

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

**TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE BOYUTLANDIRILAN  
BETONARME BİNALARIN PERFORMANSLARININ  
İRDELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Umut HASGÜL**

149886

**Balıkesir, Ağustos – 2004**

749886

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

TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE BOYUTLANDIRILAN  
BETONARME BİNALARIN PERFORMANSLARININ  
İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Umut HASGÜL

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Erdal İRTEM

Sınav Tarihi : 06.08.2004

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erkan ÖZER

Prof. Dr. Şerif SAYLAN

Doç. Dr. Erdal İRTEM

(İÜ) 

(BAÜ) 

(Danışman- BAÜ) 

Balıkesir, Ağustos - 2004

## ÖZET

# TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE BOYUTLANDIRILAN BETONARME BİNALARIN PERFORMANSLARININ İRDELENMESİ

Umut HASGÜL

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Balıkesir, 2004

Günümüzde çağdaş ülkelerin deprem yönetmeliklerinde binalar için öngörülen performans (deprem güvenliği) hedefleri (deprem tehlike seviyeleri ve yapıda oluşması beklenen hasar düzeyleri) net olmayan tanımlamalar ile ifade edilmektedir. Yaşanan depremler sonrasında, yapıların yönetmeliklerde can güvenliği için öngörülen performans düzeyini çoğunlukla sağladığı, ancak oluşan hasar seviyelerinin farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Son on yılda özellikle kentsel alanlarda meydana gelen şiddetli depremler sonucu oluşan hasarlar oldukça büyük ekonomik kayıplara yol açmıştır. Bu durum, mevcut yönetmeliklerdeki geleneksel kuvvete dayalı tasarım yaklaşımının sorgulanmasına ve performans esaslı yeni yaklaşımların ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Bu çalışmada, TS 500 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (TDY) göre boyutlandırılmış betonarme binaların farklı deprem tehlike seviyeleri için performans düzeylerinin belirlenmesi ve buna göre TDY'nin performans hedeflerinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, pratikte yaygın olarak kullanılan binaları temsil edeceği düşünülen farklı özelliklerdeki üç betonarme bina incelenmiştir. Ayrıca dolgu duvarlarının bina davranışına ve performans düzeyine etkisinin belirlenmesi amacıyla, dolgu duvarlı bina performansları da incelenmiştir. Binaların performanslarının belirlenmesinde malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan teorinin kullanıldığı statik itme analizini (pushover analiz) esas alan lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi ve Deplasman Katsayıları Yönteminden yararlanılmıştır. Deprem tehlike seviyelerinin ve performans düzeylerinin tanımlanmasında ATC 40, FEMA 356, VISION 2000 ve SEOAC Blue Book'da önerilen kriterlerden yararlanılmıştır. İncelenen binalar için, TDY'nde öngörülen performans hedeflerinin önemli ölçüde sağlandığı görülmüştür.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Betonarme yapı / dolgulu çerçeve / performans değerlendirmesi / lineer olmayan statik analiz / pushover analizi / kapasite spektrum yöntemi / deplasman katsayıları yöntemi

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF PERFORMANCES OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS DESIGNED ACCORDING TO THE TURKISH EARTHQUAKE CODE**

**Umut HASGÜL**  
**University of Balıkesir, Institute of Science**  
**Department of Civil Engineering**

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

**Balıkesir-Turkey, 2004**

Today, performance (seismic safety) objectives (seismic hazard levels and damage levels) stipulated for structures in modern codes are expressed by uncertain definitions. After recent earthquakes, it's understood that structures mostly ensure the life safety performance levels of the code but damage levels of the structures are different from each other. In the last decade damages that occur especially in urban areas after severe earthquakes caused huge economic losses. Consequently, the traditional force based design in the existing codes was scrutinized and new approaches based on performance were developed.

In this study performance levels of the Reinforced Concrete (RC) buildings that are designed according to TS 500 and Turkish Earthquake Code (TEC) are determined for different earthquake hazard levels and the performance objectives of TEC are investigated. Therefore, three different RC buildings which represent the commonly used buildings in practice are investigated. In addition, performance of infilled buildings is investigated to determine the effect of infills to building response and performance levels. Performance levels of buildings are determined by using Capacity Spectrum Method and Displacement Coefficient Method, which are non-linear static analysis methods based on pushover analysis (geometrically and materially non-linear theory included). The criterias in the ATC 40, FEMA 356, VISION 2000 and SEOAC Blue Book are utilized to define earthquake hazard levels and performance levels. It's seen that performance objectives stipulated in TEC for the buildings investigated are mostly ensured.

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

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEYWORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xiii
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1 Konu ile İlgili Çalışmaların İncelenmesi	3
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	16
<b>2. YAPILARIN PERFORMANSA DAYALI TASARIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ</b>	<b>17</b>
2.1 Performans Hedefleri	17
2.1.1 Deprem Tehlike Seviyeleri	18
2.1.2 Performans Düzeyleri	19
2.1.2.1 Yapısal Elemanlara ait Performans Düzeyleri ve Bölgeleri	20
2.1.2.2 Yapısal Olmayan Elemanlara ait Performans Düzeyleri	22
2.1.2.3 Bina Performans Düzeyleri	23
2.2 Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri	25
2.2.1 Lineer Olmayan Statik Analiz Yöntemleri	26
2.2.1.1 Kapasite Spektrumu Yöntemi (KSY)	28
2.2.1.2 Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY)	36
<b>3. İNCELENEN BİNALARIN PERFORMANS DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ</b>	<b>41</b>
3.1 Binaların Özellikleri	41
3.1.1 Dolgusuz Çerçeve Binaların Özellikleri	41
3.1.2 Dolgulu Çerçeve Binaların Özellikleri	49
3.2 Performans Hedeflerinin Tanımlanması	50
3.2.1 Deprem Tehlike Seviyelerinin Tanımlanması	51
3.2.2 Performans Düzeylerinin Tanımlanması	52
3.3 Binaların Matematik Modellenmesi ve Hesaplarda Yapılan Varsayımlar	55
3.4 Binaların Kapasite Spektrumu Yöntemi (KSY) ile Analizi	59
3.4.1 Binaların Kapasite Eğrilerinin Belirlenmesi	59

3.4.2	Kapasite Spektrum Yöntemi ile Deplasman Talebinin Belirlenmesi	62
3.4.3	Kapasite Spektrum Yöntemi ile Performans Düzeylerinin Belirlenmesi	71
3.5	Binaların Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) ile Analizi	74
3.5.1	Yapıların Kapasite Eğrilerinin Belirlenmesi	74
3.5.2	Deplasman Katsayıları Yöntemi ile Hedef Deplasmanın Belirlenmesi	74
3.5.3	Deplasman Katsayıları Yöntemi ile Performans Düzeylerinin Belirlenmesi	81
3.6	Kapasite Spektrumu Yöntemi ve Deplasman Katsayıları Yöntemi ile Elde Edilen Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	84
3.7	3KÇ ile 3KDÇ Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	88
<b>4.</b>	<b>TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNİN PERFORMANS HEDEFLERİNİN İRDELENMESİ</b>	<b>90</b>
<b>5.</b>	<b>SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b>	<b>92</b>
	<b>KAYNAKLAR</b>	<b>94</b>
	<b>EKLER:</b>	
EK A	Dolgusuz ve Dolgulu Çerçevelere ait Kapasite Eğrileri	100
EK B	Dolgusuz ve Dolgulu Binaların Performans Noktalarının Elde Edilmesi	105

## 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	$cm^2$
$A_g$	Kolon ve perdenin brüt enkesit alanı	$cm^2$
$A_s'$	Basınç donatısı alanı	$cm^2$
$A_w$	Kiriş enkesit alanı	$cm^2$
$b_w$	Enkesit genişliği	cm
$C_m$	Etkin kütle çarpanı	
$C_0$	Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral deplasmanını, çok serbestlik dereceli bir sistemin çatı deplasmanı ile ilişkilendiren katsayı	
$C_1$	Lineer–elastik davranış için hesaplanmış deplasmanlar ile beklenen maksimum elastik olmayan deplasmanları ilişkilendiren katsayı	
$C_2$	Histeristik şeklin maksimum deplasman davranışı üzerindeki etkisini temsil eden değişiklik katsayısı	
$C_3$	II. Mertebe etkiler nedeniyle artırılmış deplasmanları temsil eden değişiklik katsayısı	
$d_i$	İndirgenmiş talep spektrumunun kapasite spektrumunu kestiği noktanın spektral deplasman koordinatı	cm
$d_{pi}$	Tahmini performans noktasının spektral deplasman koordinatı (ADRS formatında)	cm
$d_y$	İki doğru parçalı olarak idealleştirilen kapasite spektrumunda akma noktasının spektral deplasman koordinatı	cm
$d$	Enkesitin etkin yüksekliği	cm
$E_c$	Betonun elastisite modülü	$kg/cm^2$
$E_D$	Sönümle yutulan enerji	
$E_{inf}$	Dolgu duvarının elastisite modülü	$kg/cm^2$
$E_s$	Donatının elastisite modülü	$kg/cm^2$
$E_{So}$	Maksimum şekil değiştirme enerjisi	
$E$	Yük kombinasyonlarındaki deprem etkisi	
$EF_{eq}$	İki ucu mafsallı fiktif çubuğun uzama rijitliği	kg
$f_{ck}$	Betonun karakteristik basınç dayanımı	$kg/cm^2$
$f_{yk}$	Donatının karakteristik akma gerilmesi	$kg/cm^2$



Simge	Adı	Birimi
$F_i$	Eşdeğer deprem yükleri	t
$g$	Yerçekimi ivmesi	m/sn <sup>2</sup>
$G$	Yük kombinasyonlarındaki kalıcı yük etkisi	
$I$	Bina önem katsayısı	
$I_g$	Betonarme kesitin brüt atalet momenti	cm <sup>4</sup>
$l_w$	Perde enkesit uzun kenarı	cm
$K_e$	Elastik efektif rijitlik	t/m
$K_i$	Elastik yanal rijitlik	t/m
$K_s$	Elastik sonrası rijitlik	t/m
$L_{inf}$	İki ucu mafsallı fiktif çubuğun diyagonal boyu	cm
$m_i$	Binanın kat kütleleri	tsn <sup>2</sup> /m
$N$	Eksenel kuvvet	t
$N_K$	Kat adedi	
$N_ç$	İki ucu mafsallı çubuğun basınç çatlama dayanımı	t
$N_{max.}$	İki ucu mafsallı çubuğun maksimum basınç dayanımı	t
$N_{min.}$	İki ucu mafsallı çubuğun minimum basınç dayanımı	t
$P$	Tasarım eksenel kuvvet değeri	t
$PF_1$	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 <sup>2</sup>
$S_a$	Spektral ivme	m/sn <sup>2</sup>
$S_d$	Spektral deplasman	cm
$S_{ai}$	Kapasite spektrumunda herhangi bir spektral ivme koordinatı	m/sn <sup>2</sup>
$S_{di}$	Kapasite spektrumunda herhangi bir spektral deplasman koordinatı	cm
$SR_A$	Spektrumun sabit ivme bölgesindeki spektral indirgeme katsayısı	
$SR_V$	Spektrumun sabit hız bölgesindeki spektral indirgeme katsayısı	
$Q$	Yük kombinasyonlarındaki hareketli yük etkisi	
$t_{inf}$	Dolgu duvar kalınlığı	cm
$t_w$	Perdenin kalınlığı	cm
$T$	Periyot	sn
$T_{A,T_B}$	Spektrum karakteristik periyotları	sn
$T_e$	Efektif periyot	sn
$T_i$	Deprem kuvveti yönünde yapının elastik dinamik analiz ile bulunan birinci doğal titreşim periyodu	sn
$T_{iç}$	Binanın çatlama kesitli 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	t
$V_i$	Kapasite eğrisinde herhangi bir taban kesme kuvveti koordinatı	t
$V_S$	Plastik mafsal bölgesindeki etriyelerin karşıladığı kesme kuvveti	t
$V_T$	Toplam taban kesme kuvveti	t
$V_y$	İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma dayanımı	t



Simge	Adı	Birimi
$w_i$	i nolu kat ağırlığı	t
$W$	Yapının toplam ağırlığı	t
$W_{eq}$	İki ucu mafsallı çubuğun eşdeğer genişliği	cm
$Z$	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	
$\beta_{eff}$	Efektif viskoz sönüm	
$\beta_{eq}$	Eşdeğer viskoz sönüm	
$\phi_{i,1}$	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	
$\delta_{max}$	Yapının tepe deplasmanı	cm
$\delta_T$	Yapının hedef deplasmanı	cm
$\delta_y$	İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma deplasmanı	cm
$\delta_i$	Kapasite eğrisinde herhangi bir tepe deplasmanı koordinatı	cm
$\Delta_p$	Plastik kısalma	cm
$\Delta_u$	$N_{min}$ için plastik kısalma değeri	cm
$\Delta_u'$	$N_{max}$ için plastik kısalma değeri	cm
$\kappa$	Sönüm düzeltme çarpanı	
$\pi$	Pi sayısı	
$\rho$	Çekme donatısı oranı	
$\rho'$	Basınç donatısı oranı	
$\rho_{den}$	Dengeli donatı oranı	

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No	Adı	Sayfa
Şekil 2.1	Yapısal elemanlara ait performans düzeyleri ve bölgeleri	20
Şekil 2.2	Yapısal olmayan elemanlara ait performans düzeyleri	22
Şekil 2.3	Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi	29
Şekil 2.4	Kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesi	30
Şekil 2.5	Spektral indirgeme için sönümün elde edilmesi	31
Şekil 2.6	Talep spektrumunun <i>spektral ivme – spektral deplasman</i> formatına dönüştürülmesi	34
Şekil 2.7	Elastik olmayan deformasyonlara bağlı olarak elastik spektrumun indirgenmesi	35
Şekil 2.8	Performans noktasının belirlenmesi	35
Şekil 2.9	Kapasite eğrisinin elde edilmesi	36
Şekil 2.10	Kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi	37
Şekil 2.11	%5 sönümlü elastik davranış spektrumu	39
Şekil 3.1	Üç katlı çerçeve (3KÇ) betonarme binanın plan ve kesiti	42
Şekil 3.2	Altı katlı çerçeve (6KÇ) betonarme binanın plan ve kesiti	43
Şekil 3.3	On katlı perde-çerçeve (10KPÇ) betonarme binanın plan ve kesiti	47
Şekil 3.4	Üç katlı dolgulu çerçeve (3KDÇ) betonarme binanın plan ve kesitleri	49
Şekil 3.5	Deprem tehlike seviyelerinin performans düzeyleri ile eşleştirilmesi	51
Şekil 3.6	Göz önüne alınan depremlere ait talep spektrumları	52
Şekil 3.7	Performans düzeylerinin belirlenmesi	53
Şekil 3.8	Kolon, kiriş ve perdeler için <i>Moment - Plastik dönme</i> bağıntısı	56
Şekil 3.9	Dolgu duvarlı çerçevenin matematik modeli	58
Şekil 3.10	Dolgu duvarını temsil eden çubukların ( $N-\Delta_p$ ) bağıntısı	58
Şekil 3.11	3KÇ binanın yük kombinasyonlarına ait kapasite eğrileri	60
Şekil 3.12	3KDÇ binanın yük kombinasyonlarına ait kapasite eğrileri	60
Şekil 3.13	6KÇ binanın yük kombinasyonlarına ait kapasite eğrileri	61
Şekil 3.14	10KPÇ binanın yük kombinasyonlarına ait kapasite eğrileri	61
Şekil 3.15	3KÇ bina için kapasite eğrisinin elde edilmesi	62
Şekil 3.16	3KÇ bina için kapasite eğrisi	63
Şekil 3.17	3KÇ bina için kapasite spektrumu	63
Şekil 3.18	3KÇ bina için kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesi	64
Şekil 3.19	3KÇ bina için spektral katsayılara bağlı olarak indirgenmiş tasarım spektrumu	66
Şekil 3.20	3KÇ bina için talep spektrumunun <i>spektral ivme-spektral deplasman</i> formatına dönüştürülmesi	66
Şekil 3.21	3KÇ bina için performans noktasının belirlenmesi	67

<b>Şekil No</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.22	KSY ile analiz sonucu 3KÇ binaya ait performans noktaları	69
Şekil 3.23	KSY ile analiz sonucu 3KDÇ binaya ait performans noktaları	69
Şekil 3.24	KSY ile analiz sonucu 6KÇ binaya ait performans noktaları	70
Şekil 3.25	KSY ile analiz sonucu 10KPÇ binaya ait performans noktaları	70
Şekil 3.26	KSY ile elde edilen bina performans düzeyleri	72
Şekil 3.27	3KÇ bina için kapasite eğrisinin elde edilmesi	74
Şekil 3.28	3KÇ bina için kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi	75
Şekil 3.29	DKY ile analiz sonucu 3KÇ binaya ait hedef deplasmanları	79
Şekil 3.30	DKY ile analiz sonucu 3KDÇ binaya ait hedef deplasmanları	79
Şekil 3.31	DKY ile analiz sonucu 6KÇ binaya ait hedef deplasmanları	80
Şekil 3.32	DKY ile analiz sonucu 10KPÇ binaya ait hedef deplasmanları	80
Şekil 3.33	DKY ile elde edilen bina performans düzeyleri	82
Şekil 3.34	KSY ve DKY ile elde edilen bina performans düzeylerinin karşılaştırılması	84
Şekil 3.35	3KÇ'nin KSY ve DKY ile elde edilen deplasman talepleri	86
Şekil 3.36	3KDÇ'nin KSY ve DKY ile elde edilen deplasman talepleri	86
Şekil 3.37	6KÇ'nin KSY ve DKY ile elde edilen deplasman talepleri	86
Şekil 3.38	10KPÇ'nin KSY ve DKY ile elde edilen deplasman talepleri	87
Şekil 3.39	3KÇ ve 3KDÇ binalara ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması	89
Şekil A.1	3KÇ binanın yük kombinasyonları için kapasite eğrileri	101
Şekil A.2	6KÇ binanın yük kombinasyonları için kapasite eğrileri	102
Şekil A.3	10KPÇ binanın yük kombinasyonları için kapasite eğrileri	103
Şekil A.4	3KDÇ binanın yük kombinasyonları için kapasite eğrileri	104
Şekil B.1	3KÇ binanın D1,D2,D3,D4 deprem tehlike seviyeleri için performans noktalarının elde edilmesi	106
Şekil B.2	6KÇ binanın D1,D2,D3,D4 deprem tehlike seviyeleri için performans noktalarının elde edilmesi	107
Şekil B.3	10KPÇ binanın D1,D2,D3,D4 deprem tehlike seviyeleri için performans noktalarının elde edilmesi	108
Şekil B.4	3KDÇ binanın D1,D2,D3,D4 deprem tehlike seviyeleri için performans noktalarının elde edilmesi	109

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No	Adı	Sayfa
Çizelge 2.1	Bina performans düzeyleri	23
Çizelge 2.2	Sönüm düzeltme çarpanı ( $\kappa$ ) değerleri	32
Çizelge 2.3	Yapısal davranış tipleri	33
Çizelge 2.4	Minimum $SR_A$ ve $SR_V$ değerleri	34
Çizelge 2.5	$C_o$ düzeltme katsayısı değerleri	38
Çizelge 2.6	Etkin kütle çarpanı ( $C_m$ ) için değerler	40
Çizelge 2.7	$C_2$ düzeltme katsayısı için değerler	40
Çizelge 3.1	Üç katlı çerçeve betonarme binanın kolon boyutları ve donatıları	42
Çizelge 3.2	Üç katlı çerçeve betonarme binanın kiriş boyutları ve donatıları	42
Çizelge 3.3	Üç katlı çerçeve betonarme binanın genel özellikleri	43
Çizelge 3.4	Altı katlı çerçeve betonarme binanın kolon boyutları ve donatıları	44
Çizelge 3.5	Altı katlı çerçeve betonarme binanın kiriş boyutları ve donatıları	44
Çizelge 3.6	Altı katlı çerçeve betonarme binanın genel özellikleri	46
Çizelge 3.7	On katlı perde-çerçeve betonarme binanın kolon boyutları	47
Çizelge 3.8	On katlı perde-çerçeve betonarme binanın kiriş boyutları	47
Çizelge 3.9	On katlı perde-çerçeve betonarme binanın genel özellikleri	48
Çizelge 3.10	Kirişlerin performans düzeylerine ait plastik dönme değerleri	53
Çizelge 3.11	Kolonların performans düzeylerine ait plastik dönme değerleri	54
Çizelge 3.12	Perdelerin performans düzeylerine ait plastik dönme değerleri	54
Çizelge 3.13	Bina performans düzeylerine ait maksimum görece öteleme değerleri	54
Çizelge 3.14	Kolon, kiriş ve perde elemanlar için modelleme parametreleri	56
Çizelge 3.15	Kolon, kiriş ve perde için çatlamış kesit rijitlik değerleri	57
Çizelge 3.16	Dolgu duvarını modellemede kullanılan parametreler	58
Çizelge 3.17	3KÇ binanın dinamik özellikleri	63
Çizelge 3.18	3KÇ binanın kapasite eğrisi ve kapasite spektrumu koordinatları	64
Çizelge 3.19	Dolgunsuz betonarme binalar için KSY ile analiz sonuçları	68
Çizelge 3.20	Dolgulu betonarme bina için KSY ile analiz sonuçları	68
Çizelge 3.21	Dolgunsuz betonarme binalar için KSY'ne ait performans düzeyleri	71
Çizelge 3.22	Dolgulu betonarme bina için KSY'ne ait performans düzeyleri	72
Çizelge 3.23	KSY ile analiz sonucu dolgu duvarını temsil eden çubukların plastikleşme durumları	72
Çizelge 3.24	Dolgunsuz betonarme binalar için DKY analiz sonuçları	78
Çizelge 3.25	Dolgulu betonarme bina için DKY analiz sonuçları	78
Çizelge 3.26	Dolgunsuz betonarme binalar için DKY'ne ait performans düzeyleri	81
Çizelge 3.27	Dolgulu betonarme bina için DKY'ne ait performans düzeyleri	82

<b>Çizelge No</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.28	DKY ile analiz sonucu dolgu duvarını temsil eden çubukların plastikleşme durumları	82
Çizelge 3.29	KSY ve DKY ile elde edilen analiz sonuçlarının karşılaştırılması	85
Çizelge 3.30	3KÇ ve 3KDÇ binalara ait analiz sonuçları	88
Çizelge 3.31	3KÇ ve 3KDÇ binalara ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması	89



## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliğinin ana ilkesi olarak öngörülen performans hedefleri irdelenmiştir. Bunun için farklı özelliklerdeki betonarme binaların lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi ve Deplasman Katsayıları Yöntemi ile performansları (deprem güvenlikleri) belirlenmiştir. ATC 40, FEMA 356, VISION 2000 ve SEOAC BLUE BOOK'ta önerilen deprem tehlike seviyeleri ve performans düzeyleri tanımlamalarından yararlanılarak yönetmeliğin (TDY) performans hedefleri irdelenmiştir.

Çalışmalarımınla yakından ilgilenen, bilgisini ve tecrübelerini benimle paylaşan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Erdal İRTEM'e, çok değerli bilgi ve yorumlarından faydalandığım Sayın Prof. Dr. Erkan ÖZER'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince her konuda desteğini ve katkısını esirgemeyen Arş.Gör. Kaan TÜRKER'e, tezimi hazırlamamda katkılarını unutamayacağım Arş. Gör. Altuğ YAVAŞ'a ve Arş. Gör. Dr. Nuray GEDİK'e ve diğer araştırma görevlisi arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bütün yaşamım boyunca, bana her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan ve her konuda destek olan aileme de minnet ve şükranlarımı sunarım.

Balıkesir, 2004

Umut HASGÜL

## 1. GİRİŞ

Günümüzde çağdaş ülkelerin deprem yönetmeliklerinde yapılar için öngörülen performans hedefleri, deprem tehlike seviyeleri ve yapıda oluşması beklenen hasar düzeyleri bakımından net olmayan tanımlamalar ile ifade edilmektedir. Öngörülen bu performans hedeflerinin sağlatılması için yönetmeliklerde çeşitli koşullar (süneklik seviyesi, yerdeğiştirme sınırlaması vb.) getirilmiştir. Yürürlükteki mevcut yönetmeliklere göre tasarlanan yapıların yaşanan depremler sonrasında deprem yönetmeliklerinde can güvenliği için öngörülen performans düzeyini çoğunlukla sağladığı, ancak yapıda oluşan hasar seviyeleri bakımından çok büyük farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Bu farklılıklar nedeniyle de yapıların performans düzeyi hakkında herhangi bir yorum yapılması mümkün olamamaktadır.

Son on yıl içinde özellikle kentsel alanlarda meydana gelen şiddetli depremlerde (1994 Northridge-ABD, 1995 Kobe-Japonya, 1999 Marmara-Türkiye vb.) yapılarda meydana gelen hasarların oldukça büyük ekonomik kayıplara yol açması, mevcut yönetmeliklerin sorgulanmasına neden olmuş ve bu nedenle geleneksel kuvvete dayalı tasarımın yerini alacak yeni yaklaşımlar üzerindeki çalışmalara gereksinim duyulmuştur. Yeni bir yaklaşıma gereksinim duyulması ile ABD’nde yapı yönetmeliklerinin, depreme dayanıklı tasarım ve yapım şartnamelerinin gelişiminde aktif şekilde rol alan *Structural Engineers Association of California* (SEAOC) tarafından 1992 yılında performans esaslı sismik tasarım yönetmeliğini oluşturmak amacıyla ilk olarak VISION 2000 projesi başlatılmış ve böylece diğer projelerin de başlamasına öncülük yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings – ATC 40 [1] projesi ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings – FEMA 273 [2] ve FEMA 356 [3]



projeleri gerçekleştirilmiştir. 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) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır.

Birçok ağdaş ülke yönetmeliğinde olduğu gibi Türk Deprem Yönetmeliğinde de (TDY) [4] depreme dayanıklı yapı tasarımı ana ilkesi olarak, bina türü yapılar için farklı deprem şiddetlerine (tehlike seviyelerine) göre çok genel bazı performans hedefleri öngörülmektedir. Bilindiği gibi yönetmelikte (TDY) bu performans hedefleri için deprem tehlike seviyeleri ve yapıda oluşması beklenen hasar düzeyleri bakımından net olmayan tanımlamalar yapılmıştır. ngrlen bu hedefler, yönetmelikte yer alan çeşitli koşullar (süneklik koşulları, yerdeğiştirme sınırlandırmaları vb.) ile sağlatılmaya çalışılmaktadır. Ancak yönetmelikteki geleneksel kuvvete dayalı tasarım ile öngörülen performans hedeflerinin gerekleşi gerçekleşmediği belirlenememektedir. Bu nedenle, TDY'nde geleneksel kuvvete dayalı tasarımın yerini alması beklenen performans esaslı yerdeğiştirmeye (deplasman) dayalı tasarım ve değerlendirme kavramının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu tasarım ve değerlendirme kavramı ile yapıların performansı (deprem güvenliği) lineer olmayan dinamik ve statik analiz yöntemleri ile gerçeğe yakın olarak belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada, farklı özelliklerdeki betonarme binaların lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi ve Deplasman Katsayıları Yöntemi ile performansları belirlenmiş ve Türk Deprem Yönetmeliğinde depreme dayanıklı yapı tasarımı ana ilkesi olarak öngörülen performans hedefleri irdelenmiştir. Ayrıca çalışmanın sonucunda öneriler sunulmaya çalışılmıştır.

