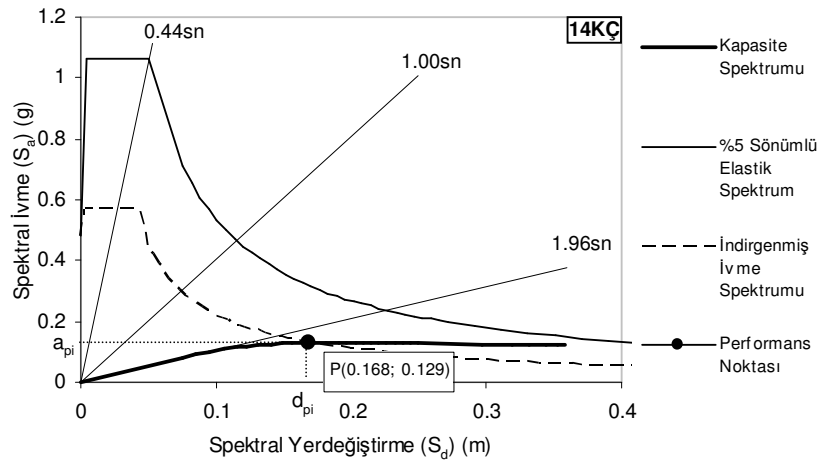
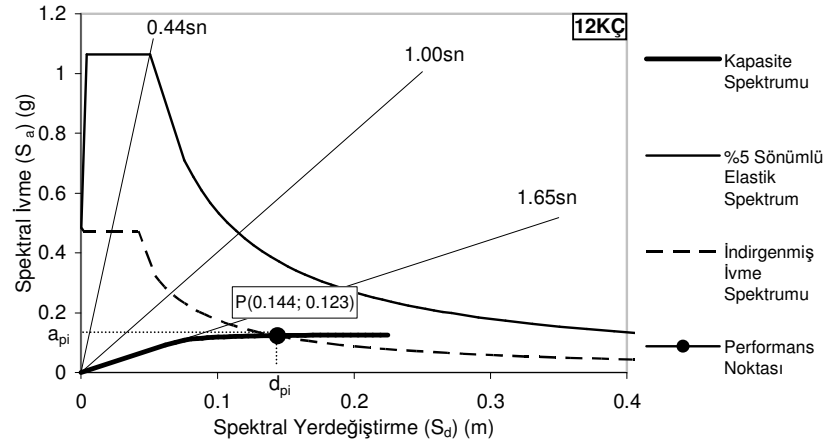
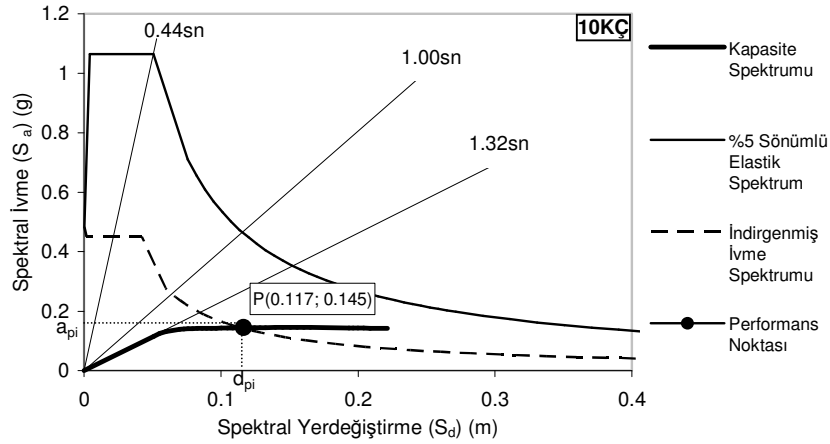


Şekil B.5 Binaların D1 deprem seviyesi için SRSS dağılımlarına göre KSY ATC 40 ile performans noktalarının belirlenmesi