## 1.1 Konu ile İlgili Çalışmaların İncelenmesi

Konu ile ilgili çalışmaların incelenmesi üç grupta ele alınmıştır. İlk grupta performansa dayalı tasarım ve değerlendirme konusunda, ikinci grupta lineer olmayan statik analiz yöntemleri konusunda ve üçüncü grupta dolgu duvarlı çerçevelerin modellenmesi konusunda yapılmış çalışmalar ile ilgili özet bilgilere yer verilmiştir.

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

- Blue Book (1991)'de, performansa dayalı tasarım ile ilgili son gelişmelerin yer aldığı deprem tasarımı ile genel hususlara (performans hedefleri, yatay yükler, yöntemler vb.) yer verilmiştir [5].
- VISION 2000 (1995)'de, 1994 Northridge depreminden sonra, geçmiş depremlerden edinilen tecrübelerden de yararlanarak performansa dayalı tasarımın ilk adımları atılarak yapılar için performans hedefleri, performans düzeyleri, deprem tehlike seviyelerinin tanımlamaları yapılmıştır. Projede ayrıca performansa dayalı tasarım için lineer olmayan analiz yöntemlerine, bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarına yer verilerek performansa dayalı tasarımın genel çerçevesi çizilmiştir [6].
- ATC 40 (1996)'da, betonarme yapıların deprem yükleri altındaki performansının değerlendirilmesi, onarımı ve güçlendirilmesi ile ilgili konulara, lineer olmayan statik analiz yöntemlerine, yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmesi için performans hedeflerine, yapılarda karşılaşılan yapısal eksikliklere ve bunların giderilmesi için onarım ve güçlendirme tekniklerine yer verilmiştir. Ayrıca taşıyıcı sistem elemanları için modelleme parametrelerine ve davranış sınırlarına ait kriterler için öneriler sunulmuştur [1].

- FEMA 273 (1997)'de, betonarme, çelik, ahşap ve hafif metal yapıların deprem yükleri altındaki performansının belirlenmesi, onarımı ve güçlendirilmesi hakkında tanımlamalara ve yaklaşımlara, lineer ve lineer olmayan statik analiz yöntemlerine, deprem tehlike seviyelerine, performans hedefleri vb. konulara yer verilmiştir. Ayrıca, taşıyıcı sistem elemanları için modelleme parametreleri ve davranış sınırlarına ait kriterler önerilmiştir [2].
- Eurocode8 (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 lineer olmayan analiz yöntemlerine yer verilmiştir [7].
- Eurocode8 . (2004)'de, yapıların performans değerlendirmelerini yapabilmek için performans tanımlamalarına, yapısal değerlendirme için gerekli tanımlamalara, yapıların performans dayalı tasarım ve değerlendirilmeleri için modelleme parametrelerine ve lineer olmayan analiz (statik ve dinamik) yöntemlerine ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Ayrıca beton arme, çelik, kompozit, ve yığma yapılar için genel bilgilere yer verilmiştir [8].
- FEMA 356 (2000)'de, FEMA 273 projesinin 2000 yılında düzenlemesi ile önstandart 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 [3].
- Krawinkler (1995)'de, sismik tasarımı üç ana grupta ele alarak incelenmiştir. Bunlar; performans hedefleri, mevcut kullanılan yöntemlerin

avantaj ve eksiklikleri ile süneklilik ve öteleme kontrolüne dayanan kapsamlı ve açık bir tasarım metodolojisinin son dönemdeki gelişimidir. Bu metodolojide, temel talep bilgilerini, lineer olmayan tek serbestlik dereceli sistem üzerinde istatistiksel çalışmalardan elde etmişlerdir ve çok serbestlik dereceli sistem davranışı ve göçme modu karakteristikleri göz önüne alınarak düzeltme faktörleriyle birleştirmişlerdir [9].

- Hamburger (1998)'de, performansa dayalı analiz ve tasarım yöntemlerinin gelişimi için SAC projesi tarafından kullanılan basit yaklaşımlar özetlenmiştir. Tasarım ve değerlendirmenin bir parçası olarak yeni yapılar ile mevcut yapıların performans değerlendirilmesi için, uygulanabilen yaklaşımlar basit bir şekilde açıklanmıştır [10].
- Comartin (2003)'de, önümüzdeki günlerde ATC 40'ın revize edilerek yerini alması beklenen, The Applied Technology Council (ATC) tarafından hazırlanan ATC 55 projesi incelenmiştir. Çalışmada, binaların sismik tasarımı, değerlendirilmesi ve rehabilitasyonu için basitleştirilmiş inelastik analiz yöntemlerinin uygulamalarının değerlendirilmesi ve geliştirilmesi oluşum evreleriyle incelenmiştir. Çalışmada ayrıca, ATC 40 projesindeki net olmayan mevcut konu ve tanımlamalara, güncellemelere ve bu projede bulunmayan yeni yöntem ve yaklaşımlara yer verilmiştir (Yüksek mod etkileri, eşdeğer tek ve çok serbestlik dereceli sistemler, rijitlik ve dayanımdaki azalmanın etkileri vb.) [11].

b) *Lineer olmayan statik analiz yöntemleri konusundaki çalışmalar:*

- zer (1987)'de, düzlem çerçevelerde ikinci mertebe limit yükün hesabı için genel bir yük artımı yöntemi geliştirmiştir. Malzemenin elasto-plastik davranışının ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin gözönüne alındığı bu çalışmada, plastik mafsallı hipotezi, bileşik iç kuvvet durumunu da kapsayacak şekilde genişletilmektedir. Yöntemde sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında hesap yapılarak, düşey yüklere

bağlı olarak hesaplanan normal kuvvetler için ikinci merteye etkileri lineerleştirilmektedir. Sistemde her plastik kesit oluşumundan sonra o kesitteki plastik dönme yeni bir bilinmeyen olarak alınmakta ve plastik kesitteki akma koşulunu ifade eden yeni bir denklem mevcut denklem takımına ilave edilmektedir. Böylece, her yük artımında (her plastik kesit oluşumunda) denklem takımının yeniden kurulup çözülmesine gerek kalmadan, sadece yeni bilinmeyene ait satır ve kolonun indirgenmesiyle çözüm elde edilmektedir. Geliştirilen yöntemde, plastik kesitlerdeki plastik şekil değiştirmeler ilave bir hesap yapmaya gerek kalmadan direkt olarak hesaplanabilmektedir [12] .

- İrtem (1991) tarafından yapılan çalışmada, [12]'de açıklanan yük artımı yöntemi uzay çubuk sistemler için geliştirilmiştir. Burada da ikinci merteye limit yük belirlenebilmekte ve yapı davranışı izlenebilmektedir. Çalışmada, bileşik eğik eğilme etkisindeki çelik kutu ve benzeri kesitler için üç boyutlu lineerleştirilmiş 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 [13].
- Girgin (1996)'da [12]'de esasları açıklanan yük artımı yönteminden yararlanarak betonarme uzay çubuk sistemlerin ikinci merteye limit yükünün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi amacıyla bir yük artımı yöntemi geliştirmiştir. Çalışmada, bileşik eğik eğilme etkisindeki betonarme çubuk elemanlar için lineer bölgelerden oluşan idealleştirilmiş bir üç boyutlu akma yüzeyi önerilmiş ve bu şekilde malzeme bakımından lineer olmayan betonarme sistemlerde akma koşullarının lineer denklemlere dönüştürülmesi sağlanmıştır. Lineer olmayan burulma şekil değiştirmelerinin sistem davranışına etkisi de göz önüne alınmıştır. Çalışmada ayrıca, geliştirilen yöntemin çok katlı büyük betonarme yapı sistemlerinin ikinci merteye elasto-plastik hesabına etkin olarak uygulanmasını sağlamak amacıyla, bilinmeyen sayısının azaltılmasını ve katsayılar matrisinin indirgenme işleminin hızlandırılmasını sağlayan bir algoritma önerilmiş ve bir bilgisayar programı hazırlanmıştır (PARC) [14].

- Kilar ve Fajfar (1997)'de, asimetrik yapıların lineer olmayan statik analizi için bir yöntem geliştirilmiştir. Yapıya ait kapasite eğrisinin basit bir şekilde elde edilmesi amacıyla geliştirilen yöntem ile simetrik ve asimetrik yapılar incelenmiş ve ayrıca burulmanın yapı davranışı üzerindeki etkileri yorumlanmıştır [15].
- Moghadam ve Tso (1997) tarafından elastik dinamik analizden faydalanarak üç boyutlu yapıların lineer olmayan statik analizinin yapıldığı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemle elde edilen sonuçlar lineer olmayan dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır [16].
- Freeman (1998)'de, ilk kez 1970'li yıllarda binaların sismik değerlendirilmesi amacıyla ortaya çıkan kapasite spektrum yöntemine yer verilmiştir. Daha sonraki yıllarda bu yöntemin gelişimini ve çeşitli konulardaki yöntemin sağladığı özellikler açıklanmıştır. Çalışmada, yöntemin binaların performans değerlendirilmeleri, onarımı ve güçlendirilmeleri kapsamında ATC 40 projesine dahil edilmesine yer verilmiştir. Çalışmada bir örnek üzerinde yöntem detaylıca açıklanmış ve sonuçları spektral formatı kullanan diğer yöntemlerle (eşit deplasman yöntemi, inelastik davranış spektrumu yöntemi ve sekant yöntemi) karşılaştırılmıştır [17].
- Aschheim vd. (1998)'de, 22000'in üzerinde analitik bir çalışma yapılarak deplasman davranışının, zaman tanım alanında analizi ve lineer olmayan statik analiz yöntemleri ile doğruluğunun değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmada, çeşitli dayanım, başlangıç periyodu ve histeristik özelliklere sahip tek serbestlik dereceli yapının, onsekiz deprem kaydı için analizi yapılmış ve lineer olmayan statik analiz yöntemleri ile belirlenen deplasmanlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda, lineer olmayan statik analiz yöntemlerinin zaman tanım alanında analize göre deplasman talepleri bakımından net bir üstünlük gösteremediği belirlenmiştir [18].



- Sasaki vd. (1998)'de, yüksek mod etkilerini içeren lineer olmayan bir statik analiz yöntemi geliştirilmiş ve yöntemin geçerliliği dinamik yöntemlerle karşılaştırılarak yorumlanmıştır [19].
- Hiraishi vd. (1998)'de, 1995'de başlayan geniş kapsamlı "Bina türü yapılar için yeni bir mühendislik çerçevesi" isimli araştırma ve geliştirme projesinde, binaların performans dayalı tasarım kavramını, yeni yapısal mühendislik çerçevesini ve sosyal sistemlerini tanıtmışlardır. Projede; hedef performansı, performans değerlendirmesini ve performans tanımlamalarını açıklamışlardır. Bu çerçevede, incelenen bu üç ana unsur vurgulanmaya çalışılmıştır. Ayrıca, amaçlanan bu çerçevenin uygulanması ile mühendislikteki yenilikleri, bina mühendisliğinin ilerlemesi ve genelleşmesi bakımından ortaya koymuşlardır [20].
- Hiraishi vd. (1998)'de, Japonya'da, bina araştırma enstitüsü (BRI) tarafından hedeflenen, performans esaslı sismik ve yapısal tasarımın çerçevesi ve kavramı tanıtılmıştır. Binaların deprem sonrası kullanım durumuna bağlı olarak üç performans hedefi tanımlanmıştır. Bunlar; yaşam güvenliği, göçme önleme ve kullanıma devam performans hedefleridir. Çalışmada, deprem etkisi altında yapıların tasarımı ve değerlendirilebilmesi için lineer olmayan yeni analiz yöntemleri önerilmiştir. Yöntemlerin değerlendirilmesinde tahmin edilen sınır değerleri aşmayan davranışın belirlenmesi ilkesi korunarak yakın zamanlardaki önemli depremler için önerilen yöntemlerin doğrulaması yapılmıştır. Deprem etkisi altında incelenen yapıların davranışını belirlemek için çok sayıda analitik yöntem irdelenmesi yapılmıştır. Ayrıca çalışmada, eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dayanan, davranış spektrumu yöntemi anlatılmıştır [21].
- Fajfar (1999) tarafından yapılan çalışmada, deprem hareketinin talepleriyle bir yapının kapasitesini, geliştirilen yeni bir grafik yöntemi (N2) ve kapasite spektrum yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada, kapasite spektrum yönteminde inelastik talep spektrumu kullanma fikri ayrıntılı



olarak incelenmiş ve kullanım formatı basitçe belirtilmiştir. Geliştirilen bu yöntem, kapasite spektrum yöntemi formatında formüle edilmiş ve geliştirilen yöntem (N2) iki örnek ile açıklanmıştır [22].

- Aschheim ve Black (2000) tarafından yeni yapıların sismik tasarımı ve mevcut yapıların değerlendirilmesi ve rehabilite edilmesi için sismik talebin yeni bir spektral gösterimi olan “Akma Noktası Spektrumu” yöntemini geliştirilmiştir. Kapasite spektrumu yöntemine benzer şekilde geliştirilen yöntemin, deplasman talebini belirlemede kullanılan FEMA 273 [2] ile ATC 40 'daki [1] lineer olmayan statik analiz yöntemlerine katılabileceği önerilmiştir [23].
- Lefort (2000)'de, lineer olmayan statik hesap yöntemleri (Kapasite Spektrum Yöntemi, Deplasman Katsayısı Yöntemi, Sekant Yöntemi) hakkında genel bilgiler verilmiştir. Lineer olmayan statik analizin (pushover analiz), lineer olmayan dinamik analize daha iyi bir alternatif olabilmesi için geliştirilmesi gerekli olan eksikleri belirtilmiştir. Çalışmada, örnek olarak biri düzenli diğeri yumuşak kat düzensizliğine sahip iki adet on katlı düzlem çerçeve yapı seçilerek çeşitli yatay yük dağılımları için elastik ötesi statik itme analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları lineer olmayan dinamik analize ait sonuçlar ile karşılaştırılmış ve yeni bir yöntem önerilmiştir. “Adaptive Pushover Method” olarak isimlendirilen yöntemin diğer lineer olmayan statik analiz yöntemlerine göre lineer olmayan dinamik yöntemlere daha yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir [24].
- Kunnath ve Gupta (1999) tarafından yüksek mod etkilerini içeren spektrum esaslı modal bir lineer olmayan statik analiz yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem kullanılarak çeşitli yapı örnekleri çözülmüş ve sonuçlar lineer olmayan dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır [25].
- Moghadam ve Tso (2000)'de, düzlem sistemler için uygulanan lineer olmayan statik analiz yöntemi, asimetrik yapıları içerecek şekilde

genişletilmiştir. Yöntemin yapısal davranış parametrelerini (yapı kat ötelemeleri, kiriş kolon süneklik talepleri vb.) belirlemedeki geçerliliği lineer olmayan dinamik analiz ile araştırılmış ve yorumlanmıştır [26].

- Yang ve Wang (2000)'de, yapının dinamik özelliklerine bağlı olarak değişen dolayısıyla yüksek modların etkilerini de göz önüne alan lineer olmayan bir statik analiz yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemden elde edilen sonuçlar lineer olmayan dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır [27].
- Chopra ve Goel (2001) tarafından sabit yatay kuvvet dağılımını kullanan mevcut yöntemlerin hesapsal ve kavramsal basitliğinin korunduğu, yapı dinamiği teorisine dayanan geliştirilmiş bir elastik ötesi statik itme analizi yöntemi (Modal Pushover Analysis) geliştirilmiştir. Çalışmada, örnek olarak dokuz katlı çelik düzlem bir çerçeve ele alınarak yöntemin uygulaması yapılmış ve elde edilen sonuçlar lineer olmayan dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Geliştirilen yöntemin binaların tasarım ve değerlendirilmesi için yeteri kadar kesin olduğu sonucuna varılmıştır [28].
- Antoniou (2001)'de, yapıların deprem güvenliğini değerlendirme yöntemleri hakkında genel bilgiler verilerek performans dayalı tasarım ve değerlendirme çalışmaları kronolojik olarak sunulmuştur. Yapıların performansını değerlendirmede lineer olmayan statik analizin (pushover analiz) yeri, lineer olmayan dinamik analiz yöntemlerine göre eksiklikleri, lineer statik ve dinamik analiz yöntemlerine göre üstünlükleri belirtilmiştir. Çalışmada, depremi temsil eden yatay kuvvetlerin yapının modal özelliklerine bağlı olarak her hesap adımında değiştirildiği "Adaptive Pushover Procedure" isimli bir yöntem geliştirilmiştir. Düzlem çerçeve yapılar için geliştirilen yöntem öncelikle üç katlı bir yapı üzerinde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Daha sonra yöntemin doğrulamasını yapmak amacıyla düzenli ve çeşitli düzensizliğe sahip yapılar üzerinde geleneksel pushover analiz, adaptive pushover analiz (önerilen) ve lineer olmayan

dinamik analiz yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırılmış ve önerilen yöntemin geleneksel yöntemlere göre lineer olmayan dinamik analiz sonuçlarına daha yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir [29].

- Zamfirescu vd. (2001)'de, bina türü yapıların lineer olmayan sismik analizi ve performans değerlendirmelerini yapmak için pushover analiz esaslı altı basitleştirilmiş yöntem kısaca açıklanarak çok katlı düzenli bir çerçeve yapının analizi için uygulanmıştır. Bu analizlerin dışında, pushover analiz gerektirmeyen iki basit yöntem de kullanılmıştır. Basitleştirilmiş yöntemlerin sonuçları, lineer olmayan dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve kullanılan yöntemlerin genelde yeterli doğrulukta sonuçlar verdiği gözlenmiştir [30].
- Elmensdorp vd. (2001)'de, yapıların performansını değerlendirmede lineer olmayan statik analizin (pushover analizin) yeri, lineer olmayan dinamik analiz yöntemlerine göre eksiklikleri, lineer statik ve dinamik analiz yöntemlerine göre üstünlükleri belirtilmiştir. Lineer olmayan statik analizin, deplasmanların ve rölatif kat ötelemelerinin daha kesin hesabı gibi yapıyla ilgili önemli bilgiler içerdiği belirtilmiştir. Çalışmada, kapasite spektrum yöntemi ile performans değerlendirilmesi hakkında bazı bilgilere yer verilmiştir. Ayrıca çalışmada örnek olarak iki katlı düzlem bir çerçeve üzerinde, yatay deprem yükü dağılımlarının etkisi incelenmiştir. Bunun için iki farklı yük dağılımı seçilmiş ve elde edilen kapasite eğrileri karşılaştırılmıştır [31].
- Falcao ve Bento (2002)'de, lineer olmayan statik analiz yöntemlerini kullanan ATC 40 [1] ve FEMA 273'de [2] tanımlanan farklı yöntemlerin kullanımıyla bir binanın davranışını değerlendirmeyi ve karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Ayrıca, sonuçları beş ivme kaydı için sanal dinamik testlerle ve lineer olmayan dinamik analiz yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Farklı yöntemler arasında karşılaştırmalar, maksimum tepe deplasmanı, taban kesme kuvveti, katlar arası deplasmanlar ile kritik kesitlerdeki dönme ve dönme kapasiteleri bakımından yapılmıştır.

Çalışmanın sonucu olarak, deprem etkisi altında düzenli yapıların lineer olmayan statik analiz yöntemleri ile sismik talebini belirlemek için yeterli bilgilerin elde edilebileceği görülmüştür [32].

- Albanesi vd. (2002)'de, elastik ötesi statik itme analizine (pushover analiz) dayanan lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden en popüler olan kapasite spektrum yöntemi, deplasman katsayıları yöntemi ve N2 yöntemi gibi yöntemlerin tanımlamalarına yer verilmiş ve kapsamlı örneklerle sonuçları ortaya konulmuştur. Çalışmada; kaya, alüvyon, yumuşak toprak sınıfı zemin durumları için hem yapay hem de doğal ivme kayıtları için örnek olarak seçilen sistemlerde beklenen davranışı belirlemede kullanılan lineer olmayan statik analiz yöntemlerinin güvenilirlik derecesini araştırmışlardır. Sonuçlar, davranış spektrumu analizi, eşit enerji ve deplasman yaklaşımı ile lineer olmayan dinamik analizinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır [33].
- Monti vd. (2002)'de, önceki yönetmeliklere göre tasarımı yapılmış betonarme binaların, sismik performans değerlendirmesi amaçlanmış ve bunun için kullanılan farklı göçme mekanizmalarının oluşumunu gösteren elastik ötesi statik itme analiz yöntemini (pushover analiz) ve taban ivmesini belirlemişlerdir. Tahmin edilen göçme mekanizmalarının gerçek oluşumunu doğrulamak ve elastik ötesi statik itme analizinin etkisini geçerli kılmak için elastik ötesi statik itme analizinden elde edilen aynı pik değerli ivme kayıtları altında dinamik analizlerini yapmışlardır. Çalışmada, üç örnek betonarme çerçeve için gerçek davranışı ve olabilecek göçme mekanizmalarının değerlendirmelerinin amaçlandığı bir uygulama yapılmıştır. Sonuçları; yumuşak kat, kolonda kesme göçmesi, kolonda eğilme göçmesi gibi gözlenen göçme mekanizmalarını eşdeğer pik yer hareketi ivme değerleri (PGA) bakımından incelemişlerdir [34].
- Iancovici vd. (2002)'de, performans kavramına dayalı yöntemler ile betonarme binaların sismik kapasite değerlendirilmeleri yapılmıştır. Çalışmada, kapasite spektrum yönteminin dikkati çekilen sınırlarıyla,

kapasite spektrum yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca, 1995 Kobe depreminde ciddi şekilde hasar gören ve daha sonra tamamen yıkılan betonarme bir binanın yapısal davranışı çeşitli parametreler üzerinde (maksimum kat ötelemeleri, maksimum deplasmanlar vb.) incelenmiştir [35].

c) *Dolgu duvarlı çerçevelerin modellenmesi konusundaki çalışmalar:*

- Klinger ve Bertero (1978)'de, bölme duvarlı düzlem çerçeveler üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalar sonucu, bölme duvarı etkisini global anlamda temsil eden bir mekanik model geliştirmişlerdir. Bu mekanik modelleme kullanılarak dolgu duvarların ara yüzler boyunca çatlak oluşuncaya kadar, çerçeve ve panel elemanların birlikte çalıştığı, çatlak oluşuktan sonra ise panelin, çapraz basınç elemanı olarak davranışa katkıda bulunmaya devam ettiği ve yatay yükün artmasıyla, çapraz basınç elemanlarının uçlarında ezilme meydana geldiği belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda dolgu duvarlarını modellemede bir yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi önerilmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarına dayalı olarak; bölme duvarı davranışını temsil eden basınç çubuğunun bünye bağlantısı ve dolgu duvarın etkin genişliğinin tanımlaması yapılmıştır [36].
- Sucuoğlu ve McNiven (1991)'de, dolgu duvarlarını, çekme dayanımı olmayan elasto-plastik diyagonal çubuk (iki ucu mafsallı fiktif çubuk) elemanlarla modellemiştir. Bu elemana ait karakteristik değerler için (duvarın aksenal rijitliği, duvarın akma dayanımı vb.) laboratuarda test edilen duvar numunelerine ait değerler kullanmıştır. Çalışmada eşdeğer çubuk elemanın aksenal basınç dayanımını, çubuk elemanın akma dayanımının yığma duvarın çatlama dayanımına eşit olduğu varsayımı ile belirlemişlerdir. Duvarın kayma deformasyonu ile diyagonal çubuk elemanın aksenal deformasyonu arasında da benzer bir yaklaşım kullanılarak çubuk elemanın aksenal rijitliğini belirlemişlerdir [37].

- Papadopoulos ve Karayiannis (1995)'de, perde duvarları ile bölme duvarlarının düzlem çerçeve davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada, düzlem çerçeve sistem tek serbestlik dereceli sisteme benzetilerek lineer olmayan statik ve dinamik analizi yapılmıştır. Analizlerin sonucunda, alt kat perde duvarlarındaki enine donatı oranının yükselmesi, sistemin genel sünekliliğini olumlu yönde artırırken, bölme duvarları da yapıda kolon mekanizması oluşmasına karşı koymada etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yapılan analiz sonuçlarına göre deprem hareketi sırasında bazı duvarların devre dışı kalmasıyla yapının katları arasında ani rijitlik değişimi olabileceği de belirtilmiştir [38].
- Ersin (1997)'de, boşluklu ve boşluksuz bölme duvarlarını sonlu elemanlar yöntemi ile teorik olarak araştırmıştır. Bölme duvarlarını analizde, statik olarak eşdeğer çapraz diyagonal çubuk elemanlar ile idealleştirmiştir. Önerilen eşdeğer çubuk eleman modeli, üç boyutlu yapıların serbest titreşim analizi için mekanik modele yerleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar, deneysel olarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılması yapılan üç yapıya ait serbest titreşim analizi sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir [39].
- Madan vd. (1997)'de, çerçeve yapıların lineer olmayan analizinde yığma dolgu duvarlarının temsili için düzgün bir histeristik model ile birleştirilen eşdeğer çubuk yaklaşımına bağlı olarak analitik bir "macromodel" önerilmiştir. Farklı tasarım ve geometri sonucu histeristik kuvvet-deplasman ilişkisinin geniş bir bölgesini tekrarlamak için uygulanabilen kayma (pinching) ile rijitlik ve dayanım kaybı gibi azaltıcı kuvvet parametresi kullanan bir histeristik model önermiştir. Çalışmada histeristik modelin oluşumu ve dolgu duvarların teorik modellenmesinde kullanılan kontrol parametreleri tanımlanmıştır. Yığma dolgu duvarlı çerçevelerin basitleştirilmiş mühendislik değerlendirmesi için mevcut bir teorik model araştırılmış ve önerilen analitik modelleme kullanılarak IDARC-2D programı ile elastik ötesi statik ve dinamik analizleri yapılmıştır [40].



- Hanoğlu (2002)'de, dolgu duvarlı betonarme çerçevesinin matematik modellenmesi için, iki boyutlu kafes sistem analizinde kullanılan çubuk modellerinin doğrusal olmayan davranışına dayanan bir modelleme yaklaşımı önermiştir. Biri eleman boyutunda, diğeri daha aralıklı olarak yerleştirilmiş iki farklı seviyede (Meso ve Macro Model) modelleme incelenmiş ve deneyler sırasındaki hasarın izlenebilmesi için basitleştirilmiş bir geometrideki modelin deneylerle karşılaştırılması yapılmıştır. Çerçevesinin matematik modellemede kafes sistem elemanları ile çerçeve-dolgu duvar ara yüzü temas davranışını modellemede sadece aksenal kuvvet ve kesme kuvveti aktaran rijit elemanlar kullanılmıştır. Dolgu duvarı temsil eden kafes sistem çubuklarının lineer olmayan davranışını temsil etmek için bir davranış modeli önerilmiştir. Bu elemanlara ait plastik mafsallık özellikleri için malzeme testlerinden elde edilen karakteristik değerler kullanılmıştır. Çerçeve sisteme yerleştirilmiş iki mekanik modelin elastik ötesi statik itme analizi (Pushover analizi) yapılmış ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak eleman boyutunda yerleştirilmiş kafes sistem modeline ait sonuçların, yapılan deneysel sonuçlara çok yakın olduğu belirlenmiştir [41].
- FEMA 356 (2000)'de, dolgu duvarları için yapısal olmayan elemanlara ait performans düzeyleri tanımlanmıştır. Projede, dolgu duvarlarını eşdeğer diyagonal çubuk eleman yaklaşımı ile çeşitli şekillerde mekanik modele yerleştirilmesi hakkında bilgiler verilerek dolgu duvarlarının matematik modellenmesi için bir hesap yöntemi açıklamıştır. Eşdeğer diyagonal çubuk elemanın, ilgili dolgu duvarla aynı kalınlıkta ve aynı elastisite modülüne sahip olduğu varsayılmıştır. Dolgu duvarlarını modellemede, çatlamadan önce dolgu duvarın elastik rijitliği, eşdeğer diyagonal elemanının genişliği ile temsil edilmiştir [3].



## 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliğine (TDY) [4] göre boyutlandırılmış betonarme binaların farklı deprem tehlike seviyeleri için performans düzeylerinin belirlenmesi ve buna göre Türk Deprem Yönetmeliğinin performans hedeflerinin irdelenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaca yönelik olarak, pratikte yaygın olarak kullanılan binaları temsil etmek üzere farklı özelliklerdeki betonarme binalar örnek olarak ele alınmıştır. Ayrıca dolgu duvarlarının bina performans düzeyine etkisinin belirlenmesi amacıyla, örnek bir bina dolgu duvarlarının taşıma kapasiteleri de göz önünde bulundurularak çalışma kapsamında incelenmiştir.

Yapıların performanslarının belirlenmesinde, malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan teori kullanılarak yapılan statik itme analizini (pushover analiz) esas alan lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden yaygın olarak kullanılan "Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY)" [1] ve "Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY)" [3] kullanılmıştır. Performans hedeflerinin tanımlanmasında Türk Deprem Yönetmeliğindeki hafif, orta ve şiddetli (tasarım) deprem ile çok şiddetli deprem (ilgili deprem bölgesinde beklenen en büyük depremi yaklaşık olarak temsil eden deprem) tehlike seviyeleri esas alınmıştır.

## 2. YAPILARIN PERFORMANSA DAYALI TASARIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yapı sahibinin, kullanıcının ve sosyal çevrenin çeşitli ihtiyaç ve hedefleri doğrultusunda öngörülen bir performans düzeyi için yapıların düşey ve yatay (deprem) yükler altında tasarımını, değerlendirilmesini ve yapımını esas alan bir yaklaşımdır. Performansa dayalı tasarım ilkesi, yeni yapıların tasarımında kullanıldığı gibi mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi ve gerektiğinde onarım ve güçlendirilmesi amacıyla da kullanılabilir.

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 düzeyinin de belirlenmesi gerekir. İkinci aşamada, öngörülen deprem tehlike seviyeleri için lineer olmayan statik analiz yöntemleri ile yapının analizi yapılır. Üçüncü aşamada ise yapının performans düzeyi değerlendirilmektedir. Bu aşamada, yapı için öngörülen performans düzeyinin gerçekleşip gerçekleşmediğinin kontrolü yapılmaktadır.

### 2.1 Performans Hedefleri

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 düzeyinin tanımlanması olarak ifade edilmektedir. Birden fazla deprem tehlike seviyesi için birden fazla performans düzeyi öngörülerek yapılara ait çok seviyeli performans hedefi oluşturulabilir. Performans

hedeflerinin tanımlanması, deprem tehlike seviyelerinin belirlenmesi ve performans düzeylerinin seçilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Bu aşamalar ayrıntılı olarak aşağıda açıklanmıştır.

### 2.1.1 Deprem Tehlike Seviyeleri

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmede öncelikle öngörülen performansın hangi deprem tehlike seviyesine karşı geldiği belirlenmelidir. Deprem tehlike seviyesi, belirli bir zaman dilimi içinde istatistiksel olarak belirlenen aşılma olasılığı yüzdesi ile ilişkili yer sarsıntısının bir seviyesini belirleyerek (probabilistic) veya belli bir fay kaynağındaki belirli bir büyüklüğün tek bir durumundan (olay) beklenen maksimum yer sarsıntısı ile (deterministic) ifade edilebilmektedir. ATC 40'da [1] ve FEMA 356'da [3] yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmesi amacıyla değişik olasılıksal (probabilistic) deprem tehlike seviyeleri tanımlanmıştır.

- ATC 40'da üç farklı deprem tehlike seviyesine, diğer bir ifadeyle üç ayrı sismik risk seviyesine ait tanımlar aşağıda verilmiştir [1].
  - a) Servis (kullanım) Depremi (SE) : 50 yıl içinde aşılma olasılığı %50 olan ve geri dönüşüm periyodu 75 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) 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.

- FEMA 356'da dört farklı deprem tehlike seviyesine ait tanımlar aşağıda verilmiştir [3].

	<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

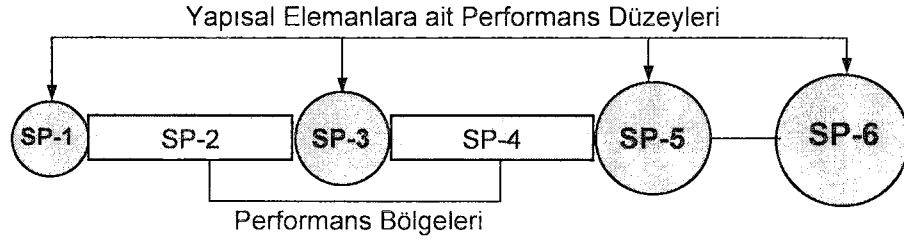
FEMA 356 'da tanımlanan deprem tehlike seviyelerinden, 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan deprem Temel Güvenlik Depremi – 1 (BSE-1) ve 50 yıl içinde aşılma olasılığı %2 olan deprem Temel Güvenlik Depremi – 2 (BSE-2) ile gösterilmiştir [3].

### 2.1.2 Performans Düzeyleri

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmede belirli bir deprem tehlike seviyesi için bina performans hedefinin hangi performans düzeyi için öngörüldüğünün belirlenmesi gerekmektedir. Performans düzeyleri, bir yapı için verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarlarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir. Yapıların performans düzeyi, birbirinden bağımsız olarak belirlenen yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans düzeylerinin kombinasyonu ile oluşmaktadır.

### 2.1.2.1 Yapısal Elemanlara ait Performans Düzeyleri ve Bölgeleri

ATC 40'da ve FEMA 356'da yapısal elemanlara ait üç farklı performans düzeyi ve iki farklı performans bölgesi tanımlanmıştır [1,3]. Bunlar Şekil 2.1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Yapısal elemanlara ait performans düzeyleri ve bölgeleri

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

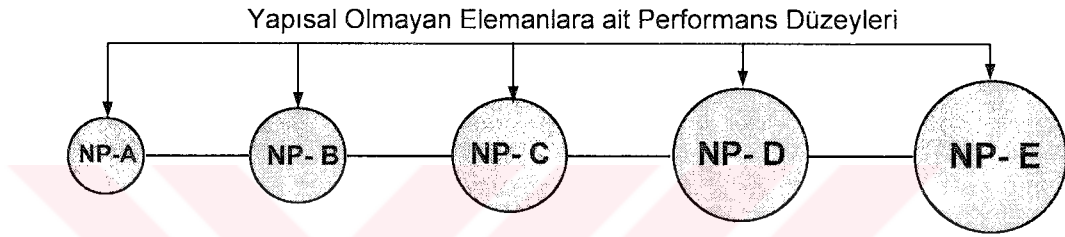
- Hemen Kullanım Performans Düzeyi* (SP-1): Deprem sonrası binada çok sınırlı yapısal hasarın olduğu durumdur. Binanın temel düşey ve yanal kuvvetlere karşı koyan sistemleri neredeyse deprem öncesi tüm karakteristiklerini ve kapasitelerini (rijitlik, dayanım, ...) korurlar. Yapısal göçmeden dolayı yaşamı tehdit edecek yaralanma riski yok denecek kadar azdır. Bina deprem sonrası sınırsız olarak kullanılabilir.
- Hasar Kontrol Bölgesi* [SP-2]: Deprem sonrası yapıda oluşan hasarın hemen kullanım performans düzeyi ile yaşam güvenliği performans düzeyi arasında bulunduğu performans bölgesidir. Bu performans bölgesinde, can güvenliğinin sağlanmasının yanında, hasarın da belirli ölçüde sınırlandırılmasına karşı gelir. Yönetmeliklerde yeni binalar için 50 yıllık bir süreç içerisinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan deprem (tasarım depremi) etkisinde öngörülen performans düzeyi yaklaşık bu bölgeye karşılık gelmektedir.

- c) *Yaşam Güvenliği Performans Düzeyi (SP-3)* : Deprem sonrası yapıda önemli ölçüde hasarın olabildiği ancak kısmen ya da toptan göçmeye karşı yapının bir sigortaya sahip olduğu hasar durumudur. Yapının önemli yapısal bileşenlerinde (kiriş, kolon, perde) yerinden çıkma ve kırılıp düşme durumları oluşmaz. Binanın içinde ve dışında yaralanma ihtimali olmasına rağmen can güvenliği riski yoktur. Binanın tekrar kullanımından önce muhtemelen geniş ölçüde yapısal onarımın yapılması beklenir. Ancak bazı hallerde ekonomik nedenlerden dolayı binanın onarılması pratik açıdan uygun olmayabilir. Bu yapısal performans düzeyine yönetmeliklere göre tasarlanmış yeni binaların ulaşmaması beklenir.
- d) *Sınırlı Güvenlik Bölgesi (SP-4)* : Deprem sonrası yapıda ulaşılan hasarın yaşam güvenliği performans düzeyi ile göçme önleme performans düzeyi arasında bulunduğu performans bölgesidir. Bu performans bölgesi, binanın güçlendirilmesinde can güvenliğinin tam olarak sağlanması durumunda göz önüne alınabilir.
- e) *Göçme Önleme Performans Düzeyi (SP-5)* : Bu performans seviyesi deprem sonrası yapıyı kısmi veya toptan göçme sınırına getiren ağır hasar durumunu temsil eder. Taşıyıcı elemanlarda büyük ve kalıcı hasar oluşur. Yanal yüke karşı koyan sistemin rijitlik ve dayanımlarda önemli azalmalar meydana gelebilir. Bununla beraber yapının taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımaya devam etmek için yeterlidir. Yapı stabilitesini korumasına rağmen binanın içinde dışında oluşabilecek düşme tehlikelerinden dolayı önemli ölçüde can güvenliği riski oluşabilir. Bina artçı deprem sonrası göçme güvenliği kalmamıştır. Yapıda oluşan hasarın onarılması teknik ve ekonomik açıdan uygun değildir. Yeni yönetmeliklere göre tasarlanmış yapıların maksimum deprem etkisi altında bu performans düzeyini sağlaması beklenir.
- f) *Performansın Gözönüne Alınmadığı Durum (SP-6)* : Bu bir performans düzeyi olarak tanımlanmamıştır. Ancak sadece yapısal olmayan sismik değerlendirme ve güçlendirmenin yapıldığı durumlar için

verilmiş bir sınır durumudur. Alışılmışın dışında olsa da yapısal olmayan sismik iyileştirme bazen yapının tekrar gözden geçirilemeyeceğini gösterir.

### 2.1.2.2 Yapısal Olmayan Elemanlara ait Performans Düzeyleri

ATC 40'da ve FEMA 356'da yapısal olmayan elemanlara ait beş farklı performans düzeyi tanımlanmıştır [1,3]. Bunlar Şekil 2.2'de Şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Yapısal olmayan elemanlara ait performans düzeyleri

Yapısal olmayan elemanlar için performans düzeylerine ait tanımlamalar, genel başlıklarıyla aşağıda verilmiştir.

- a) *Kullanıma Devam Performans Düzeyi* (NP-A) : Deprem sonrası, genelde yapısal olmayan elemanların yerlerini ve fonksiyonlarını kaybetmedikleri hasar durumudur. Yapının yapısal olmayan elemanlarının kullanımını engelleyen bir durum yoktur.
- b) *Hemen Kullanım Performans Düzeyi* (NP-B) : Deprem sonrası, yapısal olmayan elemanlarda ve sistemlerde küçük hasarlar oluşabilir. Bazı eleman ve ekipmanların onarılması ve/veya değiştirilmesi gerekebilir. Kullanım bakımından ortaya çıkabilecek kısıtlamalar kısa zamanda giderilerek yapı kullanılabilir.
- c) *Yaşam Güvenliği Performans Düzeyi* (NP-C) : Deprem sonrası yapısal olmayan eleman ve sistemlerde önemli seviyede hasarın oluştuğu durumudur. Ancak binanın içinde ve dışında ciddi yaralanmalara sebep



olabilecek ağır eşyaların düşmesi ve göçmesi gibi tehlike durumları oluşmaz. Yapısal olmayan ekipman, sistem ve makineler tekrar yenilenmeden ve onarılmadan fonksiyonel olmayabilir. Deprem esnasında yaralanmalar olabilir de yapısal olmayan elemanlardan dolayı can güvenliği riski oldukça düşüktür.

d) *Azaltılmış Hasar Performans Düzeyi (NP-D)* : Deprem sonrası yapısal olmayan eleman ve sistemlerde aşırı derecede hasarın olduğu durumudur. Parapet, dış yığma duvarlar gibi büyük parça düşmesi sonucu bir yaralanma söz konusu değildir.

e) *Performansın Gözönüne Alınmadığı Durum (NP-E)*: Yapı davranışında bir etkiye sahip olanların dışındaki yapısal olmayan elemanların değerlendirme dışı kaldığı durumu göstermektedir.

### 2.1.2.3 Bina Performans Düzeyleri

Bina performans düzeyleri, yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans düzeylerinin değişik kombinasyonları ile elde edilir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Bina performans düzeyleri [1]

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

KÖ : Kullanılması önerilmeyen bina performans düzeyi

ATC 40'da [1] ve FEMA 356'da [3] tanımlanan ve Çizelge 2.1'de gösterilen bina performans düzeylerinden en yaygın olarak kullanılanları (1-A, 1-B, 3-C, 5-E) genel başlıklarıyla aşağıda verilmiştir.

- a) *Kullanıma Devam Performans Düzeyi (1-A)* : Yapısal hemen kullanım performans düzeyi ile yapısal olmayan kullanıma devam performansının bir kombinasyonudur. Deprem sonrası binada hasar oluşmaz veya kolaylıkla onarılabilecek düzeyde sınırlı hasar oluşabilir. Yapı deprem sonrası başlangıç dayanım, rijitlik ve sünekliğini aynen korur. Deprem sonrası yapı, sınırlayıcı bir hasar durumu olmadan kullanıma devam edebilecek durumdadır. Deprem süresince hayatı tehlikeye sokabilecek yaralanma riski yok denebilecek kadar azdır. Çok şiddetli depremlerde bu performans düzeyini elde etmek ekonomik açıdan oldukça maliyetlidir. Ancak hafif şiddetteki depremlerde, tüm binaların bu performans düzeyini göstermesi beklenir.
- b) *Hemen Kullanım Performans Düzeyi (1-B)* : Yapısal ve yapısal olmayan hemen kullanım performansının bir kombinasyonudur. Binada oldukça az miktarda yapısal hasar oluşabilir. Bina deprem sonrası, başlangıç dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde korumaktadır. Binanın onarımı, kullanıma ara vermeden yapılabilir. Yapısal olmayan elemanlar güvenilirdir ve genellikle çalışabilir durumdadır. Deprem süresince hayatı tehlikeye sokabilecek yaralanma riski çok düşüktür. Bu performans düzeyi, çok şiddetli depremlerde hasarın çok az olması istenen ve çalışmaya ara vermeden kullanım devamlılığının önemli olduğu fabrika, santral gibi önemli yapılar için hedeflenebilir. Orta şiddetteki depremlerde yeni yönetmeliklere göre tasarlanmış tüm binalar ile mevcut binaların çoğunun bu performans düzeyini elde etmesi beklenir.
- c) *Yaşam Güvenliği Performans Düzeyi (3-C)* : Yapısal ve yapısal olmayan yaşam güvenliği performans düzeyinin bir kombinasyonudur.

Deprem sonrası, binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında önemli ölçüde hasar oluşabilir. Bina deprem sonrası dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde kaybetmiştir. Onarım ekonomik açıdan pratik olmayabilir. Deprem süresince hayatı tehlikeye sokacak yaralanma riski düşüktür. Yapısal olmayan elemanlar fonksiyonelliğini önemli ölçüde kaybeder. Deprem sonrası yapı, kısmen ya da toptan göçmeye karşı bir sigortaya sahiptir. Yeni yönetmeliklere göre projelendirilmiş binaların çok şiddetli depremlerde bu performans düzeyini göstermesi beklenir.

d) *Yapısal Stabilitenin Korunması Performans Düzeyi (5-E)* : Yapısal göçme önleme performans düzeyi ile yapısal olmayan performansın dikkate alınmadığı performansın bir kombinasyonudur. Deprem sonrası binanın taşıyıcı sistemi sadece düşey yükler altında stabilitesini korumaktadır. Bina, dayanım ve rijitliğinin çoğunu kaybetmiştir. Binanın artçı depremlerde göçmeye karşı bir güvenliği kalmamıştır. Binanın onarılması genellikle hem ekonomik hemde pratik açıdan mümkün değildir. Yapıda, taşıyıcı olmayan elemanlardan ve hatta taşıyıcı sistem elemanlarındaki hasarlardan kaynaklanan can güvenliği tehlikesi mevcuttur. Binalarda bu performans düzeyi istenmez.

## **2.2 Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri**

Yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmesi için lineer olmayan davranışının belirlenmesi gerekmektedir. Yapıların lineer olmayan davranışın belirlenmesi için geliştirilen yöntemler iki ana gruba ayrılabilir. Bunlardan birincisi lineer olmayan dinamik analiz yöntemleri, ikincisi lineer olmayan statik analiz yöntemleridir. Lineer olmayan dinamik analiz yönteminin kullanılabilmesi için çok fazla sayıda yerel deprem kaydı gerekmektedir. Bu yerel deprem kayıtlarından yararlanılarak lineer olmayan dinamik analiz yöntemleri ile yapı davranışı gerçeğe oldukça yakın olarak

elde edilebilmektedir. Ancak bu analiz, çok zaman alıcı ve oldukça karmaşıktır. Bu nedenle pratikteki kullanımı günümüzde oldukça sınırlıdır ve daha çok bilimsel araştırmalar ve özel projeler için kullanılmaktadır. Lineer olmayan dinamik analiz yöntemlerinin yukarıda sözü edilen özellikleri nedeniyle, bu yönteme alternatif olarak pratikteki mühendislerin kullanımları için daha uygulanabilir olan spektrum esaslı lineer olmayan statik analiz yöntemleri geliştirilmiştir.

### 2.2.1 Lineer Olmayan Statik Analiz Yöntemleri

Yapıların deprem yükleri altındaki lineer olmayan davranışlarının belirlenmesi için kullanılan lineer olmayan statik analiz yöntemleri temel olarak, yapının yatay deprem kuvvetleri altındaki dayanımını temsil eden *yatay kuvvet – kritik deplasman* ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre elde edilmesine ve bunun çeşitli parametrelerle değerlendirilmesine dayanmaktadır. Kapasite eğrisi (Pushover eğrisi) olarak isimlendirilen *yatay kuvvet–kritik deplasman* ilişkisinin elde edilmesi sayesinde, yapının zayıf elemanları ve bunların yerleri, olabilecek kısmi veya toptan göçme mekanizması durumları, tüm yapının ve elemanların deformasyon talepleri belirlenebilmektedir. Ayrıca, belirli bir deprem tehlike seviyesi için yapıdan istenen performans düzeyinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği kontrol edilebilmektedir [42].

Lineer olmayan statik analiz yöntemleri, kuvvet esaslı ve deplasman (yerdeğiştirme) esaslı yaklaşım olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

Kuvvet esaslı yaklaşımda, yapının özelliklerine bağlı olarak bir yapı davranışı (süneklik düzeyi) öngörülür. Daha sonra bu yapı davranışı ile birlikte zemin özellikleri, deprem ivmesi vb. özellikler göz önünde bulundurularak yapıya etkiyecek yatay deprem yükleri belirlenir. Sabit düşey yükler altında bu yatay deprem yükleri aralarındaki oran sabit kalacak şekilde (monoton artan) artırılır. Her yük artımı için sistem malzeme ve geometri

değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre hesaplanır. Yük artımı yapılırken tüm kritik kesitlerdeki şekil değiştirmeler, kritik yer değiştirmeler, yapının göçtüğünü ifade eden sınır değerler (büyük yer değiştirmeler ve şekil değiştirmeler, betonarme yapılarda zararlı çatlaklar vb.) ile karşılaştırılarak kontrol edilir. Yapıyı göçme konumuna getiren yükler belirlendikten sonra bu yükler yatay işletme yüklerine bölünerek yapının göçme yüklerine karşı güvenliği belirlenir [13, 14, 43, 44]. Ancak bu yöntemlerde yapının yatay yük taşıma kapasitesine bağlı olan deprem yüklerinin (yapının süneklik değerine bağlı olarak) çok dikkatli şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Aksi halde bu yüklere bağlı olarak belirlenen göçme güvenliği de hatalı olacaktır.

Bu kuvvet esaslı yaklaşıma alternatif olarak, yapıya etkiyen deprem yükleri yerine göz önüne alınan deprem seviyesi için yapının yapabileceği maksimum deplasmanı esas alan yöntemler geliştirilmiştir. Bu yaklaşımın kullanıldığı deplasman (yerdeğiştirme) esaslı yöntemlerde [1,3], yapının dinamik özelliklerine bağlı olarak belirlenen bir yatay yük grubu yapıya etkililir. Sabit düşey yükler altında bu yatay deprem yükleri aralarındaki oran sabit kalacak şekilde (monoton artan) artırılır. Her yük artımı için sistem malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre hesaplanarak yapının kritik tepe deplasmanı kontrol edilir. Kritik tepe deplasmanı olarak, deprem etkisindeki yapının deplasman talebi ile kapasitesinin eşit olduğu andaki deplasman değeri kullanılır. Bu deplasman değerinin hesabında yöntemlere bağlı olarak farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Yatay yükler artırılarak belirlenen tepe deplasmanına ulaşıldığında, yapıdan istenen deprem güvenliğinin (performans düzeyinin) sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

Literatürde deplasman (yerdeğiştirme) esaslı yaklaşımın kullanıldığı lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden başlıcaları; Kapasite Spektrumu Yöntemi (KSY) [1], Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) [3], Sekant Yöntemi [45], İn elastik Spektrum Yöntemi [18], Akma Noktası Spektrumu Yöntemi [23]'dir. Bu yöntemler, yapı davranışında birinci modun esas alındığı, yüksek mod etkilerinin ihmal edildiği yöntemlerdir. Ancak son

dönemlerde yüksek mod etkilerinin de hesaba katıldığı *çok mod esaslı* yöntemler geliştirilmektedir [28,46].

Bu çalışmada, literatürde kullanımı en yaygın olan lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden, Kapasite Spektrumu Yöntemi (KSY) ve Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) kullanılmıştır.

### 2.2.1.1 Kapasite Spektrumu Yöntemi (KSY)

Bu yöntem, belirli bir deprem yer hareketi için yapıya yüklenen deplasman talebi (istemi) ile yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır. Yapıda deprem yükleri altında elastik olmayan deformasyonlar meydana gelir, bu deformasyonlar yapının sönümünü artırır ve dolayısıyla deprem talebini azaltır. Kapasite spektrum yöntemi, yapıda meydana gelen elastik olmayan deformasyonlara bağlı olarak elastik talep spektrumunu indirgeyip kapasite ve talebin eşit olduğu noktayı belirlemeye çalışır. *Performans noktası* adı verilen bu noktada, yapıdan istenen performans düzeyinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bu yöntemde üç temel büyüklüğün belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar, *kapasite, deplasman talebi ve performans noktasıdır* [1].

Bu yöntemde performans noktası belirlenirken kapasite eğrisi, talep spektrumu ile karşılaştırılması gerektiği için spektral formata dönüştürülür. Ancak, talep spektrumu tek serbestlik dereceli sisteme ait olduğu için, 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 (2.1-a,b) ve (2.2-a,b) bağıntıları ile belirlenebilir (Şekil 2.3) [1]. Kapasite Spektrum Yöntemi ile performans noktasının elde edilmesinde, geleneksel olarak kullanılan *Spektral ivme–Periyot* ( $S_a-T$ ) yerine *Spektral ivme–Spektral deplasman* ( $S_a-S_d$ ) (ADRS) formatı kullanılır.



$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i \phi_{i,1} / g) \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i / g) \right] \left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i \phi_{i,1}^2 / g) \right]}, \quad PF_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i \phi_{i,1} / g) \right]}{\left[ \sum_{i=1}^{N_k} (w_i \phi_{i,1}^2 / g) \right]} \quad (2.1-a,b)$$

$$S_a = \frac{V_T / W}{\alpha_1}, \quad S_d = \frac{\delta_{\max}}{PF_1 \phi_{tepe,1}} \quad (2.2-a,b)$$

Burada;

$S_a, S_d$  : Spektral ivme ve spektral deplasman,

$V_T, \delta_{\max}$  : Toplam taban kesme kuvveti ve yapının tepe deplasmanı,

$W, N_k$  : Yapının toplam ağırlığı ve kat adedi,

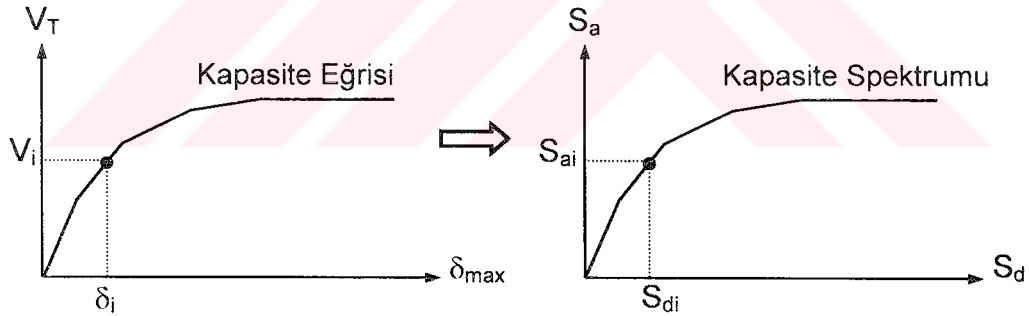
$w_i$  :  $i$  nolu kat ağırlığı,

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

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

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

olarak tanımlanmaktadır.