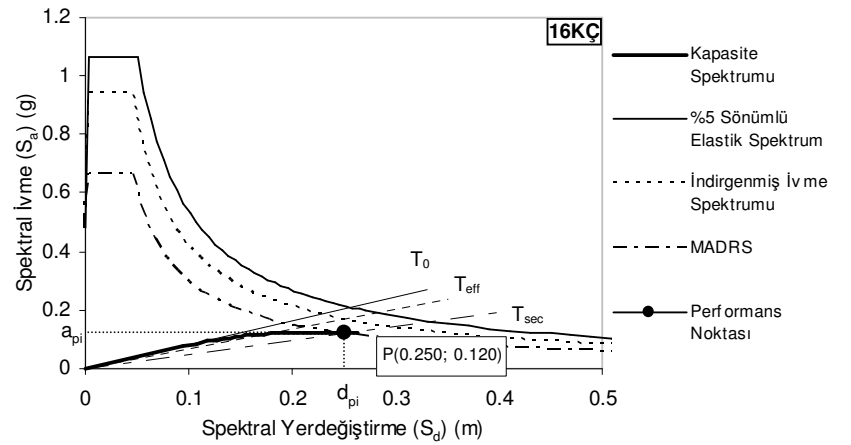
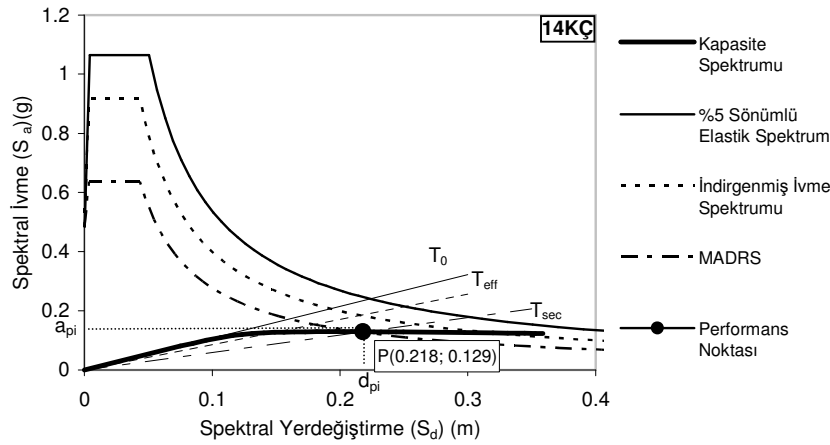
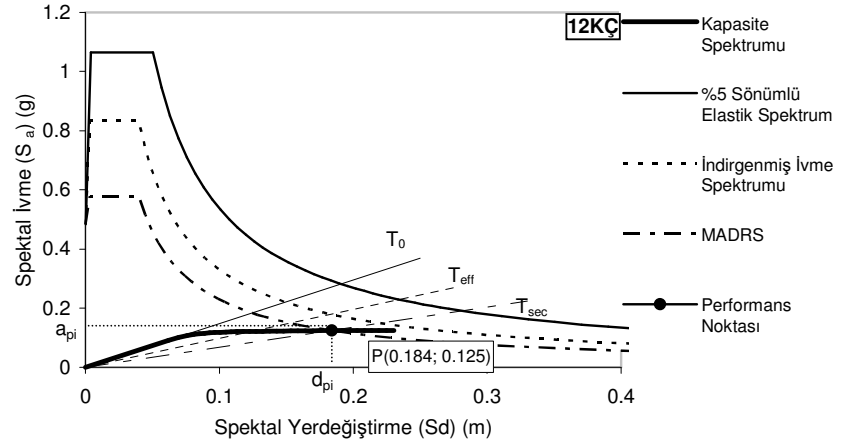
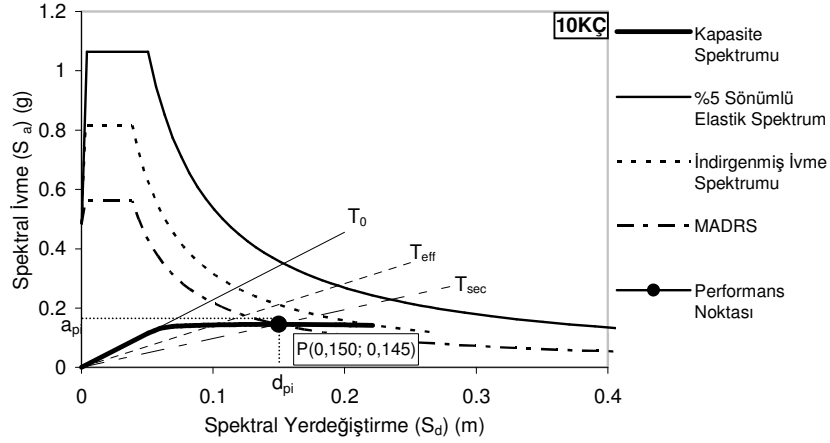




Şekil B.6 Binaların D1 deprem seviyesi için SRSS dağılımlarına göre KSY FEMA 440 ile performans noktalarının belirlenmesi



Şekil B.7 Binaların D2 deprem seviyesi için SRSS dağılımlarına göre KSY ATC 40 ile performans noktalarının belirlenmesi



Şekil B.8 Binaların D2 deprem seviyesi için SRSS dağılımlarına göre KSY FEMA 440 ile performans noktalarının belirlenmesi