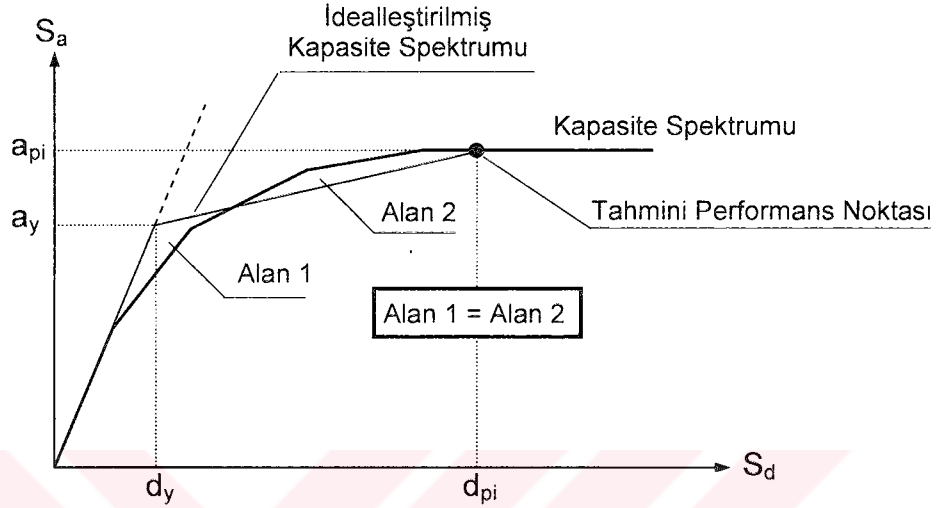
Şekil 2.3 Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

### Deplasman Talebinin ve Performans Noktasının Belirlenmesi

Verilen bir yapı ve deprem için deplasman talebi, deprem esnasında yapının beklenen maksimum davranışının bir tahminidir. Deprem yükleri altındaki yapı elastik olmayan deformasyonlar nedeniyle rijitlik kaybeder, rijitlik kaybettikçe yapının 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. Bu idealleştirme, eğrinin altında kalan alan (Alan 2) ile iki doğru parçalı idealleştirilmiş eğrinin altında kalan alan (Alan 1) eşit olacak şekilde yapılır (Şekil 2.4) [1].



Şekil 2.4 Kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesi

Burada (Şekil 2.4'de) ;

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

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

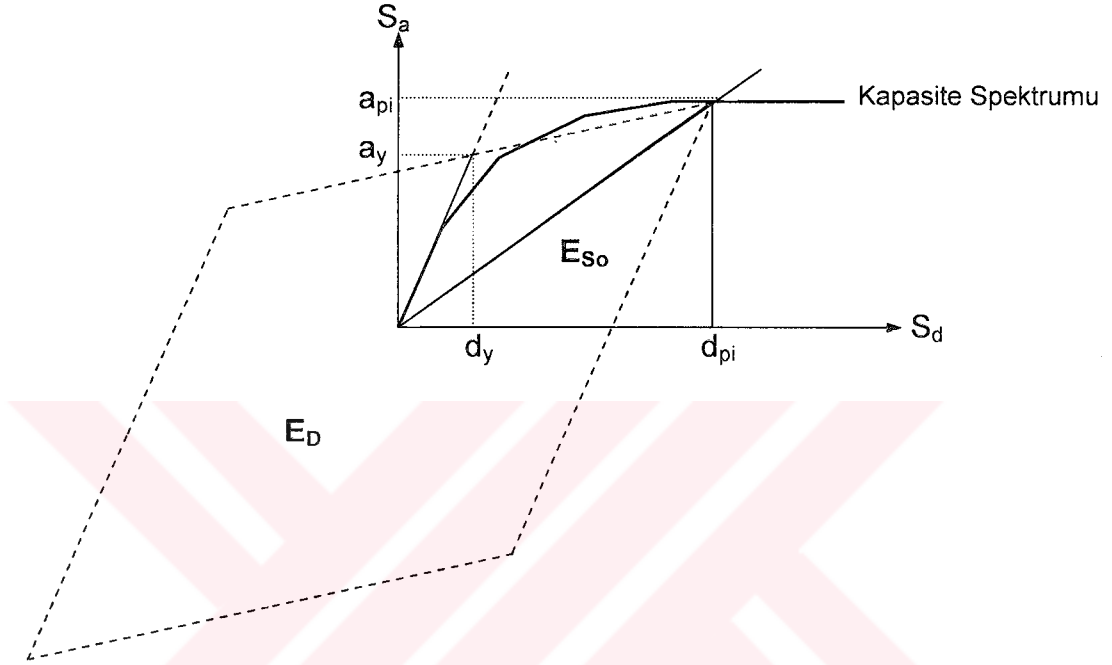
$a_{pi}$  : Tahmini performans noktasının spektral ivme koordinatı (ADRS formatında),

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

olarak tanımlanmaktadır.

Kapasite spektrumu, iki doğru parçası ile idealleştirildikten sonra binanın sönümü hesaplanabilir. Deprem hareketinin yapıya elastik bölge dışında etkidiğinde oluşan sönüm, yapının doğasında olan viskoz sönümle histeristik sönümün bir kombinasyonu ile temsil edilir. Kapasite spektrumu yöntemi farklı süneklik seviyelerini gösteren indirgenmiş elastik spektrumu elde etmek için bu sönümü kullanır. Histeristik sönüm, yapının deprem

kuvvetine (taban kesme kuvveti) karşı kritik deplasman grafiği çizildiğinde oluşan çevrim içinde kalan alanla ilişkilidir (Şekil 2.5). (2.3) bağıntısı ile hesaplanabilen histeristik sönüm, eşdeğer viskoz sönüm ile temsil edilebilir. Eşdeğer viskoz sönüm ( $\beta_{eq}$ )  $d_{pi}$ 'nin maksimum bir deplasmanı ile ilişkilidir ve (2.4) bağıntısıyla hesaplanabilir.



Şekil 2.5 Spektral indirgeme için sönümün elde edilmesi

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}} \quad (2.3)$$

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5 \quad (2.4)$$

Burada;

$\beta_0$  : Eşdeğer viskoz sönüm olarak temsil edilen histeristik sönüm,

$E_{S0}$  : (2.5-a) bağıntısı ile hesaplanabilen maksimum şekil değiştirme enerjisi,

$E_D$  : (2.5-b) bağıntısı ile hesaplanabilen sönümle yutulan enerji (hareketin tek bir çevriminde yapı tarafından yutulan enerji)

olarak tanımlanmaktadır [1].

$$E_{S0} = a_{pi} d_{pi} / 2 \quad (2.5-a)$$

$$E_D = 4 [(a_{pi} d_{pi} - a_y d_y - (d_{pi} - d_y)(a_{pi} - a_y) - 2d_y(a_{pi} - a_y)] = 4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi}) \quad (2.5-b)$$

Böylece (2.6) bağıntısı ile yüzde olarak elde edilen histeristik sönüm ifadesi, (2.4) bağıntısı ile eşdeğer viskoz sönüm şeklinde hesaplanabilir.

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (2.6)$$

Yeterli sünekliliğe sahip olmayan mevcut betonarme binalar, deprem etkisi altında rijitlik ve dayanım azalması vb. etkenlerden dolayı her zaman Şekil 2.5'deki gibi tam histeristik çevrim yapamazlar. Bu nedenle yeterli sünekliliğe sahip olmayan betonarme binalar için, (2.4) 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 yapısal davranış tipi için ATC 40'da verilmiştir (Çizelge 2.2) [1].

Çizelge 2.2 Sönüm düzeltme çarpanı ( $\kappa$ ) değerleri [1]

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

Çizelge 2.2'de Tip A, stabil olarak Şekil 2.5'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  $\kappa = 2/3$  olarak alınır. Tip C, histeristik çevrim alanında kalıcı azalmalar oluşur. Zayıf histeristik çevrim yapan binalar içindir ve  $\kappa = 1/3$  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 2.3) [1]. 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 [1].

Çizelge 2.3 Yapısal davranış tipleri [1]

Sarsıntı süresi	Yeni binalar	Mevcut binalar	Zayıf mevcut Binalar
Kısa	Tip A	Tip B	Tip C
Uzun	Tip B	Tip C	Tip C

Böylece  $\kappa$  sönüm düzeltme çarpanı kullanılarak efektif viskoz sönüm ( $\beta_{eff}$ ), (2.7) bağıntısıyla hesaplanabilir.

$$\beta_{eff} = \kappa \beta_0 + 5 \quad (2.7)$$

Hesaplanan efektif viskoz sönüme bağlı olarak %5 sönümlü elastik davranış spektrumunu indirgemek için kullanılacak indirgeme katsayıları  $SR_A$  ve  $SR_V$  (2.8) ve (2.9) bağıntıları kullanılarak elde edilir. Spektral indirgeme katsayıları için yapısal davranış tipine bağlı olarak minimum  $SR_A$  ve  $SR_V$  indirgeme katsayısı değerleri ATC 40'da [1] verilmiştir (Çizelge 2.4).

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \quad (2.8)$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \quad (2.9)$$

Burada ;

$\beta_{eff}$  : Efektif viskoz sönüm,

$\kappa$  : Sönüm düzeltme çarpanı,

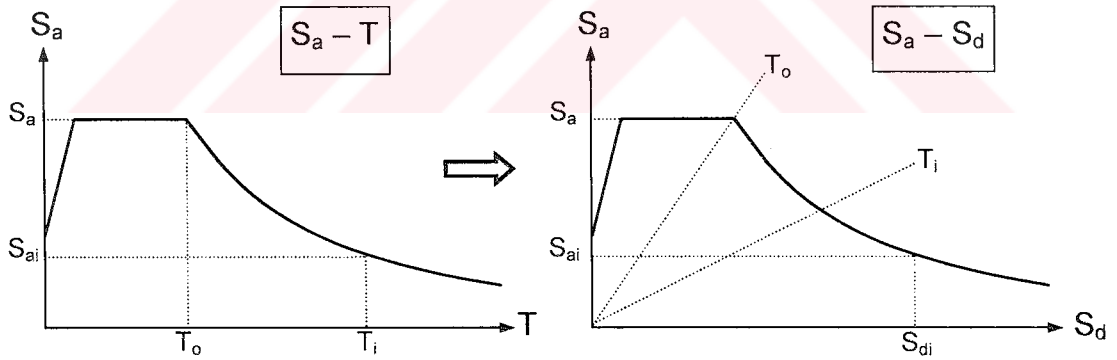
$SR_A$  : Spektrumun sabit ivme bölgesindeki spektral indirgeme katsayısı,  
 $SR_V$  : Spektrumun sabit hız bölgesindeki spektral indirgeme katsayısı  
olarak tanımlanmaktadır [1].

Çizelge 2.4 Minimum  $SR_A$  ve  $SR_V$  değerleri [1]

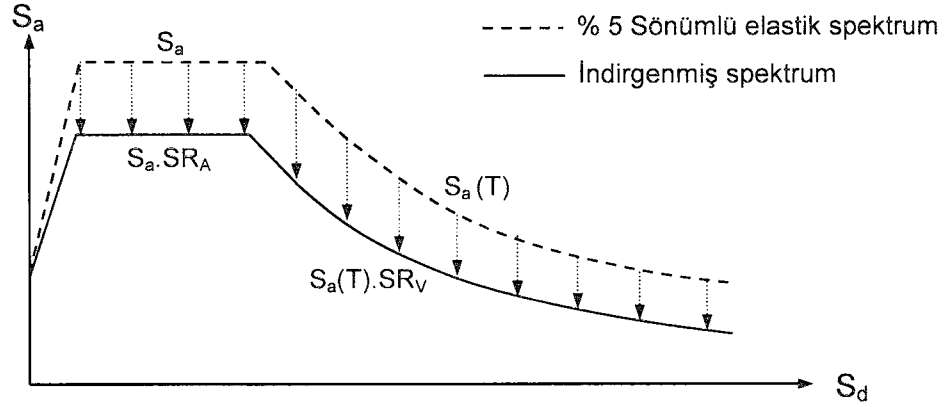
Yapısal davranış tipi	$SR_A$	$SR_V$
Tip A	0.33	0.50
Tip B	0.44	0.56
Tip C	0.56	0.67

Daha sonra, (2.10) bağıntısı ile spektral ivme - spektral deplasman (ADRS) formatına dönüştürülen elastik davranış spektrumu bu katsayılarla bağlı olarak indirgenir (Şekil 2.6 - 2.7) [1].

$$S_{di} = S_{ai} \frac{T^2}{(4\pi^2)} \quad (2.10)$$

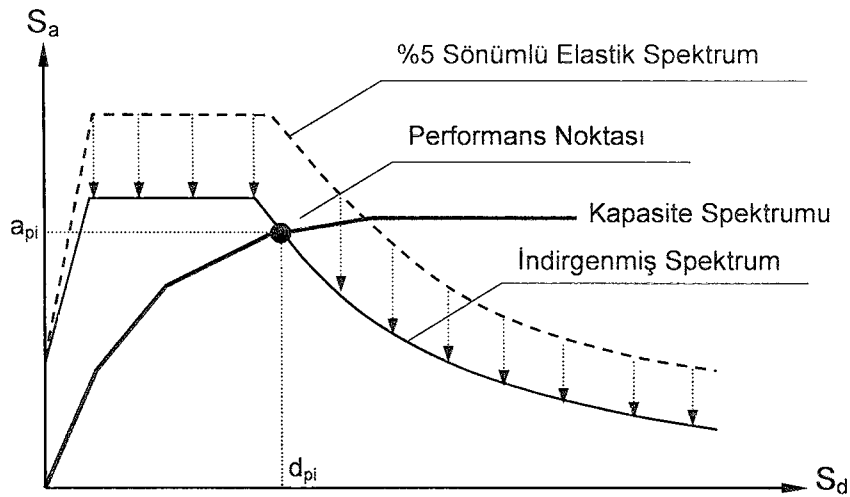


Şekil 2.6 Talep spektrumunun *spektral ivme - spektral deplasman* formatına dönüştürülmesi



Şekil 2.7 Elastik olmayan deformasyonlara 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 ya da bu noktaya yeter derecede yakın ( $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$ ) bir noktada kesişirse bu nokta **performans noktası** olarak belirlenmiş olur (Şekil 2.8). Aksi halde bulunan kesişim noktası performans noktası olarak kabul edilip aynı işlemler tekrar edilir [1]. Bu spektral değerler yine (2.2-a,b) bağıntıları kullanılarak toplam taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) ve maksimum tepe deplasmanına ( $\delta_{tepe}$ ) dönüştürülür.

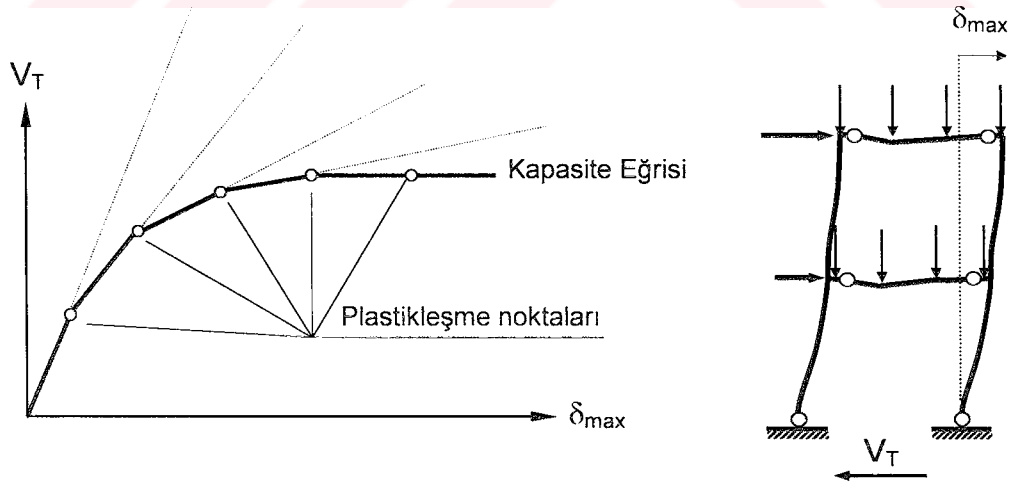


Şekil 2.8 Performans noktasının belirlenmesi

### 2.2.1.2 Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY)

Deplasman Katsayıları Yöntemi'nde (DKY) [3] Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) gibi, belirli bir deprem yer hareketi için yapıya yüklenen deplasman talebi ile yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır. Ancak, bu yöntemde deplasman talebi grafiksel olarak değil direkt olarak sayısal bir yöntemle hesaplanmaktadır. Bunun için taşıyıcı sisteminin özelliklerine bağlı olarak belirlenen, yapının periyodunu, histeristik davranışını ve ikinci merteye etkilerini temsil eden katsayılar kullanılmaktadır [1,3].

Deplasman katsayıları yönteminde önce taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) ile tepe noktası deplasmanı ( $\delta_{max}$ ) arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal titreşim periyoduna ve etkin olan modlara bağlı olarak uygun bir yük dağılımı seçilir. Sabit düşey yükler altında ve monoton olarak artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre hesap yapılarak kapasite eğrisi elde edilir (Şekil 2.9).



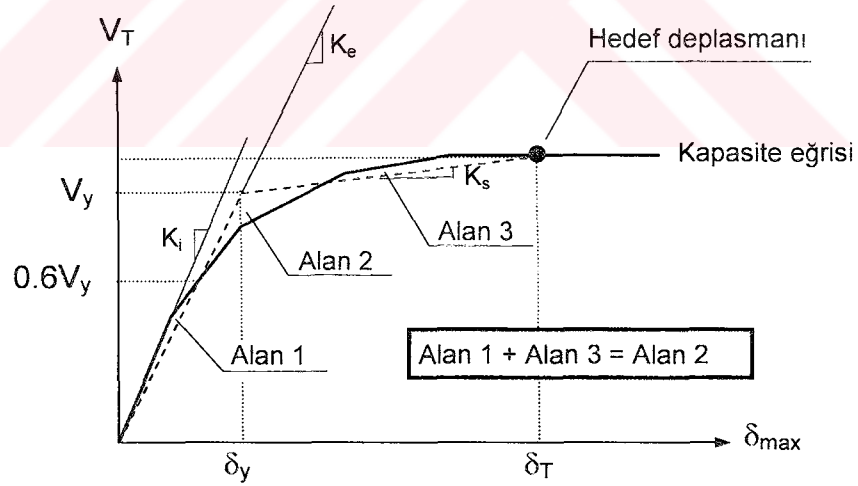
Şekil 2.9 Kapasite eğrisinin elde edilmesi



### Maksimum Deplasmanın (Hedef Deplasmanın) Belirlenmesi

Yapıya ait 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 ordinatının %60'ı ( $0.60V_y$ ) olması sağlanır (Şekil 2.10). İki doğru parçasının kesişim noktası başlangıçta bilinmediği için bir deneme yanılma yöntemi uygulanmaktadır.

Buna göre, kapasite eğrisi üzerinde tahmini bir hedef deplasmanı ( $\delta_T$ ) belirlenerek  $K_e$  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 seçilerek işlem tekrarlanır. Bu şartı sağlayan idealleştirme yapıldıktan sonra (2.11) bağıntısı ile  $T_e$  efektif periyot değeri hesaplanmaktadır [3].



Şekil 2.10 Kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2.11)$$

Burada,  $T_i$  deprem kuvveti doğrultusunda yapının elastik dinamik analiz ile bulunan birinci doğal titreşim periyodu (elemanların gerçek (çatlamış) rijitlikleri kullanılarak hesaplanan),  $K_i$  yapının elastik yanal rijitliği,  $K_e$  ise elastik efektif rijitliği,  $\delta_y$  iki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma deplasmanı,  $V_y$  iki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma dayanımı olarak tanımlanır [3].

DKY'inde yapının performans düzeyi kontrolünün yapılacağı  $\delta_T$  **hedef deplasmanı**, (2.12) bağıntısı ile hesaplanmaktadır [3].

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{(4\pi^2)} \quad (2.12)$$

Burada ;

- $C_0$  : Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral deplasmanını, çok serbestlik dereceli bir sistemin tepe deplasmanı ile ilişkilendiren katsayıdır. Bu katsayı için aşağıda belirtilen değerlerden herhangi biri kullanılabilir [3].
  - a) Deplasman kontrol noktası seviyesindeki birinci modal katılım çarpanı değeri ( $PF1\phi_{tepe,1}$ ),
  - b) Hedef deplasmanına ulaşmış yapının deforme olmuş şekli kullanılarak belirlenmiş modal katılım çarpanı değeri,
  - c) Yapı taşıyıcı sistemi özelliğine ve kat adedine bağlı olarak FEMA 356'dan belirlenmektedir (Çizelge 2.5) [3].

Çizelge 2.5  $C_0$  düzeltme katsayısı değerleri [3]

Kat sayısı	Kayma Binaları		Diğer Binalar
	Üçgen yük takımı	Üniform yük takımı	Herhangi bir yük takımı
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.

- $C_1$  : *Lineer-elastic* davranış için hesaplanmış deplasmanlar ile beklenen maksimum elastik olmayan deplasmanları ilişkilendiren katsayıdır ve (2.13) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

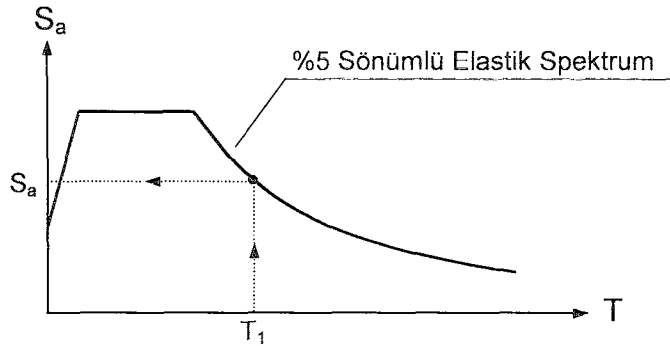
$$\left. \begin{array}{l} T_e \geq T_0 \quad \text{ise} \quad C_1 = 1.0, \\ T_e < T_0 \quad \text{ise} \quad C_1 = \frac{1.0 + \frac{(R_0 - 1)T_0}{T_e}}{R_0} \end{array} \right\} \quad (2.13)$$

Burada;

- $T_0$  : Davranış spektrumunda sabit ivme bölgesinden sabit hız bölgesine geçişe karşılık gelen karakteristik periyot değeri (Şekil 2.11),
- $T_e$  : Efektif periyot değeri,
- $R_0$  : (2.14) bağıntısı ile belirlenen elastik olmayan dayanım talebinin akma dayanımına ( $V_y$ ) oranı olarak tanımlanır.

$$R_0 = \frac{S_a(T_1)/g}{V_y/W} \cdot C_m \quad (2.14)$$

Burada;  $S_a(T_1)$  yapının birinci doğal periyoduna ( $T_1$ ) karşılık gelen spektral ivme (Şekil 2.11),  $g$  yerçekimi ivmesi,  $C_m$  etkin kütle çarpanıdır.  $C_m$  çarpanı, yapı taşıyıcı sistemine ve kat adedine bağlı olarak FEMA 356'dan belirlenmektedir (Çizelge 2.6) [3].



Şekil 2.11 %5 sönümlü elastik davranış spektrumu

Çizelge 2.6 Etkin kütle çarpanı ( $C_m$ ) için değerler [3]

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
$\geq 3$	0.90	0.80	0.80	0.90	0.90	0.90	1.00

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

- $C_2$  : Histeristik şeklin maksimum deplasman davranışı üzerindeki etkisini temsil eden değişiklik katsayısıdır. Yapı taşıyıcı sisteminin özelliğine, periyoduna ve performans düzeylerine bağlı olarak FEMA 356'dan belirlenmektedir (Çizelge 2.7 ) [3].

Çizelge 2.7  $C_2$  düzeltme katsayısı için değerler [3]

Performans Düzeyi	$T \leq 0.10$ sn		$T \geq T_0$	
	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.

$T_0$  : Davranış spektrumunda sabit ivme bölgesinden sabit hız bölgesine geçişe karşılık gelen karakteristik periyot değeridir.

- $C_3$  : II. Mertebe etkiler nedeniyle artırılmış deplasmanları temsil eden değişiklik katsayısıdır. Bu katsayı (2.15) bağıntısı ile hesaplanmaktadır [3].

$$\left. \begin{aligned}
 \alpha = \frac{K_s}{K_e} > 0 \quad \text{ise} \quad C_3 = 1.00 \\
 \alpha = \frac{K_s}{K_e} \leq 0 \quad \text{ise} \quad C_3 = 1 + \frac{|\alpha| \cdot (R_0 - 1)^{3/2}}{T_e}
 \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

Burada,  $K_s$  elastik sonrası rijitlik,  $K_e$  efektif elastik rijitlik,  $\alpha$  elastik sonrası rijitliğin efektif elastik rijitliğe oranı olarak tanımlanır.

### **3. İNCELENEN BİNALARIN PERFORMANS DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ**

Performans değerlendirmelerini yapmak için, pratikte yaygın olarak kullanılan binaları temsil etmek üzere, planda ve düşeyde düzensizliği bulunmayan üç katlı çerçeve (3KÇ), altı katlı çerçeve (6KÇ) ve on katlı perde-çerçeve (10KPÇ) betonarme binalar örnek olarak seçilmiştir.

Binalar TS 500 standardına [47] ve TDY'ne [4] göre boyutlandırılmış daha sonra bu binaların lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) ile performans düzeyleri belirlenmiştir.

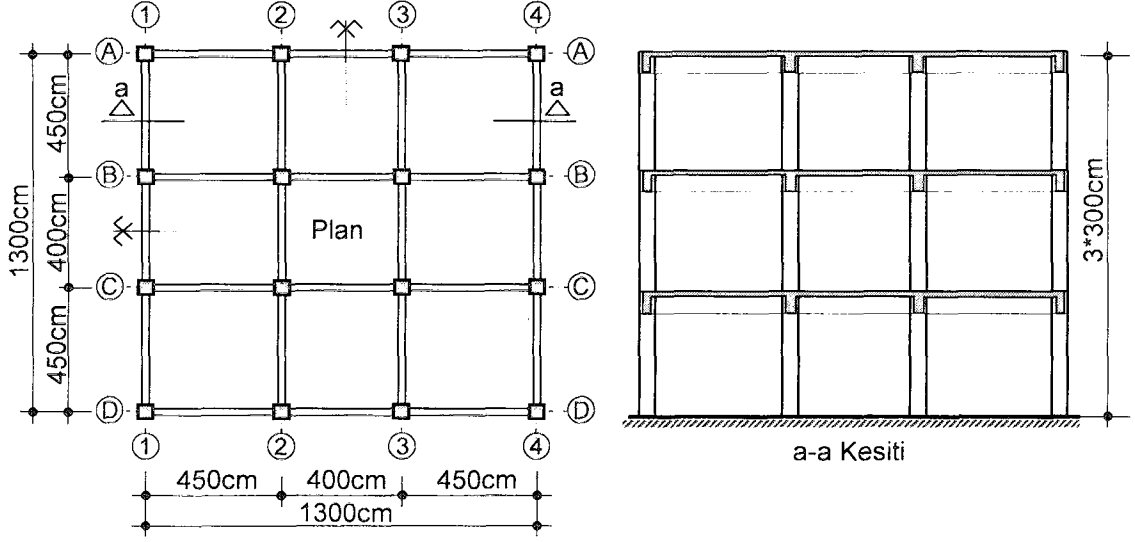
Ayrıca dolgu duvarlarının bina performansı üzerindeki etkisini incelemek üzere, üç katlı çerçeve binada dolgu duvarlarını da göz önüne alarak (3KDÇ) performans düzeyleri belirlenmiş ve bu binanın dolgusuz haline ait performans düzeyleri ile karşılaştırılmalar yapılmıştır.

#### **3.1 Binaların Özellikleri**

##### **3.1.1 Dolgusuz Çerçeve Binaların Özellikleri**

Örnek olarak ele alınan dolgusuz üç katlı betonarme çerçeve (3KÇ), altı katlı betonarme çerçeve (6KÇ) ve on katlı betonarme perde-çerçeve (10KPÇ) binaya ait plan ve kesit görünüşleri Şekil 3.1-3.3'de, taşıyıcı sistem elemanlarına ait eleman boyutları ve donatıları, 3KÇ için Çizelge 3.1-3.2'de, 6KÇ için Çizelge 3.4-3.5'de, 10KPÇ için Çizelge 3.7-3.8'de verilmiştir. Binaların genel özellikleri 3KÇ için Çizelge 3.3'de, 6KÇ için Çizelge 3.6'da ve 10KPÇ için Çizelge 3.9'da verilmiştir.

• Üç katlı çerçeve betonarme bina (3KÇ)



Şekil 3.1 Üç katlı çerçeve (3KÇ) betonarme binanın plan ve kesiti

Çizelge 3.1 Üç katlı çerçeve betonarme binanın kolon boyutları ve donatıları

Kolonlar	Katlar	Kolon Boyutları (cm*cm)	Kolon Donatı Alanları (cm <sup>2</sup> )
A1, A2, A3, A4	1,2,3	50 * 50	24.12 cm <sup>2</sup>
B1, B2, B3, B4	1,2,3	50 * 50	24.12 cm <sup>2</sup>
C1, C2, C3, C4	1,2,3	50 * 50	24.12 cm <sup>2</sup>
D1, D2, D3, D4	1,2,3	50 * 50	24.12 cm <sup>2</sup>

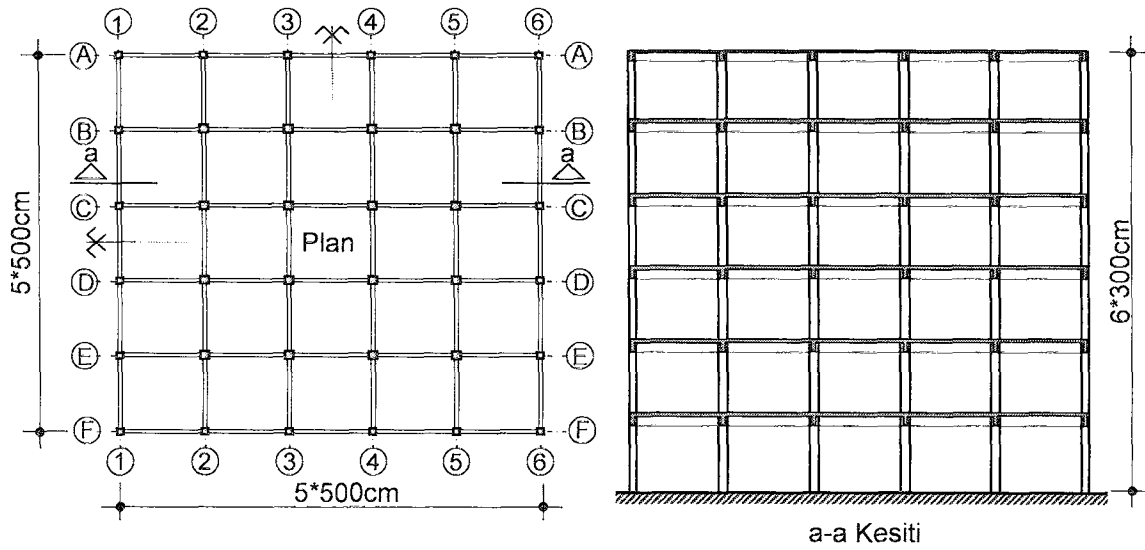
Çizelge 3.2 Üç katlı çerçeve betonarme binanın kiriş boyutları ve donatıları

Akslar	Kiriş Boyutu cm*cm	Kiriş Donatıları (cm <sup>2</sup> )							
		Katlar		1. Açıklık		2. Açıklık		3. Açıklık	
				Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
1-1	25*40	3	Üst	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39
			Alt	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26
2		Üst	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	
		Alt	3.39	2.26	2.26	2.26	2.26	3.39	
1		Üst	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	
		Alt	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	
2-2	25*50	3	Üst	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52
Alt			2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	
2		Üst	7.42	6.06	6.06	6.06	6.06	7.42	
		Alt	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	
1		Üst	7.42	6.54	6.54	6.54	6.54	7.42	
		Alt	3.80	3.39	3.39	3.39	3.39	3.80	

Çizelge 3.3 Üç katlı çerçeve betonarme binanın genel özellikleri

Üç Katlı Çerçeve Betonarme Bina (3KÇ)				
Deprem bölgesi		1		
Bina önem katsayısı	I	1		
Etkin yer ivme katsayısı	$A_0$	0.40		
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A, T_B$ (sn)	0.15	0.40	
Yerel zemin sınıfı	Z	Z2		
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	R	8		
Beton ve beton çeliği sınıfı		C 20	ST III	
Betonun elastisite modülü ve beton çeliğinin akma dayanımı	kg/cm <sup>2</sup>	285000	4200	
Binanın elastik birinci doğal titreşim periyodu	$T_1$ (sn)	0.305		
Binanın çatlamış kesitli birinci doğal titreşim periyodu	$T_{1ç}$ (sn)	0.458		
<b>Katlar</b>		<b>1. Kat</b>	<b>2. Kat</b>	<b>3. Kat</b>
Deprem kuvveti yönünde binanın birinci doğal titreşim moduna ait genlikleri	$\phi_{i,1}$	0.296	0.713	1.000
Binanın kat kütleleri	$m_i$ (tsn <sup>2</sup> /m)	18.14	18.14	18.14
Eşdeğer deprem yükleri	$F_i$ (ton)	11.123	22.246	33.368

• **Altı katlı çerçeve betonarme bina (6KÇ)**



Şekil 3.2 Altı katlı çerçeve (6KÇ) betonarme binanın plan ve kesiti



Çizelge 3.4 Altı katlı çerçeve betonarme binanın kolon boyutları ve donatıları

Kolonlar	Katlar	Kolon Boyutları (cm*cm)	Kolon Donatıları (cm <sup>2</sup> )
A1, A3, A4, A6, C1, C6, D1, D6, F1, F3, F4, F6	1-6	40*40	18.48 cm <sup>2</sup>
A2, A5, F2, F5, B1, B6, E1, E4	1-6	40*40	20.10 cm <sup>2</sup>
B2, B3, B4, B5, C2, C3, C4, C5, D2, D3, D4, D5, E2, E3, E4, E5	1-6	50*50	24.64 cm <sup>2</sup>

Çizelge 3.5 Altı katlı çerçeve betonarme binanın kiriş boyutları ve donatıları

Akşlar	Kiriş Boyutları (cm*cm)	Katlar	Kiriş Donatıları (cm <sup>2</sup> )							
				1. Açıklık		2. Açıklık		3. Açıklık		
				Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	
A-A F-F	25*40	6	Üst	3.39	3.39	3.39	3.80	3.80	3.39	
			Alt	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	
	25*50	5	Üst	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	
			Alt	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	
		4	Üst	8.54	8.54	8.54	8.54	8.54	8.54	
			Alt	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	
		3	Üst	11.68	8.54	8.54	8.54	8.54	8.54	
			Alt	4.93	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	
	1	Üst	12.81	12.81	12.81	9.67	9.67	9.67		
		Alt	6.76	6.16	4.93	4.93	4.93	4.93		
	B-B E-E	25*40	6	Üst	4.27	6.28	6.28	5.40	5.40	5.40
				Alt	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39
25*50		5	Üst	8.54	8.54	8.54	8.54	8.54	8.54	
			Alt	4.62	4.62	4.62	4.62	3.39	3.39	
		4	Üst	9.67	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	
			Alt	4.62	6.63	5.40	5.40	5.40	5.40	
		3	Üst	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	
			Alt	5.75	7.76	6.53	6.53	6.53	6.53	
1		Üst	12.81	15.95	15.95	15.95	15.95	15.95		
		Alt	6.63	8.64	7.41	7.41	7.41	7.41		
C-C D-D		25*40	6	Üst	3.80	6.28	6.28	5.40	5.40	5.40
				Alt	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39
	25*50	5	Üst	6.28	8.54	8.54	8.54	8.54	8.54	
			Alt	4.62	4.62	4.62	4.62	3.39	3.39	
		4	Üst	9.67	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	
			Alt	4.62	6.63	5.40	5.40	5.40	5.40	
		3	Üst	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	
			Alt	5.75	7.76	6.53	6.53	6.53	6.53	
	1	Üst	12.81	15.95	15.95	15.95	15.95	15.95		
		Alt	6.16	8.64	7.41	7.41	7.41	7.41		

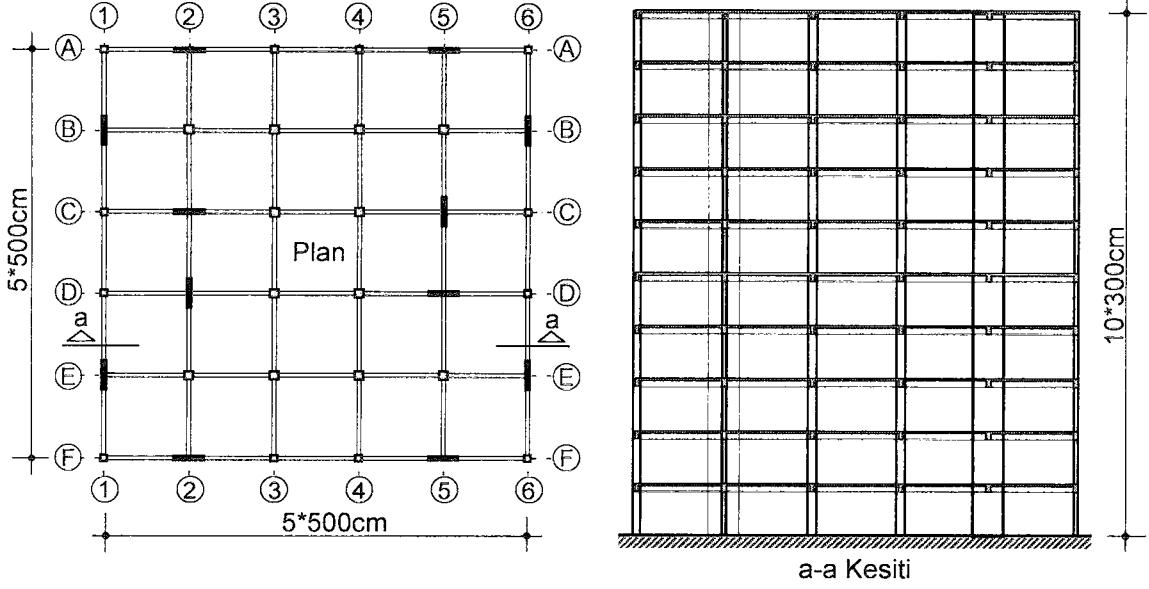
Çizelge 3.5'in devamı

Akslar	Kiriş Boyutları (cm*cm)	Kiriş Donatıları (cm <sup>2</sup> )							
		Katlar		1. Açıklık		2. Açıklık		3. Açıklık	
				Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
1-1 6-6	25*40	6	Üst	3.80	3.80	3.80	3.39	3.39	3.39
			Alt	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26
	25*50	5	Üst	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28
			Alt	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39
		4	Üst	8.54	8.54	8.54	8.54	8.54	8.54
			Alt	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52
		3	Üst	8.54	8.54	8.54	8.54	8.54	11.68
			Alt	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52
		2	Üst	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	12.81
			Alt	4.93	4.93	4.93	4.93	4.93	5.40
		1	Üst	9.67	9.67	9.67	12.81	12.81	12.81
			Alt	4.93	4.93	4.93	4.93	4.93	6.53
2-2 5-5	25*40	6	Üst	5.40	5.40	5.40	6.28	6.28	4.27
			Alt	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39
	25*50	5	Üst	8.54	8.54	8.54	8.54	8.54	8.54
			Alt	3.39	3.39	4.62	4.62	4.62	4.62
		4	Üst	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	9.67
			Alt	5.40	5.40	5.40	5.40	6.63	4.62
		3	Üst	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81
			Alt	6.53	6.53	6.53	6.53	7.76	5.75
		2	Üst	15.95	15.95	15.95	15.95	15.95	12.81
			Alt	7.41	7.41	7.41	7.41	8.64	6.63
		1	Üst	15.95	15.95	15.95	15.95	15.95	12.81
			Alt	7.41	7.41	7.41	7.41	8.64	6.63
3-3 4-4	25*40	6	Üst	5.40	5.40	5.40	6.28	6.28	3.80
			Alt	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39
	25*50	5	Üst	8.54	8.54	8.54	8.54	8.54	6.28
			Alt	3.39	3.39	4.62	4.62	4.62	4.62
		4	Üst	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81
			Alt	6.53	6.53	6.53	6.53	6.63	4.62
		3	Üst	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81
			Alt	6.53	6.53	5.40	5.40	7.76	5.75
		2	Üst	15.95	15.95	15.95	15.95	15.95	12.81
			Alt	7.41	7.41	7.41	7.41	8.64	6.16
		1	Üst	15.95	15.95	15.95	15.95	15.95	12.81
			Alt	7.41	7.41	7.41	7.41	8.64	6.16

Çizelge 3.6 Altı katlı çerçeve betonarme binanın genel özellikleri

Altı Katlı Çerçeve Betonarme Bina (6KÇ)							
Deprem bölgesi		1					
Bina önem katsayısı	I	1					
Etkin yer ivme katsayısı	$A_0$	0.40					
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A, T_B$ (sn)	0.15	0.40				
Yerel zemin sınıfı	Z	Z2					
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	R	8					
Beton ve beton çeliği sınıfı		C 20	ST III				
Betonun elastisite modülü ve beton çeliğinin akma dayanımı	kg/cm <sup>2</sup>	285000	4200				
Binanın elastik birinci doğal titreşim periyodu	$T_1$ (sn)	0.750					
Binanın çatlamış kesitli birinci doğal titreşim periyodu	$T_{1ç}$ (sn)	1.120					
<b>Katlar</b>		<b>1. Kat</b>	<b>2. Kat</b>	<b>3. Kat</b>	<b>4. Kat</b>	<b>5. Kat</b>	<b>6. Kat</b>
Deprem kuvveti yönünde binanın birinci doğal titreşim moduna ait genlikleri	$\phi_{i,1}$	0.172	0.404	0.633	0.811	0.932	1.000
Binanın kat kütleleri	$m_i$ (tsn <sup>2</sup> /m)	66.66	66.66	66.66	66.66	66.66	47.52
Eşdeğer deprem yükleri	$F_i$ (ton)	14.66	29.32	43.97	58.63	73.26	62.70

• On katlı perde-çerçeve betonarme bina (10KPÇ)



Şekil 3.3 On katlı perde-çerçeve (10KPÇ) betonarme binanın plan ve kesiti

Çizelge 3.7 On katlı perde-çerçeve betonarme binanın kolon boyutları

Kolon-Perde	Kolon – Perde Boyutları (cm)		Kolon-Perde	Kolon – Perde Boyutları (cm)	
	Katlar			Katlar	
	(1-4)	(5-10)		(1-4)	(5-10)
A1,A3,A4,A6	45*45	40*40	D1,D6	45*45	40*40
A2,A5	175*25	175*25	D2	25*175	25*175
B1,B6	25*175	25*175	D3,D4	60*60	50*50
B2,B3,B4,B5	60*60	50*50	D5	175*25	175*25
C1,C6	45*45	40*40	E1,E6	175*25	175*25
C2	175*25	175*25	E2,E3,E4,E5	60*60	50*50
C3,C4	60*60	50*50	F1,F3,F4,F6	45*45	40*40
C5	25*175	25*175	F2,F5	175*25	175*25

Çizelge 3.8 On katlı perde-çerçeve betonarme binanın kiriş boyutları

Akslar	Kiriş Boyutları (cm)
	Katlar
	(1-10)
A-A, B-B, C-C, D-D, E-E, F-F	25*50
1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5, 6-6	25*50

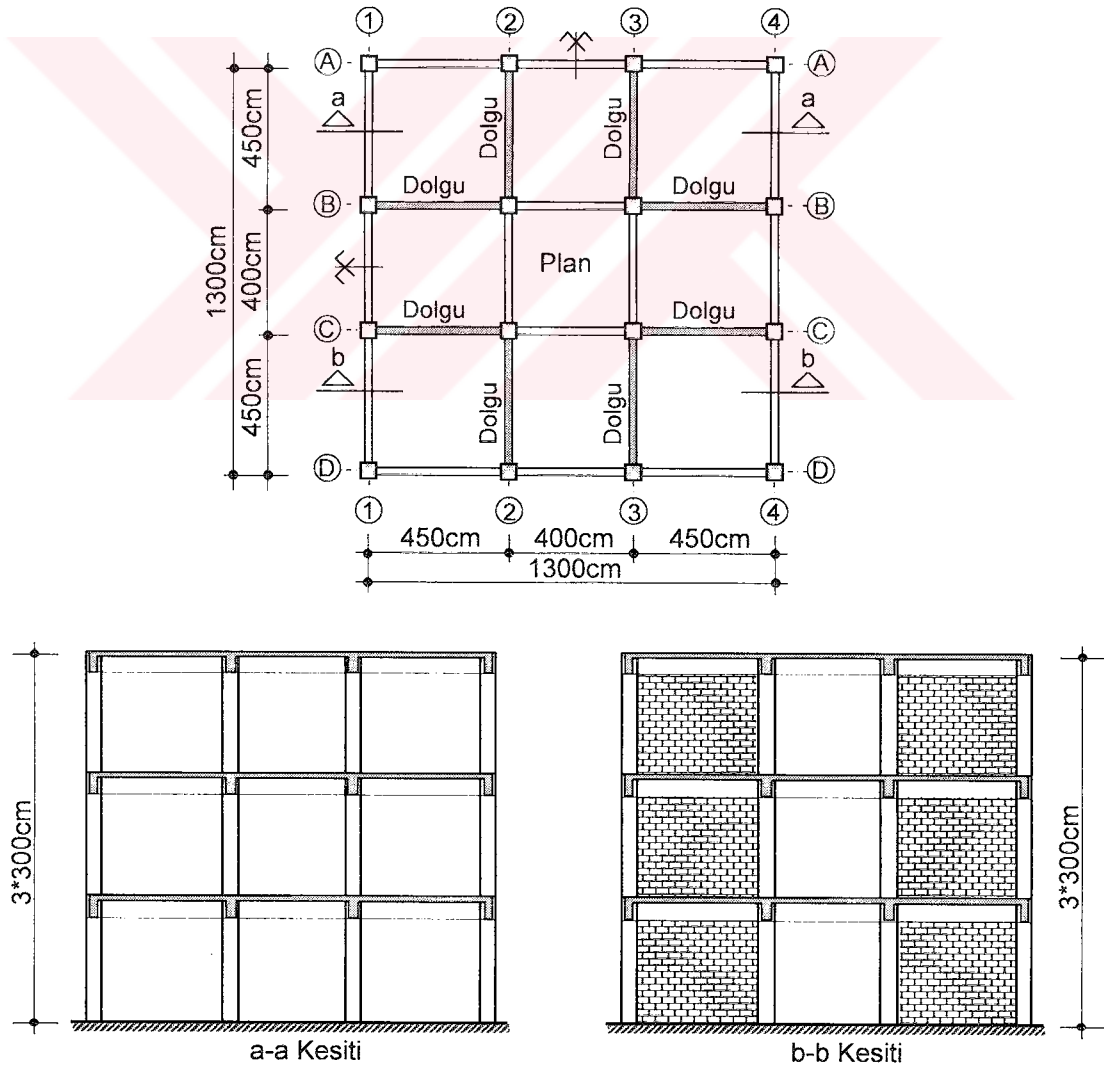
Çizelge 3.9 On katlı perde-çerçeve betonarme binanın genel özellikleri

On Katlı Perde-Çerçeve Betonarme Bina (10KPÇ)											
Deprem bölgesi									1		
Bina önem katsayısı	I								1		
Etkin yer ivme katsayısı	$A_0$							0.40			
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A, T_B$ (sn)						0.15		0.40		
Yerel zemin sınıfı	Z							Z2			
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	R							7			
Beton ve beton çeliği sınıfı					C 20				ST III		
Betonun elastisite modülü ve beton çeliğinin akma dayanımı						285000			4200		
Binanın elastik birinci doğal titreşim periyodu	$T_1$ (sn)							1.100			
Binanın çatlama kesitli birinci doğal titreşim periyodu	$T_{1ç}$ (sn)							1.630			
Katlar	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat	5. Kat	6. Kat	7. Kat	8. Kat	9. Kat	10. Kat	
Deprem kuvveti yönünde binanın 1. doğal titreşim moduna ait genlikleri	$\phi_{i,1}$	0.050	0.157	0.285	0.419	0.551	0.675	0.784	0.877	0.946	1.000
Binanın kat kütleleri	$m_i$ (tsn <sup>2</sup> /m)	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74
Eşdeğer deprem yükleri	$F_i$ (ton)	7.22	14.44	21.66	28.89	35.54	42.64	49.75	56.86	63.97	103.78

### 3.1.2 Dolgulu Çerçeve Binanın Özellikleri

Dolgu duvarlarının bina performansı üzerindeki etkisini belirlemek üzere, dolgu duvarlarının yapı davranışına katkısının göz önüne alındığı üç katlı dolgulu çerçeve (3KDÇ) betonarme binanın özellikleri aşağıda verilmiştir.

Üç katlı dolgulu betonarme çerçeve (3KDÇ) binanın taşıyıcı sistem elemanlarına ait eleman boyutları, donatıları ve diğer bina özellikleri Bölüm 3.1.1'de verilen üç katlı çerçeve (3KÇ) ile aynıdır. 3KDÇ'de; A-A, D-D, 1-1, 4-4 akslarında duvar olmadığı, B-B, C-C ve 2-2, 3-3 akslarında da 2.açıklıkta (orta açıklık) duvar olmadığı kabul edilmiştir. 3KDÇ için plan üzerinde duvarların yerleşimi ve kesiti Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4 Üç katlı dolgulu çerçeve (3KDÇ) betonarme binanın plan ve kesitleri

### 3.2 Performans Hedeflerinin Tanımlanması

Türk Deprem Yönetmeliğinde [4] depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi, “Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabılır düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi” olarak tanımlanmıştır.

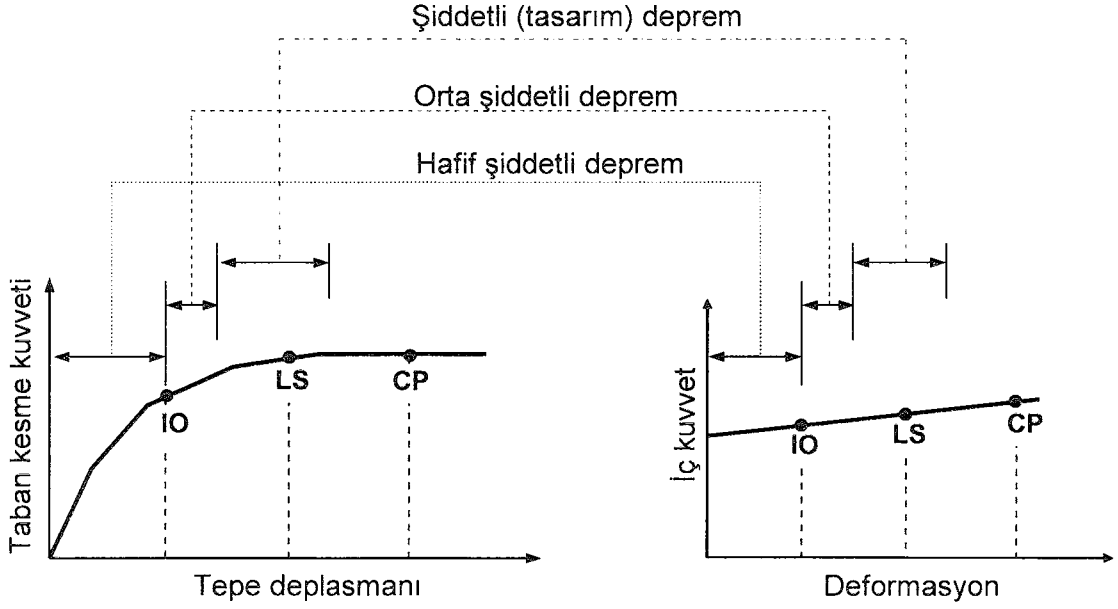
Ancak yönetmelikteki bu performans hedefleri, deprem tehlike seviyeleri ve yapıda oluşması beklenen hasar düzeyleri bakımından net olmayan tanımlamalara sahip olduğundan bina performansının öngörülen sınırlar içinde kalıp kalmadığının kontrolü yapılamamaktadır.

Bu nedenle, yönetmelikte (TDY) [4] verilen hasar durumlarının FEMA 356’ya [3] göre belirlenen performans düzeylerine ait temsili hasar durumlarından hangilerine karşı geldiği aşağıda tanımlanmıştır (Şekil 3.5).

Buna göre yaklaşık olarak eşleştirilerek ;

- Hafif şiddetteki depremlerde yapının, hemen kullanım performans düzeyinde veya daha altında ( $\leq$  IO) performans düzeyinde,
- Orta şiddetteki depremlerde yapının, hemen kullanım performans düzeyi ile (IO) ile yaşam güvenliği performans düzeyi (LS) arasında ancak hemen kullanım performans düzeyine (IO) daha yakın,
- Şiddetli (tasarım) depremlerde ise yapının, yaşam güvenliği performans düzeyinde (LS) veya ona çok yakın olduğu kabul edilmiştir.





Şekil 3.5 Deprem tehlike seviyelerinin performans düzeyleri ile eşleştirilmesi

### 3.2.1 Deprem Tehlike Seviyelerinin Tanımlanması

Yapıların performanslarını (deprem güvenliklerini) belirlemek amacı ile dört farklı deprem tehlikesi seviyesi göz önüne alınmıştır.

Bu deprem tehlike seviyeleri yönetmelikte (TDY) [4] sözü edilen;

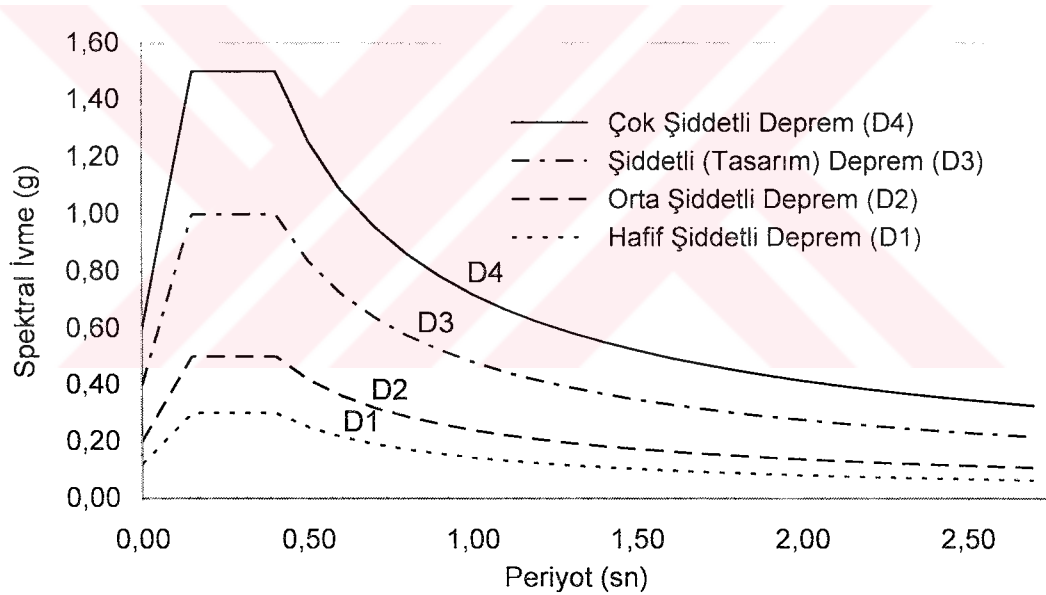
- Hafif şiddetli deprem (D1),
- Orta şiddetli deprem (D2),
- Şiddetli (tasarım) deprem (D3),
- ve
- ❖ Çok şiddetli depremdir (D4). (İlgili deprem bölgesinde beklenen en büyük depremi yaklaşık olarak temsil eden deprem)

TDY'nde [4] şiddetli deprem (tasarım depremi) olarak tanımlanan tasarım depremi,  $I=1$  olan binalar için 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı % 10 olan deprem tehlikesini ifade etmektedir. Ancak, yönetmelikte [4] yer alan hafif ve orta şiddetteki depremler için olasılıksal bir tanımlama

yapılmamıştır. Bu tanımlamaları yapmak üzere ATC 40 [1], FEMA 356 [3] ve VISION 2000 [6]'de yer alan deprem tehlike seviyesi sınıflandırmalarından yararlanılmış ve birinci derece deprem bölgesi ( $A_0=0.40$ ) için hafif ve orta şiddetteki depremler ile çok şiddetli depreme ait spektrumlar, tasarım spektrumundan üretilmiştir.

Buna göre;

- Hafif şiddetli deprem (D1), tasarım depreminin (D3) yaklaşık % 30'u,
- Orta şiddetli deprem (D2), tasarım depreminin (D3) yaklaşık % 50'si,
- Çok şiddetli deprem (D4), ise tasarım depreminin (D3) 1.5 katı olarak elde edilmiştir (Şekil 3.6).



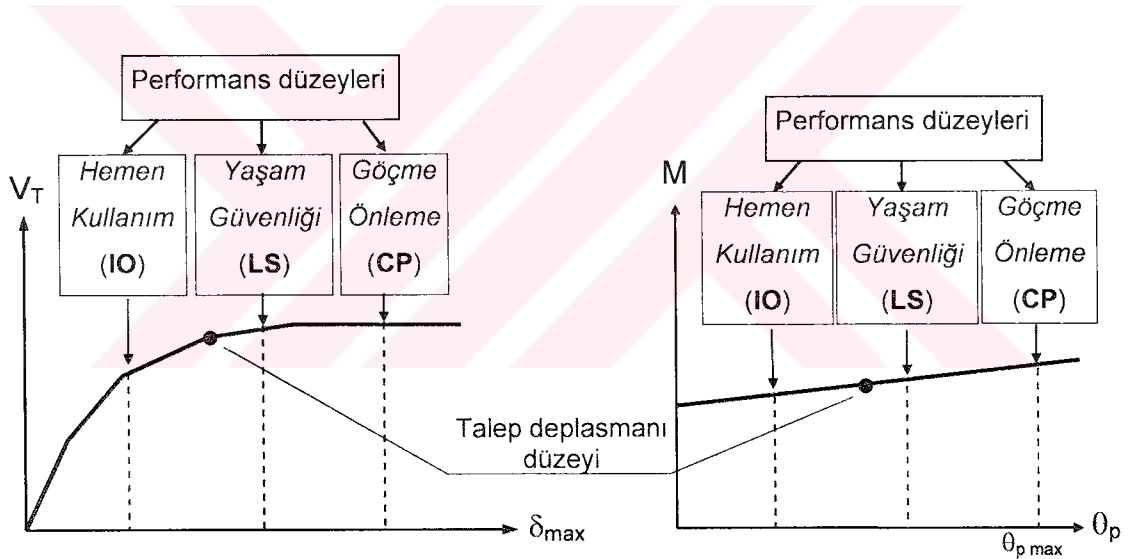
Şekil 3.6 Göz önüne alınan depremlere ait talep spektrumları

### 3.2.2 Performans Düzeylerinin Tanımlanması

Yapıların performans değerlendirmeleri yapabilmek için performans düzeylerini belirlemede gerekli kriterler iki grupta toplanabilir. Bu kriterler, deplasman talebine (performans noktasına) kadar statik olarak itilmiş binanın, taşıyıcı sistem elemanlarındaki (kiriş, kolon ve perde) maksimum plastik dönme değerleri ile maksimum göreceli kat öteleme değerleridir.

Bu çalışmada, performans değerlendirilmeleri yapılacak olan dolgunsuz ve dolgu duvarlı binalar, göz önüne alınan dört deprem tehlike seviyesi için, Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve Deplasman Katsayısı Yöntemi (DKY) ile belirlenen maksimum deplasman değerlerine (deplasman talebine) kadar statik olarak itilerek ve kesitlerdeki plastik dönme değerleri ile maksimum görece kat ötelemeleri belirlenecektir.

Taşıyıcı sistem elemanlarındaki plastik dönme değerleri açısından FEMA 356'da [3] ve binaların katlar arası görece kat ötelemeleri de ATC 40'da [1] tanımlanan performans düzeylerine (hemen kullanım düzeyi (IO), yaşam güvenliği düzeyi (LS) ve göçme önleme düzeyi (CP)) ait sınır değerler ile karşılaştırılarak yapıların performans düzeyleri belirlenecektir (Şekil 3.7) (Çizelge 3.10-3.13)



Şekil 3.7 Performans düzeylerinin belirlenmesi

Çizelge 3.10 Kirişlerin performans düzeylerine ait plastik dönme değerleri

$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{den}}$	Enine Donatı Koşulu	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_{ck}}}$	Kirişlere ait Performans Düzeyleri		
			Hemen Kullanım (IO)	Yaşam Güvenliği (LS)	Göçme Önleme (CP)
$\leq 0.00$	$s \leq d/3$ ve	$\leq 3.00$	0.005	0.020	0.025
$\geq 0.50$	$V_s \geq 0.75V$		0.005	0.010	0.020

Çizelge 3.11 Kolonların performans düzeylerine ait plastik dönme değerleri

$\frac{N}{A_g f_{ck}}$	Enine donatı Koşulu	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_{ck}}}$	Kolonlara ait Performans Seviyesi		
			Hemen Kullanım (IO)	Yaşam Güvenliği (LS)	Göçme Öleme (CP)
$\leq 0.10$	$s \leq d/3$ ve $V_s \geq 0.75V$	$\leq 3.00$	0.005	0.010	0.020
$\geq 0.40$			0.000	0.005	0.015

Çizelge 3.12 Perdelerin performans düzeylerine ait plastik dönme değerleri

$\frac{(A_s - A_s') f_{yk} + P}{t_w l_w f_{ck}}$	Enine donatı Koşulu	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_{ck}}}$	Perdelere ait Performans Seviyesi		
			Hemen Kullanım (IO)	Yaşam Güvenliği (LS)	Göçme Öleme (CP)
$\leq 0.10$	$s \leq d/3$ ve $V_s \geq 0.75V$	$\leq 3.00$	0.005	0.010	0.015
$\geq 0.25$			0.003	0.006	0.009

Burada; P tasarım eksenel kuvvet değeri,  $A_g$  kolon ve perdenin brüt alanı,  $f_{ck}$  betonun basınç dayanımı,  $\rho$  çekme donatısı oranı,  $\rho'$  basınç donatısı oranı,  $\rho_{den}$  dengeli donatı oranı, V tasarım kesme kuvvet değeri,  $V_s$  plastik mafsallık bölgesindeki etriyelerin karşıladığı kesme kuvveti,  $b_w$  enkesit genişliği, d enkesitin etkin yüksekliği,  $A_s$  çekme donatı alanı,  $A_s'$  basınç donatısı alanı,  $f_{yk}$  donatının akma gerilmesi,  $t_w$  perdenin kalınlığı,  $l_w$  perde enkesit uzun kenarı, s plastik mafsallık bölgesindeki etriye aralığıdır.

Çizelge 3.13 Bina performans düzeylerine ait maksimum görece kat öteleme değerleri

Bina Performans Düzeyleri ve Bölgeleri	Hemen Kullanım (IO)	Hasar Kontrol Bölgesi (IO-LS)	Yaşam Güvenliği (LS)	Göçme Öleme (CP)
Maksimum görece kat ötelemesi	0.01	0.01 - 0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$

Burada;  $V_i$  i nolu kattaki toplam yanal kesme kuvveti,  
 $P_i$  i nolu kattaki toplam düşey yük.

### 3.3 Binaların Matematik Modellenmesi ve Hesaplarda Yapılan Varsayımlar

Binaların lineer olmayan statik analizi ile kapasite eğrilerinin elde edilmesinde varsayımlar üç ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar; genel varsayımlar, taşıyıcı sistem elemanları (kolon, kiriş ve perde) için varsayımlar ve dolgu duvar modellemesi ile ilgili varsayımlardır.

a) *Genel varsayımlar:*

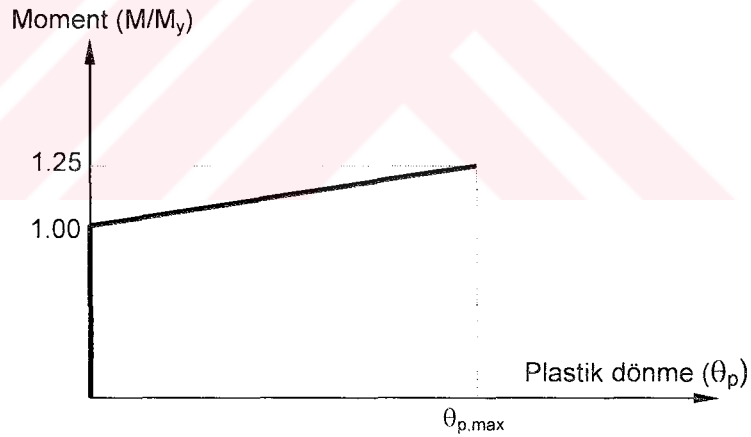
- Malzemenin lineer olmayan davranışı plastik mafsallık (plastik kesit) hipotezi ile göz önüne alınmaktadır. Buna göre, plastik şekil değiştirmelerin *plastik kesit* adı verilen belirli bölgelerde toplandığı bunun dışındaki bölgelerde malzeme davranışının *lineer-elastik* olduğu kabul edilmektedir.
- İkinci Mertebe Teorisine göre hesap yapılmaktadır. Buna göre, geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisi göz önüne alınmıştır.
- Binaların kapasite eğrilerinin elde edilmesinde kuvvet kontrollü ve deplasman (yerdeğiştirme) kontrollü olmak üzere iki farklı analiz yöntemi kullanılmıştır.

Buna göre, dolgusuz çerçeve binaların kapasite eğrisini elde etmek için *II. Mertebe Limit Yüke* [44] ulaşıncaya kadar kuvvet kontrollü elastik ötesi statik itme analizi uygulanmıştır.

Dolgu duvarlı çerçeve binada kapasite eğrisini elde etmek için, dolgu duvarını temsil eden diyagonal çubuk elemanların yük taşıma kapasitelerine ulaştıktan sonra artan yatay yükler nedeniyle üzerlerindeki yükü boşaltmaları sırasında kuvvet kontrollü analizde karşılaşılabilecek stabilite sorunundan dolayı deplasman kontrollü analiz yöntemi uygulanmıştır. Bu analizler, taşıyıcı sistem elemanlarından herhangi birinin plastik dönme kapasitesi ulaşıncaya kadar devam ettirilmiştir.

b) Taşıyıcı sistem elemanları (kiriş, kolon ve perde) için yapılan varsayımlar:

- Plastikleşmenin kirişlerde basit eğilme ile, kolonlarda ise iki eksenli eğilme momenti ve normal kuvvetin etkileşimi ile meydana geldiği kabul edilmiştir. Kolon, kiriş ve perdelerde malzemenin lineer olmayan davranışı için *moment-plastik dönme* davranış modeli *pekleşen-rijit-plastik* olarak kabul edilmiş ve buna ait karakteristik değerler (plastikleşme momentleri ve maksimum plastik dönme değerleri) ATC 40 [1]'dan alınmıştır (Şekil 3.8) (Çizelge 3.14).
- Taşıyıcı sistem elemanlarında kesme kırılması oluşmadığı ve burulma çatlama dayanımının aşılmadığı kabul edilmiştir. Bunun için elemanların kesme kuvveti ve burulma momenti taşıma kapasitelerini aşıp aşmadığı kontrol edilmiştir.
- Taşıyıcı sistem elemanlarında (kolon, kiriş ve perdelerin) çatlama kesit rijitlikleri için FEMA 356'da [3] önerilen değerler kullanılmıştır (Çizelge 3.15).



Şekil 3.8 Kiriş, kolon ve perdeler için *Moment - Plastik dönme* bağıntısı

Çizelge 3.14 Kolon, kiriş ve perde elemanlar için modelleme parametreleri [1]

Kolon	Perde	Kiriş	Enine Donatı Koşulu	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_{ck}}}$			Max. Plastik Dönme Değeri ( $\theta_{p,max}$ ) (Radyan)		
				Kolon	Perde	Kiriş	Kolon	Perde	Kiriş
$\frac{P}{A_g f_{ck}}$	$\frac{(A_s - A'_s) f_{yk} + P}{t_w l_w f_{ck}}$	$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{den}}$	$s \leq d/3$ ve $V_s \geq 0.75V$	$\leq 3.00$			0.020	0.015	0.025
$\geq 0.40$	$\geq 0.25$	$\geq 0.50$					0.015	0.009	0.020

Çizelge 3.15 Kolon, kiriş ve perde için çatlama kesit rijitlik değerleri [3]

Binanın yapısal elemanları	Eğilme Rijitliği	Kayma Rijitliği	Eksenel Rijitliği
Kirişler	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	---
Tasarım düşey yüklerinden dolayı eksenel basınç kuvveti $\geq 0.50 A_g f'_c$ olan kolonlar	$0.7 E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	$E_cA_g$
Tasarım düşey yüklerinden dolayı eksenel basınç kuvveti $< 0.30A_g.f'_c$ olan veya çekme kuvveti alan kolonlar	$0.5 E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	$E_sA_s$
Perde – Çatlamamış (Gözle tespitle)	$0.8 E_cI_g$	$0.4E_cA_g$	$E_cA_g$
Perde – Çatlamış	$0.5 E_cI_g$	$0.4E_cA_g$	$E_cA_g$

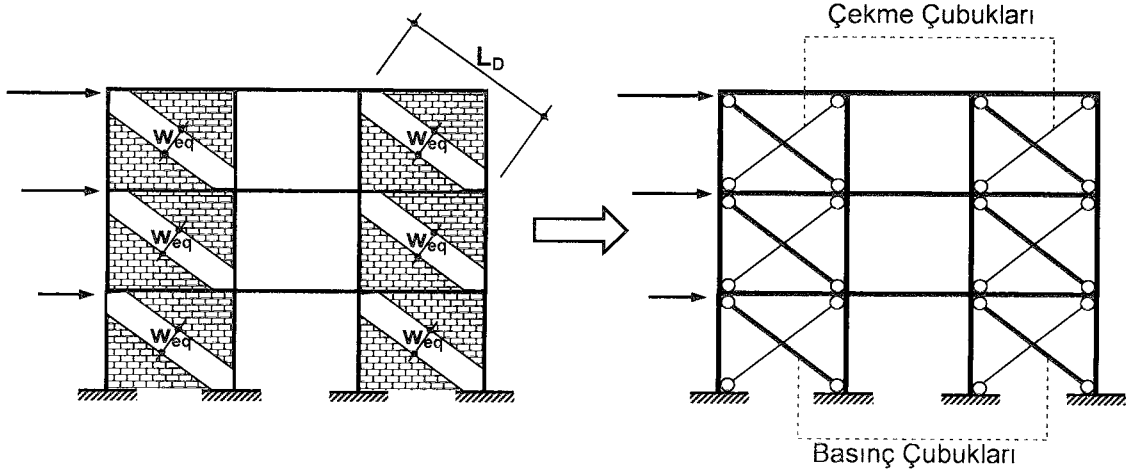
Burada ;  $E_c$  betonun elastisite modülü,  $E_s$  donatının elastisite modülü,  $I_g$  betonarme kesitin brüt atalet momenti,  $A_w$  kirişin enkesit alanı ( $b_w*d$ ),  $A_g$  kolon ve perdenin brüt enkesit alanı,  $A_s$  çekme donatısının alanı olarak tanımlanır.

c) Dolgu duvar modellemesi ile ilgili varsayımlar:

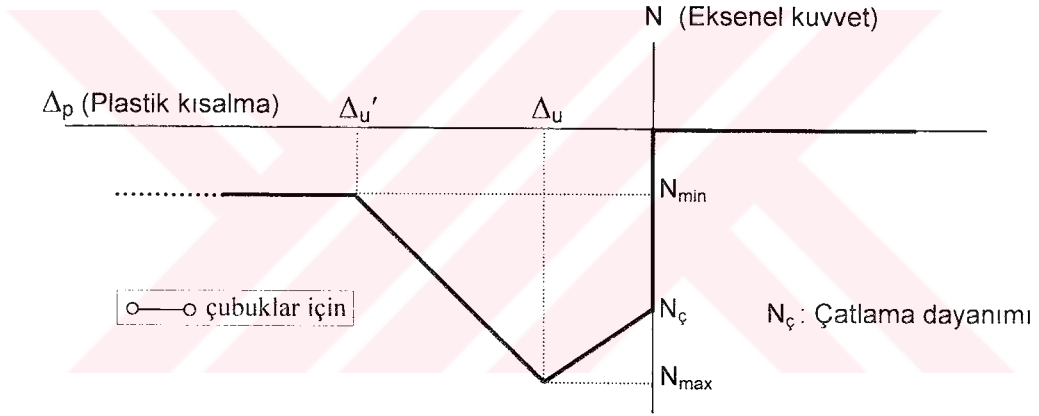
- Betonarme binalardaki dolgu duvarları, imal edildikleri malzemelerin (tuğla, harç, sıva vb.) özelliklerine, içerdikleri boşluklara (kapı, pencere vb.) ve çerçeve özelliklerine göre farklı kırılma davranışları göstermektedir [48]. Bu davranışlara bağlı olarak çeşitli şekillerde modellenmektedir [3,36-41,48]. Bu çalışmada, dolgu duvarlarının boşluk içermediği ancak binadaki kapı, pencere vb. boşlukları göz önüne almak için bazı çerçevelerde duvar olmadığı kabul edilmiştir.
- Dolgu duvarlarının basınç kırılması davranışı gösterdiği kabul edilerek iki ucu mafsallı çubuk elemanlarla temsil edilmiştir (Şekil 3.9). Dolgu duvarlarını temsil eden ve aynı kalınlıktaki iki ucu mafsallı fiktif çubukta yanıl burkulmanın olmadığı kabul edilmiştir. Ayrıca, dolgu duvarlarının çekme dayanımı ve çerçeve elemanları ile olan temas yüzeylerindeki sürtünme etkisi ihmal edilmiştir.
- İki ucu mafsallı çubuk elemanların *eksenel kuvvet-plastik kısalma* ( $N-\Delta_p$ ) bağıntısı için [41]'deki yaklaşımdan yararlanılmıştır (Şekil 3.10).
- Dolgu duvar malzeme özelliklerinin (basınç dayanımları, elastisite modülleri vb.) belirlenmesinde [39]'deki deneysel verilerden yararlanılmıştır. Dolgu duvarlı bina için bu karakteristik değerler Çizelge 3.16'da verilmiştir.



Bu kabuller altında 3KDÇ betonarme bina için dolgu duvarının matematik modeli Şekil 3.9'da örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Dolgu duvarlı çerçevenin matematik modeli



Şekil 3.10 Dolgu duvarını temsil eden çubukların (N-Δ<sub>p</sub>) bağıntısı

Çizelge 3.16 Dolgu duvarını modellemede kullanılan parametreler

Modelleme Parametreleri		Sembol	Birim	3KDÇ
Dolgu duvar malzeme cinsi				Boşluklu tuğla
Dolgu duvar kalınlığı		$t_{inf}$	cm	17.5
Dolgu duvarının elastisite modülü		$E_{inf}$	kg/cm <sup>2</sup>	60000
İki ucu mafsallı fiktif çubuğun	Diyagonal boyu	$L_{inf}$	cm	480
	Eşdeğer genişliği	$W_{eq}$	cm	177.6
	Uzama rijitliği	$EF_{eq}$	t	186480
	Basınç çatlama dayanımı	$N_{ç}$	t	37.296
	Maksimum basınç dayanımı	$N_{max}$	t	48.485
	Minimum basınç dayanımı	$N_{min}$	t	7.459
	$N_{max}$ için plastik kısalma değeri	$\Delta_u$	cm	0.336
$N_{min}$ için plastik kısalma değeri	$\Delta_{u'}$	cm	1.296	

### 3.4 Binaların Kapasite Spektrumu Yöntemi (KSY) ile Analizi

Bu yöntemde önce binaların kapasite eğrilerinin (pushover eğrilerinin) elde edilmesi gerekmektedir.

#### 3.4.1 Binaların Kapasite Eğrilerinin Belirlenmesi

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

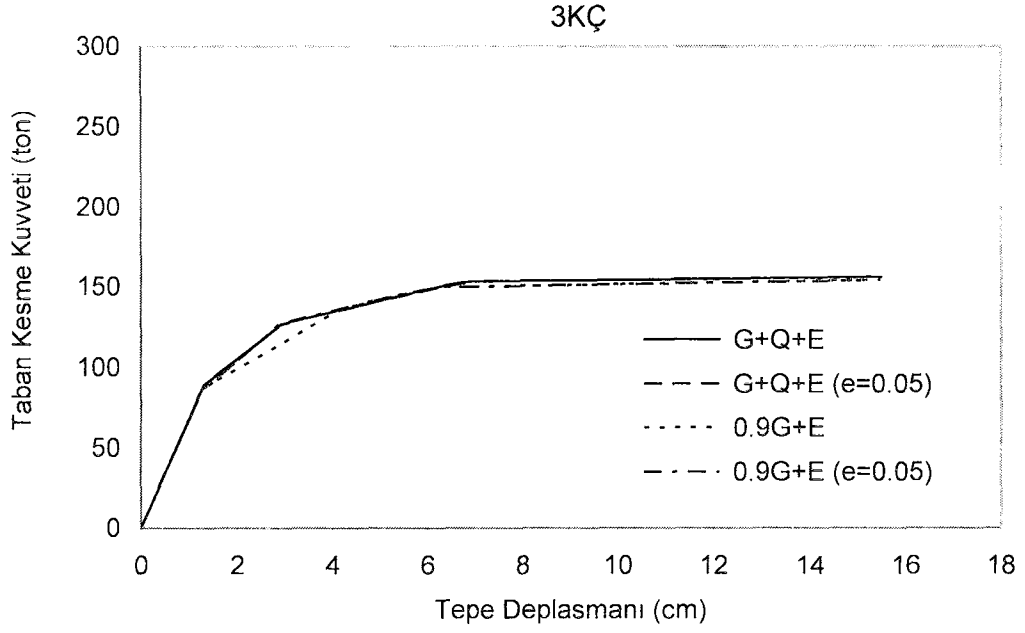
Düşey yük olarak, TS 500'de depremlı durumlar için öngörülen yük kombinasyonları göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre, incelenen binalar (3KÇ, 6KÇ, 10KPÇ, 3KDÇ) için  $G+Q+E$ ,  $G+Q+E$  ( $e=0.05$ ),  $0.9G+E$ ,  $0.9G+E$  ( $e=0.05$ ) yük kombinasyonlarına ait kapasite eğrileri ayrı ayrı elde edilmiştir.

Depremi temsil eden yatay yük dağılımı olarak TDY'nde [4] verilen eşdeğer deprem yükleri dağılımı kullanılmıştır.

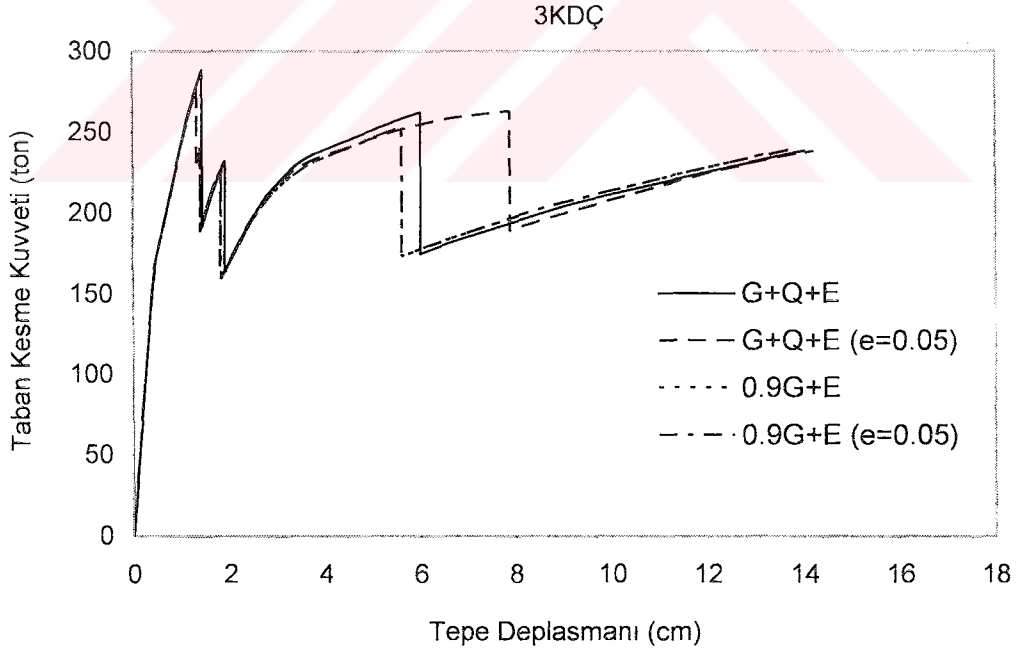
Üç katlı çerçeve (3KÇ) bina için Şekil 3.11'de, üç katlı dolgulu çerçeve (3KDÇ) bina için Şekil 3.12'de, altı katlı çerçeve (6KÇ) bina için Şekil 3.13'de, on katlı perde-çerçeve (10KPÇ) bina için Şekil 3.14'de elde edilen yük kombinasyonlarına ait kapasite eğrileri aynı grafikte gösterilmiştir.

Ayrıca, EK-A' da binaların yukarıdaki yükleme durumları (yük kombinasyonları) için elde edilen kapasite eğrileri ayrı ayrı grafiklerde gösterilmiştir (Şekil A.1-A.4).

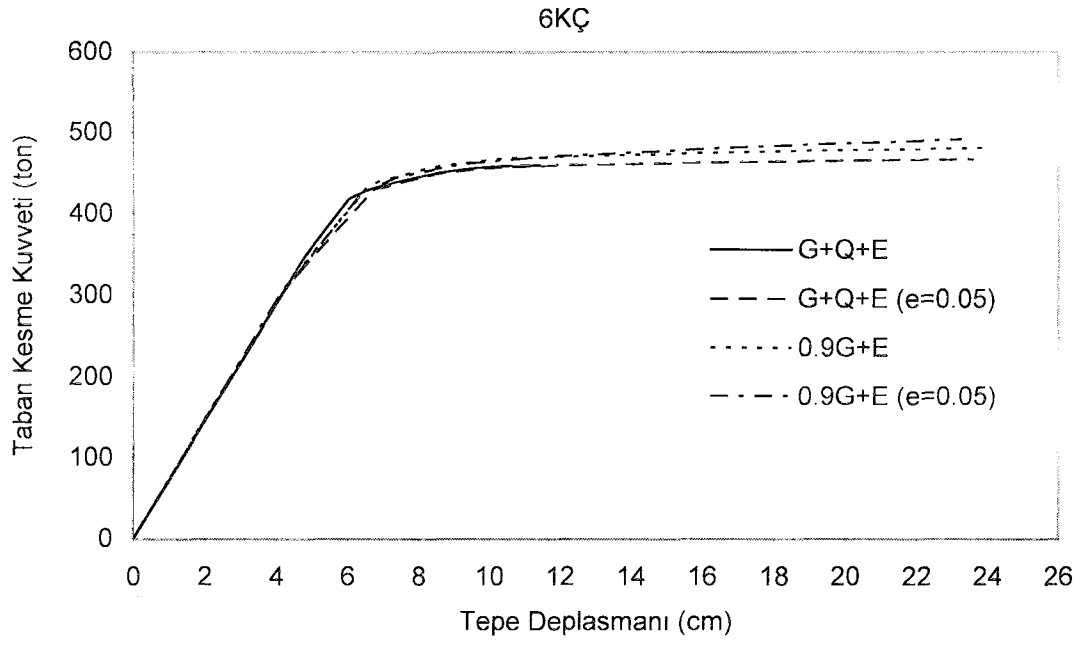
Binaların kapasite eğrilerinin belirlenmesinde *SAP2000 Yapı Analiz Programı*'ndan yararlanılmıştır [49].



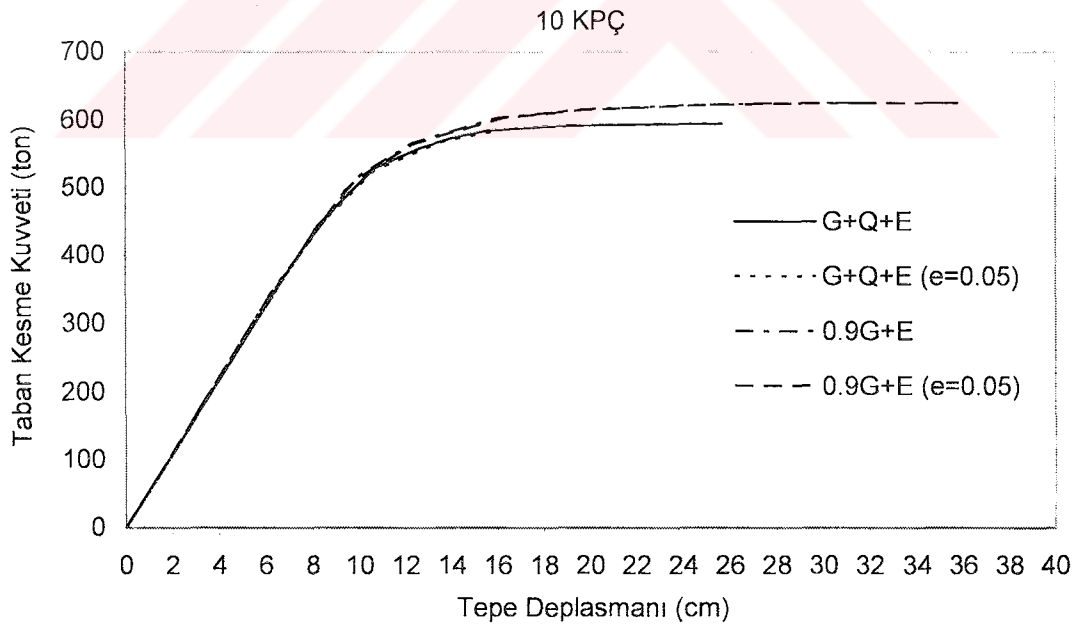
Şekil 3.11 3KÇ binanın yük kombinasyonlarına ait kapasite eğrileri



Şekil 3.12 3KDÇ binanın yük kombinasyonlarına ait kapasite eğrileri



Şekil 3.13 6KÇ binanın yük kombinasyonlarına ait kapasite eğrileri

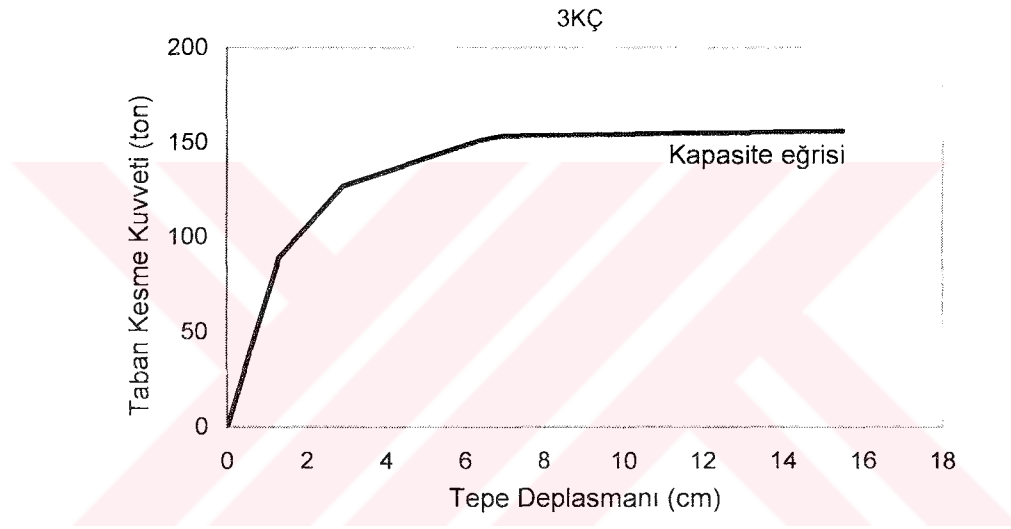


Şekil 3.14 10KPÇ binanın yük kombinasyonlarına ait kapasite eğrileri

### 3.4.2 Kapasite Spektrum Yöntemi ile Deplasman Talebinin Belirlenmesi

Kapasite Spektrum Yöntemi ile performans noktasının belirlenmesindeki hesap adımları maddeler halinde aşağıda açıklanmıştır. Bu açıklamalar örnek olmak üzere üç katlı çerçeve (3KÇ) betonarme bina için yapılacaktır.

- İlk olarak binanın elastik ötesi statik itme analizi (Pushover analizi) ile kapasite eğrisi elde edilir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 3KÇ bina için kapasite eğrisinin elde edilmesi

- Dinamik analiz sonucunda binanın, deprem kuvvetinin etkidiği yöndeki birinci doğal titreşim moduna ait genlikleri ( $\phi_{i,1}$ ) belirlenir. Elde edilen genliklere ve kat kütlelerine bağlı olarak modal katılım çarpanı ve modal kütle çarpanı değerleri, (2.1-a,b) bağıntısı ile belirlenir (Çizelge 3.17).

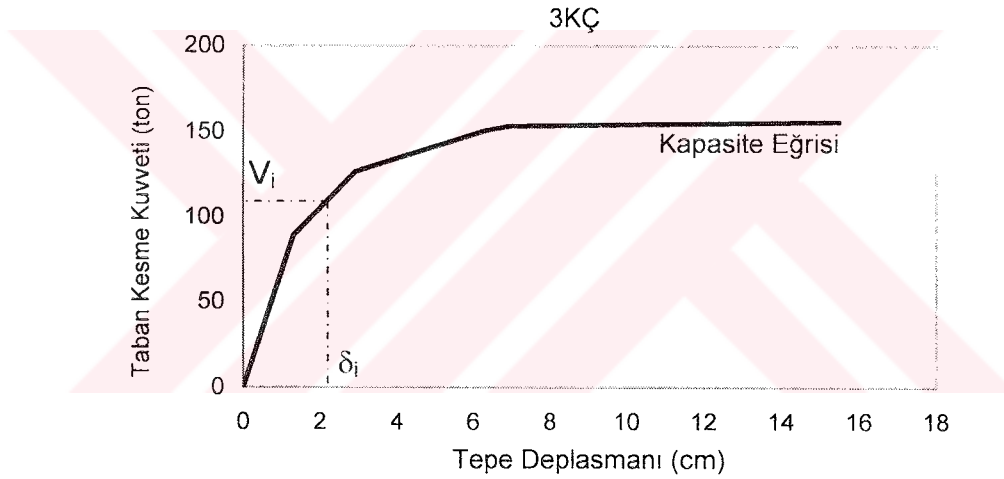
$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i,1} / g) \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^N (w_i / g) \right] \left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i,1}^2 / g) \right]}, \quad PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i,1} / g)}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i,1}^2 / g)} \quad (2.1-a,b)$$

Çizelge 3.17 3KÇ binanın dinamik özellikleri

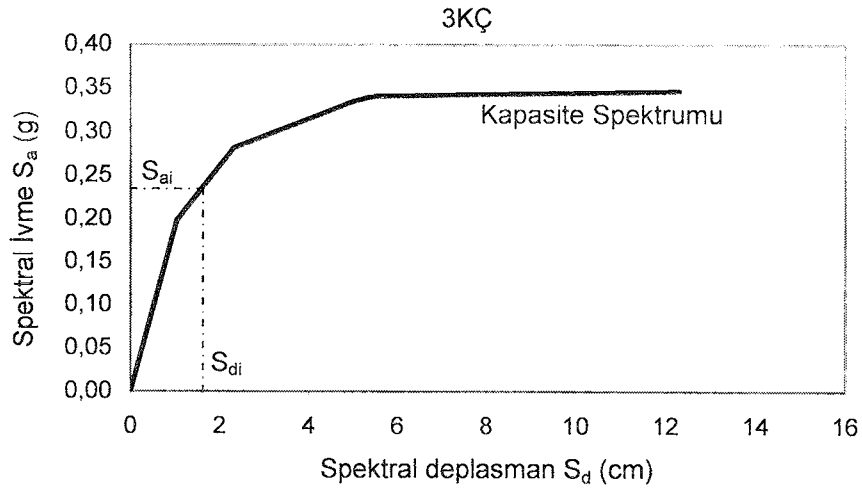
Kat seviyesi	Kat ağırlıkları $w_i$ (ton)	Birinci moda ait genlikler $\phi_{i,1}$	$w_i\phi_{i,1}$	$w_i\phi_{i,1}^2$	$PF_1$	$\alpha_1$
3	177.965	0.296	52,679	15,593	1.259	0.843
2	177.965	0.713	126,865	90,438		
1	177.965	1.000	177,965	177,965		
Toplam	533.895	2.009	357.509	283,996		

- Şekil 3.16'daki kapasite eğrisi, performans noktası belirlenirken talep spektrumu ile karşılaştırılacağı için (2.2-a,b) bağıntıları ile spektral formattaki kapasite spektrumuna dönüştürülür (Şekil 3.17) (Çizelge 3.18).

$$S_a = \frac{V_T / W}{\alpha_1} \quad , \quad S_d = \frac{\delta_{\max}}{PF_1 \phi_{tepe,1}} \quad (2.2-a,b)$$



Şekil 3.16 3KÇ bina için kapasite eğrisi

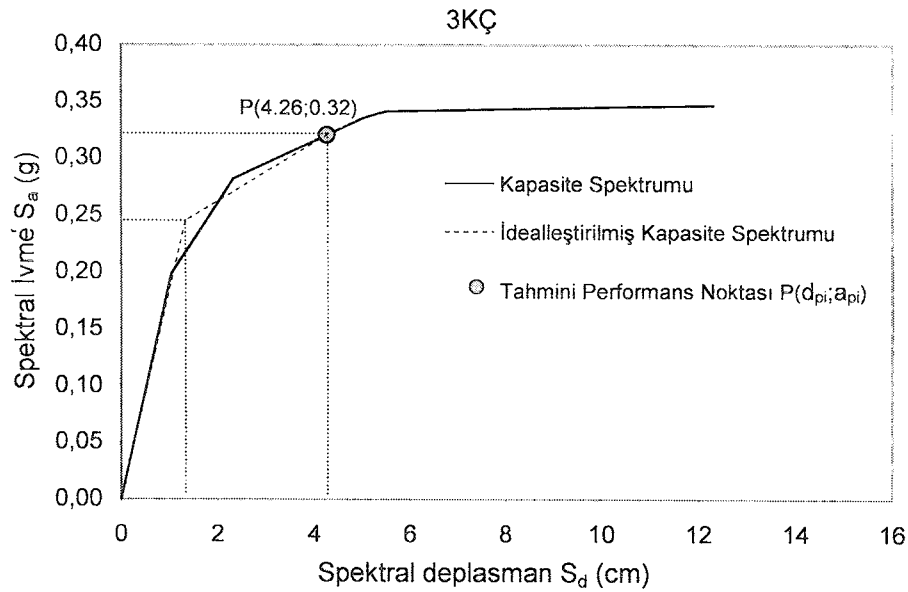


Şekil 3.17 3KÇ bina için kapasite spektrumu

Çizelge 3.18 3KÇ binanın kapasite eğrisi ve kapasite spektrumu koordinatları

Nokta No	Kapasite Eğrisi Koordinatları		Kapasite Spektrumu Koordinatları	
	$\delta_i$ (cm)	$V_i$ (ton)	$S_{di}$ (cm)	$S_{ai}$ (g)
1	1.300	89.099	1.032	0.198
2	2.911	126.693	2.313	0.282
3	4.411	137.361	3.504	0.305
4	6.313	150.692	5.015	0.335
5	6.707	152.524	5.327	0.339
6	6.959	153.362	5.528	0.341
7	8.459	153.804	6.720	0.342
8	9.959	154.246	7.911	0.343
9	11.459	154.688	9.103	0.344
10	12.959	155.129	10.294	0.345
11	14.459	155.571	11.486	0.346
12	15.490	155.875	12.305	0.346

- Kapasite spektrumu yardımıyla, sistemin söndürdüğü enerji miktarı ve buna karşılık gelen eşdeğer sönüm yaklaşık olarak hesaplanabilir. Bunun için öncelikle kapasite spektrumu üzerinde bir nokta, *tahmini performans noktası* olarak seçilir ve kapasite spektrumu iki doğru parçası ile idealleştirilir. Bu idealleştirme, eğrinin altında kalan alan ile iki doğru parçalı idealleştirme altında kalan alan eşit olacak şekilde Bölüm 2.2.1.1'de olduğu gibi yapılır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 3KÇ bina için kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesi



- Kapasite spektrumu, Şekil 3.18'de görüldüğü gibi iki doğru parçası ile idealleştirildikten sonra binanın, eşdeğer viskoz sönüm ile temsil edilen histeristik sönümü ( $\beta_0$ ) ve buna bağlı olarak efektif sönümü ( $\beta_{eff}$ ) (2.6) ve (2.7) bağıntılarıyla hesaplanabilir. 3KÇ betonarme bina için, yönetmelikteki [4] süreklilik koşulları dikkate alınarak iyi histeristik çevrim yaptığı kabulüyle sönüm düzeltme çarpanı  $\kappa=1.00$  olarak alınmıştır.

$$\beta_0 = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (2.6)$$

$$\beta_{eff} = \kappa \beta_0 + 5 \quad (2.7)$$

Buna göre; 3KÇ betonarme bina için histeristik ve efektif sönüm değerleri (2.6) ve (2.7) bağıntılarıyla  $\beta_0 = \% 29.26$  ve  $\beta_{eff} = \% 34.26$  olarak elde edilmiştir.

- Hesaplanan efektif viskoz sönüme bağlı olarak %5 sönümlü elastik davranış spektrumunu indirmek için kullanılacak indirgeme katsayıları  $SR_A$  ve  $SR_V$  (2.8) ve (2.9) bağıntıları ile hesaplanabilir.

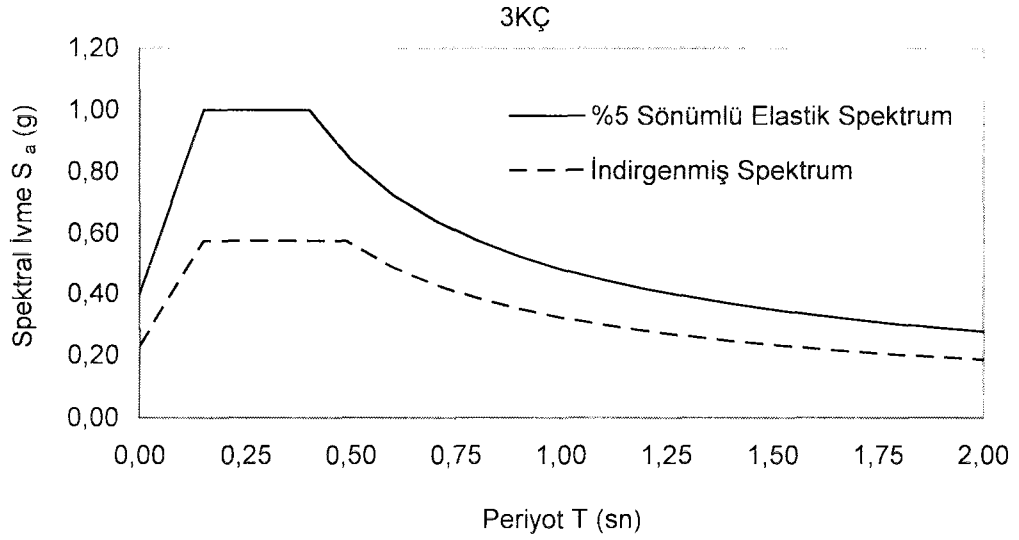
$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \quad (2.8)$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \quad (2.9)$$

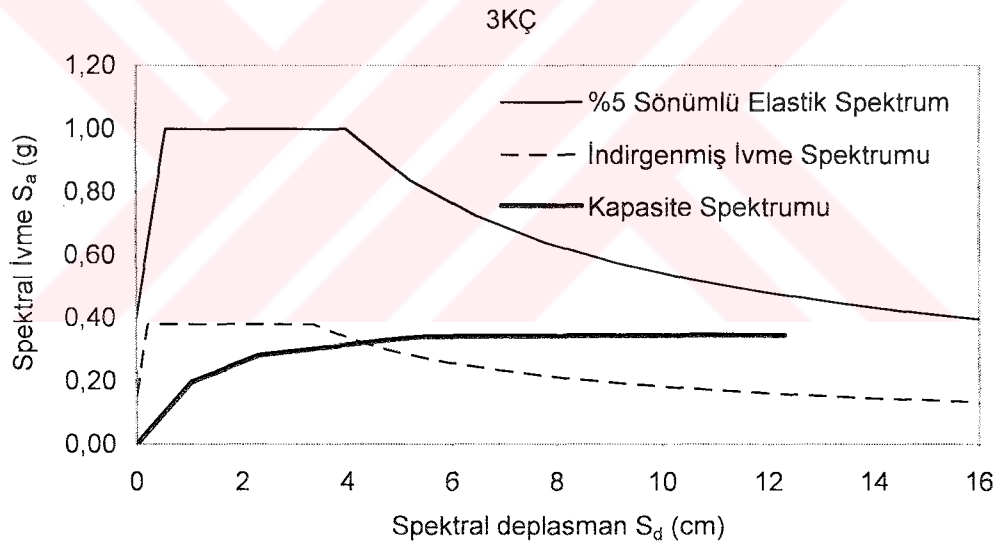
3KÇ betonarme bina için spektral indirgeme katsayıları  $SR_A = 0.381$ ,  $SR_V = 0.522$  olarak hesaplanmış ve ATC 40'da [1] verilen minimum değerleri sağladığı kontrol edilmiştir.

- Daha sonra, bu katsayılara bağlı olarak indirgenen elastik davranış spektrumu (Şekil 3.19), (2.10) bağıntısı ile *spektral ivme – spektral deplasman* (ADRS) formatına dönüştürülür (Şekil 3.20).

$$S_{di} = S_{ai} \frac{T^2}{(4\pi^2)} \quad (2.10)$$

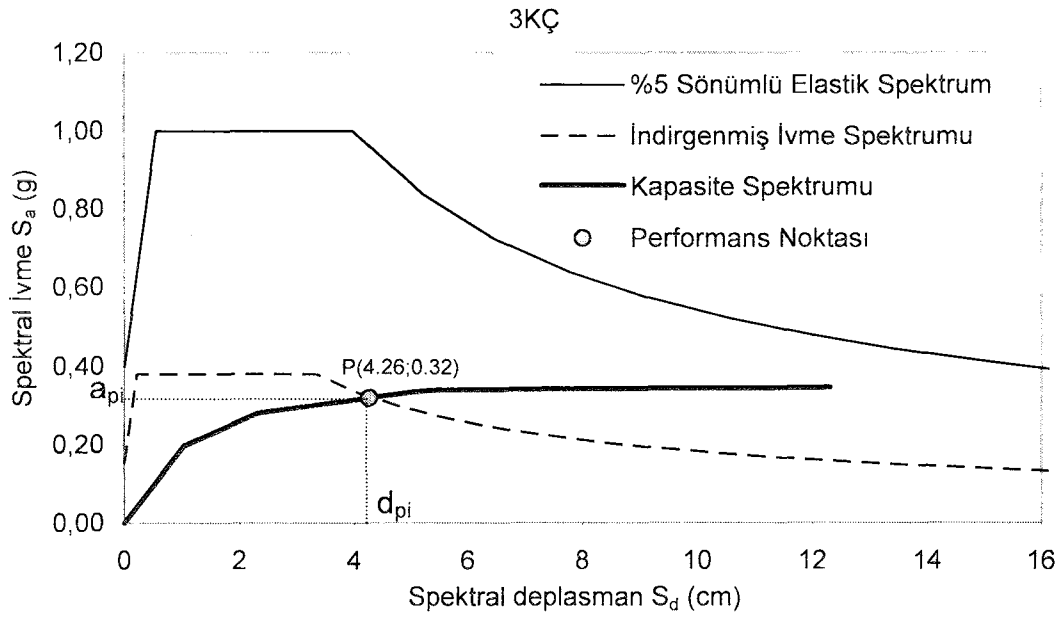


Şekil 3.19 3KÇ bina için spektral katsayılara bağlı olarak indirgenmiş tasarım spektrumu



Şekil 3.20 3KÇ bina için talep spektrumunun *spektral ivme-spektral deplasman* formatına dönüştürülmesi

- İndirgenmiş talep spektrumu ve kapasite spektrumu aynı grafik üzerinde çizilerek kesim noktasının spektral koordinatları  $P(d_i ; a_i)$  belirlenmiştir. Bu iki spektrum eğrisi hesabın başlangıcındaki tahmini performans noktasına yeter derecede yakın olduğundan ( $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$ ) bu nokta **performans noktası**  $P(d_{pi}, a_{pi})$  olarak belirlenmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 3KÇ bina için performans noktasının belirlenmesi

Örnek olarak hesap adımları açıklanan 3KÇ binanın ADRS formatındaki performans noktasının koordinatları (*spektral ivme-spektral deplasman*);  $S_a = 0.32g$ ,  $S_d = 4.26$  cm olarak bulunmuştur (Şekil 3.21).

- Bu spektral ivme ve deplasman değerleri (2.2-a,b) bağıntıları ile binanın ilgili deprem tehlike seviyesi için dayanım ve deplasman taleplerini ifade eden, toplam taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) ve maksimum tepe deplasmanına ( $\delta_{tepe}$ ) dönüştürülür.

3KÇ binanın dayanım ve deplasman talepleri sırasıyla  $V_T = 144.016$  ton ve  $\delta_{tepe} = 5.363$  cm olarak bulunmuştur.

Kapasite Spektrum Yönteminin hesap adımları 3KÇ bina için yukarıda ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu tez çalışmasında, incelenen diğer betonarme binalar (6KÇ, 10KÇ, 3KDÇ) dört farklı deprem tehlike seviyesi (hafif,orta, şiddetli (tasarım) ve çok şiddetli deprem) için yukarıda açıklanan hesap adımları izlenerek benzer şekilde deplasman talepleri (performans noktaları) belirlenmiştir. Binaların performans noktalarının belirlenmesinde ATC-40 *Kapasite ve İstem Spektrumu Hesap Programı*'ndan yararlanılmıştır [50].

En büyük deplasman talebini veren yük kombinasyonu için; dolgusuz çerçeve binalara (3KÇ, 6KÇ ve 10 KPC) ait KSY analiz sonuçları Çizelge 3.19'da, dolgulu çerçeve binaya (3KDC) ait analiz sonuçları Çizelge 3.20'de gösterilmiştir.

İncelenen betonarme binaların KSY ile elde edilen deplasman talepleri (performans noktaları) dört farklı deprem tehlike seviyesi için kapasite spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3.22-3.25).

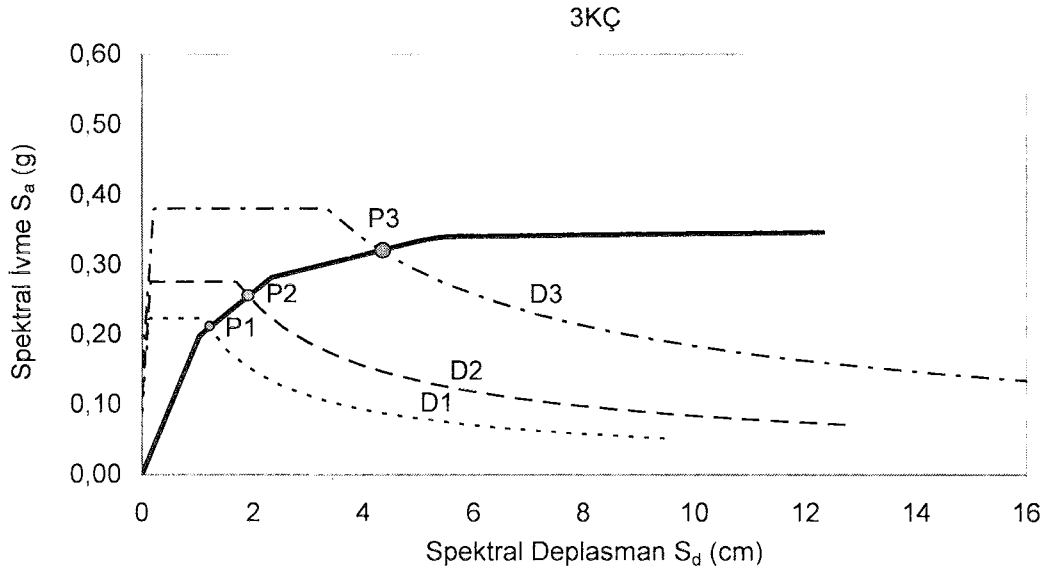
Ayrıca, EK-B'de dört farklı deprem tehlike seviyesi için (D1, D2, D3, D4) incelenen dolgusuz ve dolgulu binaların performans noktalarının belirlenmesi ayrı grafiklerde gösterilmiştir (Şekil B.1-B.4).

Çizelge 3.19 Dolgusuz betonarme binalar için KSY analiz sonuçları

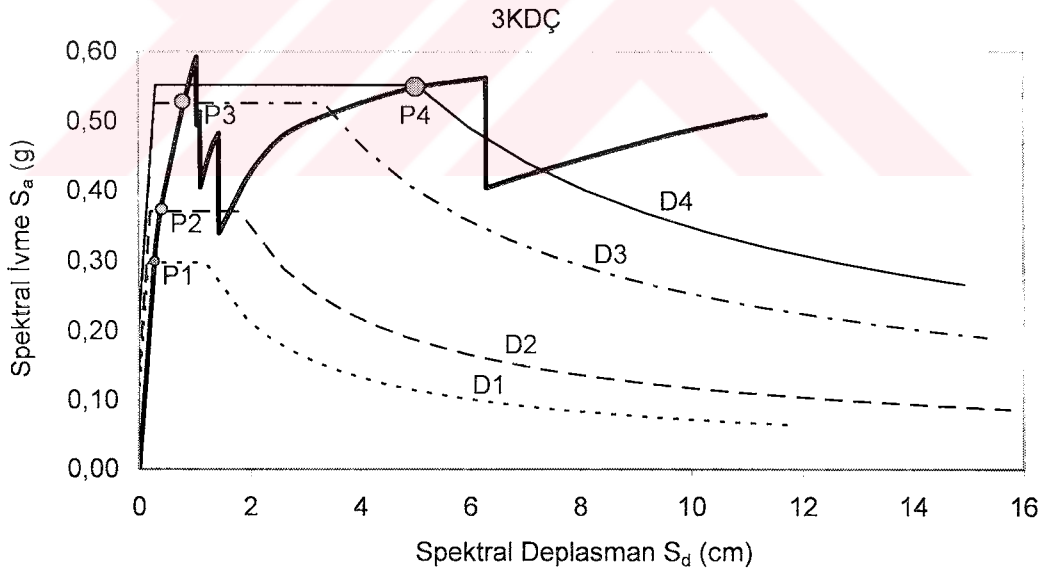
Dolgusuz betonarme binalar için KSY analiz sonuçları								
Bina	Deprem seviyesi	PF <sub>1</sub> . $\phi_{tepe,1}$	$\alpha_1$	$\beta_{eff}$ (%)	S <sub>a</sub> (g)	S <sub>d</sub> (cm)	$\delta_{max}$ (cm)	V <sub>T</sub> (t)
3KÇ	D1	1.259	0.843	11.10	0.210	1.210	1.523	94.4
	D2			20.10	0.255	1.910	2.404	114.9
	D3			34.26	0.320	4.260	5.363	144.0
	D4			Efektif viskoz sönüme ait sınır değer aşılmıştır.				
6KÇ	D1	1.294	0.832	8.10	0.112	3.904	5.050	347.7
	D2			16.10	0.141	5.798	7.500	437.6
	D3			40.50	0.149	11.619	15.030	461.8
	D4			II. Mertebe limit yük aşılmıştır.				
10KPC	D1	1.321	0.768	6.98	0.087	6.331	8.361	450.1
	D2			16.00	0.106	9.111	12.032	548.9
	D3			37.50	0.115	17.940	23.702	596.8
	D4			II. Mertebe limit yük aşılmıştır.				

Çizelge 3.20 Dolgulu betonarme bina için KSY analiz sonuçları

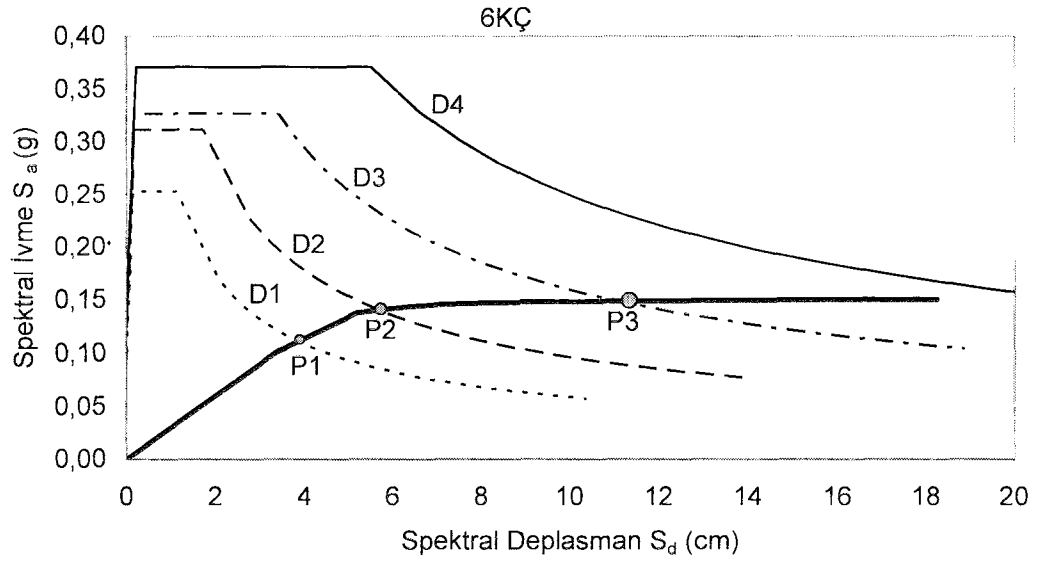
Dolgulu betonarme bina için KSY analiz sonuçları								
Bina	Deprem seviyesi	PF <sub>1</sub> . $\phi_{tepe,1}$	$\alpha_1$	$\beta_{eff}$ (%)	S <sub>a</sub> (g)	S <sub>d</sub> (cm)	$\delta_{max}$ (cm)	V <sub>T</sub> (t)
3KDC	D1	1.252	0.876	5.07	0.295	0.28	0.351	153.8
	D2			11.10	0.369	0.39	0.488	179.8
	D3			21.77	0.522	0.81	1.014	249.8
	D4			35.62	0.548	4.99	6.246	256.7



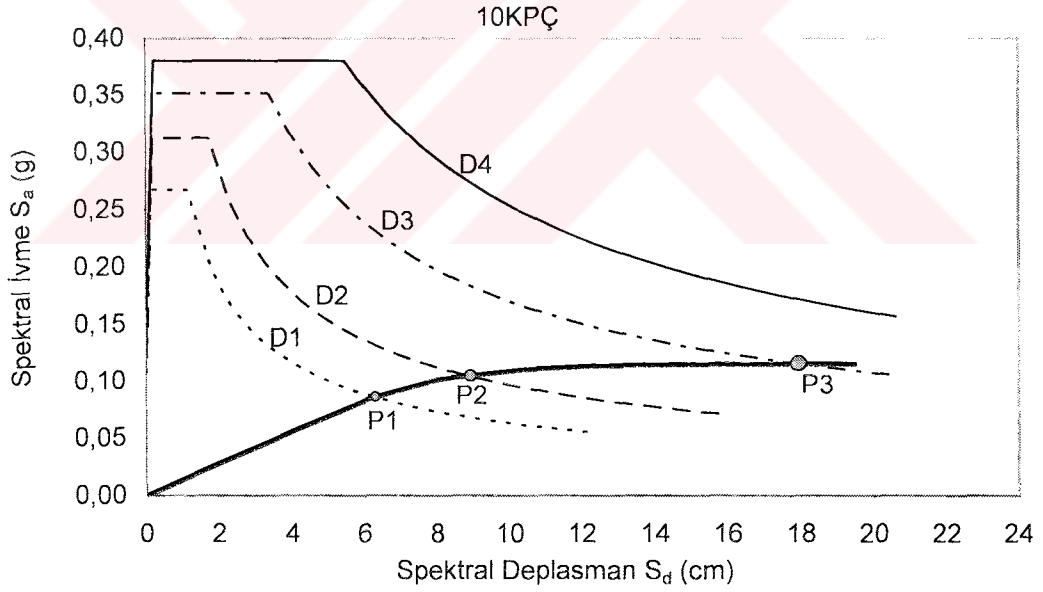
Şekil 3.22 KSY ile analiz sonucu 3KÇ binaya ait performans noktaları



Şekil 3.23 KSY ile analiz sonucu 3KDÇ binaya ait performans noktaları



Şekil 3.24 KSY ile analiz sonucu 6KÇ binaya ait performans noktaları



Şekil 3.25 KSY ile analiz sonucu 10KÇ binaya ait performans noktaları

### 3.4.3 Kapasite Spektrum Yöntemi ile Performans Düzeyinin Belirlenmesi

Performans değerlendirilmeleri yapılmak üzere, dolgu duvarlı ve dolgunsuz betonarme binalar, göz önüne alınan dört ayrı deprem tehlike seviyesi (hafif, orta, şiddetli (tasarım) ve çok şiddetli) için, Kapasite Spektrum Yöntemi ile belirlenen maksimum deplasman değerlerine (performans noktasına) kadar elastik ötesi statik itme analizi yapılarak kiriş, kolon ve perde elemanlarda meydana gelen plastik kesit sayıları ve bu kesitlerdeki maksimum plastik dönme değerleri ile maksimum görelî kat ötelemeleri elde edilmiştir. Bunlar, dolgunsuz betonarme binalar (3KÇ, 6KÇ ve 10KPC) için Çizelge 3.21'de, dolgulu betonarme bina (3KDÇ) için ve Çizelge 3.22'de verilmiştir. Ayrıca dolgulu betonarme bina için Çizelge 3.23'de dolgu duvarı temsil eden fiktif çubuklara ait plastik kesit sayıları ile maksimum plastik kısalma değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.21 Dolgunsuz betonarme binalar için KSY'ne ait performans düzeyleri

Bina		Maksimum plastik dönme (rad)		Performans düzeylerine göre plastik kesit sayısı								Maksimum görelî kat ötelemesi (%)	
		Kiriş	Kolon (Perde)	Kiriş				Kolon (Perde)				<IO	>LS
				<IO	IO-LS	LS-CP	>CP	< IO	IO-LS	LS-CP	> CP		
3KÇ	D1	0.00039	---	14	---	---	---	---	---	---	---	0.21	<IO
	D2	0.00171	---	62	---	---	---	---	---	---	---	0.34	
	D3	0.00658	---	32	40	---	---	---	---	---	---	0.71	
	D4	İndirgeme katsayıları sınır değeri aştığından yapının performansı bulunamamıştır.											
6KÇ	D1	0.00095	---	20	---	---	---	---	---	---	---	0.40	<IO
	D2	0.00425	0.00005	188	---	---	---	3	---	---	---	0.64	
	D3	0.01165	0.00604	94	148	31	---	3	33	---	---	IO<1.33<LS	
	D4	II. Mertebe limit yük aşılmıştır.											
10KPC	D1	0.00196	(0.00016)	50	---	---	---	(3)	---	---	---	0.37	<IO
	D2	0.00424	0.00029 (0.00115)	336	---	---	---	1 (6)	---	---	---	0.54	
	D3	0.01021	0.00466 (0.00564)	249	300	1	---	5	19 (6)	---	---	IO<1.07<LS	
	D4	II. Mertebe limit yük aşılmıştır.											



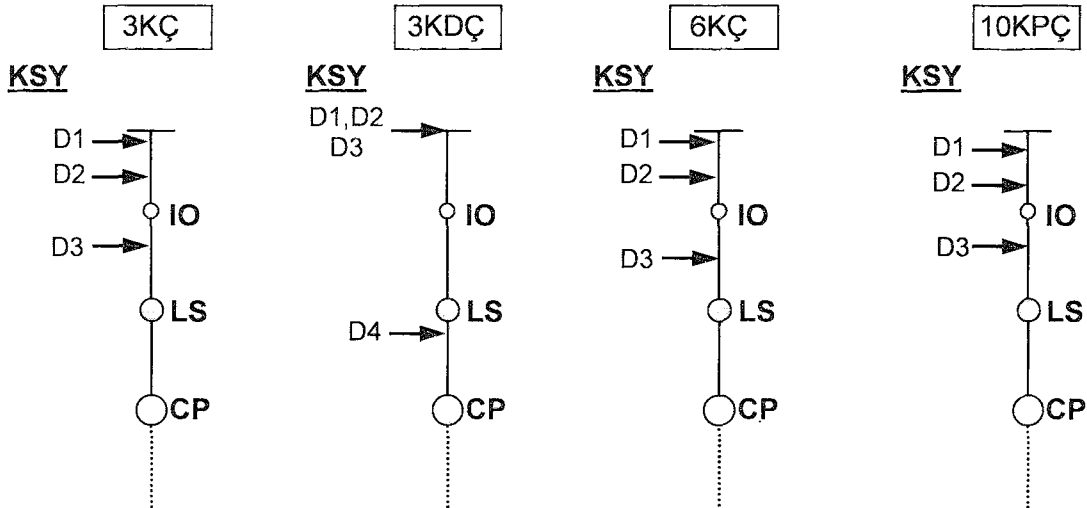
Çizelge 3.22 Dolgulu betonarme bina için KSY'ne ait performans düzeyleri

Bina		Maksimum plastik dönme (rad)		Performans düzeylerine göre plastik kesit sayısı								Maksimum görelî kat ötelemesi (%)	
		Kiriş	Kolon	Kiriş				Kolon					
				<IO	IO-LS	LS-CP	>CP	< IO	IO-LS	LS-CP	> CP		
3KDÇ	D1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.04	<IO
	D2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.06	
	D3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.15	
	D4	0.01197	0.00697	24	10	14	---	13	16	---	---	0.96	

Çizelge 3.23 KSY ile analiz sonucu dolgu duvarını temsil eden çubukların plastikleşme durumları

Bina		KSY			
		$\Delta_p \text{ max}$ (cm)	$\Delta_p$ değerine göre plastik çubuk sayısı		
			$\Delta_p < \Delta_u$	$\Delta_u < \Delta_p < \Delta_u'$	$\Delta_u' < \Delta_p$
3KDÇ	D1	0.017	4	---	---
	D2	0.067	7	---	---
	D3	0.247	9	---	---
	D4	2.420	2	---	8

Binaların KSY analiz sonuçlarından elde edilen maksimum plastik dönme ve maksimum görelî kat ötelemeleri değerlerinden yararlanarak D1, D2, D3 ve D4 depremleri için binaların (3KÇ, 3KDÇ, 6KÇ ve 10KÇ) performans düzeyleri şematik olarak Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.26 KSY ile elde edilen bina performans düzeyleri

Çizelge 3.21 – 3.22 ve Şekil 3.26'dan yararlanarak incelenen binaların KSY analiz sonuçlarına göre performans düzeyleri aşağıda özetlenmiştir.

- D1 depremi için ;

Dolgunsuz ve dolgu duvarlı betonarme binaların hepsi için hemen kullanım performans düzeyinin altında ( $\leq$  IO) olduğu belirlenmiştir.

- D2 depremi için ;

Dolgunsuz ve dolgu duvarlı betonarme binaların hepsi için D1 depreminde olduğu gibi hemen kullanım performans düzeyinin altında ( $\leq$  IO) olduğu belirlenmiştir.

- D3 depremi için ;

Dolgunsuz binalardan, 3KÇ'nin hemen kullanım ile yaşam güvenliği performans düzeyi arasında (IO-LS), 6KÇ ve 10KPC'nin yaşam güvenliği (LS) ile göçme önleme (CP) performans düzeyi arasında (LS-CP) olduğu belirlenmiştir. Dolgu duvarlı binanın (3KDÇ), hemen kullanım performans düzeyinin altında ( $\leq$  IO) kaldığı belirlenmiştir.

- D4 depremi için ;

Dolgunsuz binalardan, 3KÇ'nin ATC 40'da efektif viskoz sönüme ait verilen sınır değer aşıldığı için performansı belirlenememiştir. 6KÇ ve 10KPC'nin ise her iki yöntemde de bu deprem seviyesine ait deplasman talebine ulaşmadan statik anlamda stabilite yetersizliği nedeniyle göçtüğü (*II. Mertebe limit yükün aşıldığı*) belirlenmiştir. Dolgu duvarlı binanın (3KDÇ) yaşam güvenliği (LS) ile göçme önleme (CP) performans düzeyi arasında (LS-CP) olduğu belirlenmiştir.

KSY 'de tüm deprem seviyeleri için Çizelge 3.23 incelendiğinde, 3KDÇ'de dolgu duvarlarını temsil eden iki ucu mafsallı fiktif çubukların bazılarında  $N_{\phi}$  çatlama dayanımı aşılmakta ( $\Delta_p < \Lambda_u$ ) ancak,  $N_{max}$  değerine ulaşmamaktadır. Bazı çubukların sadece D4 depreminde,  $N_{max}$  maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra üzerindeki yükü boşaltarak  $N_{min}$  değerine azaldığı ( $\Lambda_u' < \Delta_p$ ) belirlenmiştir.

### 3.5 Binaların Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) ile Analizi

Bu yöntemde de Kapasite Spektrum Yönteminde olduğu gibi önce yapıların kapasite eğrilerinin elde edilmesi gerekmektedir.

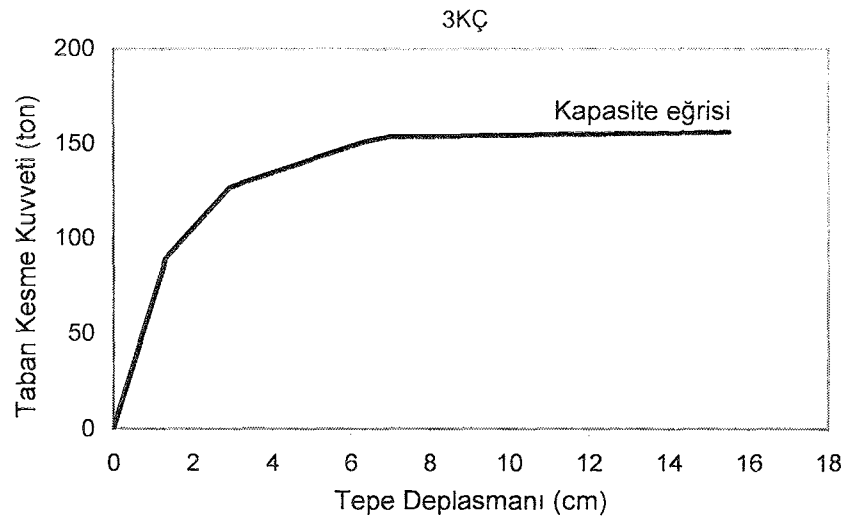
#### 3.5.1 Yapıların Kapasite Eğrilerinin Belirlenmesi

Yapıların yatay kuvvet taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisi sabit düşey yük ve monoton artan yatay deprem yükleri altında malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan teori esas alınarak Bölüm 3.4.1'de açıklandığı gibi Kapasite Spektrum Yönteminde açıklandığı gibi belirlenir.

#### 3.5.2 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile Hedef Deplasmanın Belirlenmesi

Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) ile hedef deplasmanın belirlenmesindeki hesap adımları maddeler halinde aşağıda açıklanmıştır. Bu açıklamalar örnek olmak üzere üç katlı çerçeve (3KÇ) betonarme bina için yapılmıştır.

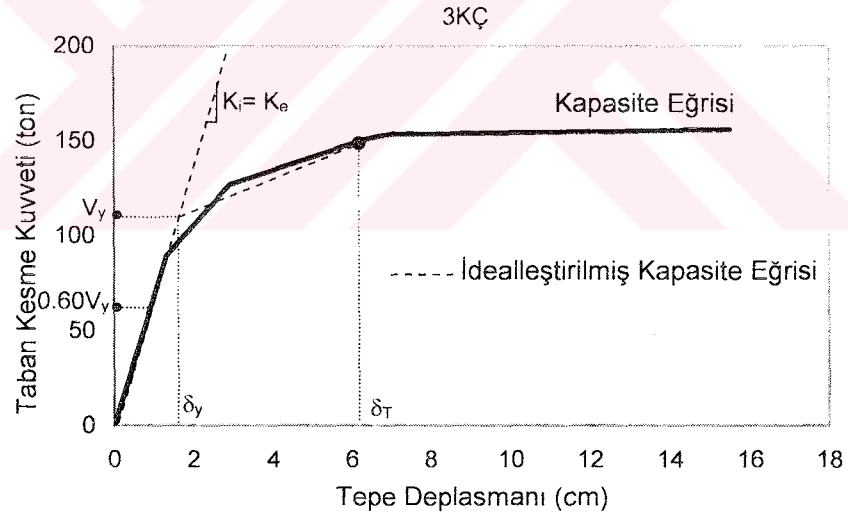
- Deplasman Katsayıları Yönteminde önce binanın  $V_T$  taban kesme kuvveti ile  $\delta_{maks}$  tepe noktası yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27 3KÇ bina için kapasite eğrisinin elde edilmesi

- Yapıya ait kapasite eğrisi elde edildikten sonra bu eğri üzerinde bir nokta hedef deplasmanı olarak tahmin edilir. 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 ordinatının %60'ı ( $0.6V_y$ ) olması sağlanmalıdır.

Bunun için örnek olarak ele alınan 3KÇ binaya ait kapasite eğrisi üzerinde, bir  $K_e$  doğrusu seçilerek  $V_y$  değeri belirlenmiş ve  $K_e$  doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatı kontrol edilmiştir. Kapasite eğrisi üzerinde, II.Mertebe limit yüke ait taban kesme kuvvetinin %60'ına karşılık gelen değerin dahi eğrinin lineer bölgesinde kalması nedeniyle efektif rijitlik  $K_e$ , başlangıç rijitliği  $K_i$ 'ye eşit olarak elde edilmiştir (Şekil 3.28). Buna göre, (2.11) bağıntısı ile  $T_e$  efektif periyot değeri hesaplanmıştır.



Şekil 3.28 3KÇ bina için kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2.11)$$

3KÇ binaya ait kapasite eğrisinde  $K_i=K_e$  olduğundan  $T_e=T_i= 0.458$  sn olarak elde edilmiştir.

- DKY'inde yapının performans düzeyi kontrolünün yapılacağı  $\delta_T$  **hedef deplasmanı** (2.12) bağıntısı ile hesaplanabilir.

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{(4\pi^2)} \quad (2.12)$$

Buradaki  $C_i$  katsayılarından;

- **$C_0$** : Tek serbestlik dereceli sistemin spektral deplasmanını, çok serbestlik dereceli bir sistemin tepe deplasmanı ile ilişkilendiren katsayıdır. Bu katsayı için deplasman kontrol noktası seviyesindeki birinci moda ait modal katılım çarpanı değeri olan 1.259 alınmıştır. Analizin başlangıcında öngörülen bu değer analiz sonunda bulunan hedef deplasmanı için kontrol edilmiş ve değişmediği belirlenmiştir.
- **$C_1$** : Lineer–elastik davranış için hesaplanmış deplasmanlar ile beklenen maksimum elastik olmayan deplasmanları ilişkilendiren katsayıdır ve Bölüm 2.2.1.2'de  $T_e \geq T_0$  (0.458 sn > 0.400 sn) olduğundan 1.00 alınmıştır.
- **$C_2$** : Histeristik şeklin maksimum deplasman davranışı üzerindeki etkisini temsil eden katsayıdır. Hesabın başlangıcında bu katsayı, bina taşıyıcı sisteminin performans düzeyi bilinmediğinden 1.00 olarak alınmış ve hedef deplasman belirlendikten sonra öngörülen hedef performans düzeyini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiş ve 1.05 olarak düzeltilmiştir.
- **$C_3$** : II.Mertebe etkiler nedeniyle arttırılmış deplasmanları temsil eden katsayıdır ve Bölüm 2.2.1.2'de  $\alpha = \frac{K_s}{K_e} > 0$  olduğundan 1.00 alınmıştır.
- **$S_a$** : Yapının birinci doğal periyoduna karşılık gelen spektral ivme değeridir. Bu değer 3KÇ bina için şiddetli (tasarım) depremine ait talep spektrumundan 0.897g olarak hesaplanmıştır.

- Örnek olarak ele alınan 3KÇ binanın deplasman katsayıları yöntemi ile hedef deplasmanı (deplasman talebi) değeri, (2.12) bağıntısındaki katsayıları kullanarak ( $C_0=1.259$ ,  $C_1=1.00$ ,  $C_2=1.05$ ,  $C_3=1.00$ ,  $S_a=0.897$ ,  $T_e=0.458$ )  $\delta_T= 6.181$  cm olarak elde edilmiştir. Deplasman Katsayıları Yönteminde dayanım talebi kapasite spektrum yöntemindeki gibi direkt olarak elde edilemediğinden dayanım talebi, bu deplasman talebine kadar yapıya elastik ötesi statik itme analizi (pushover analiz) uygulanarak belirlenebilir. Analiz sonucunda 3KÇ bina için dayanım talebi değeri,  $V_T= 149.5$  ton olarak hesaplanmıştır.

Deplasman Katsayıları Yönteminin hesap adımları 3KÇ bina için yukarıda ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu tez çalışmasında, incelenen diğer betonarme binalar (6KÇ, 10KÇ, 3KDÇ) dört farklı deprem tehlike seviyesi (hafif, orta, şiddetli (tasarım) ve çok şiddetli deprem) için yukarıda açıklanan hesap adımları izlenerek benzer şekilde deplasman talepleri (hedef deplasman) belirlenmiştir. Buna bağlı olarak  $V_T$  değerleri elde edilmiştir.

En büyük deplasman talebini veren yük kombinasyonuna ait; dolgusuz çerçeve binalara (3KÇ, 6KÇ ve 10 KÇ) ait DKY analiz sonuçları Çizelge 3.24'de, dolgulu çerçeve binaya (3KDÇ) ait analiz sonuçları Çizelge 3.25'de gösterilmiştir.

İncelenen betonarme binaların DKY ile elde edilen deplasman talepleri (hedef deplasmanları) dört deprem tehlike seviyesi için kapasite eğrisi üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3.29-3.32).

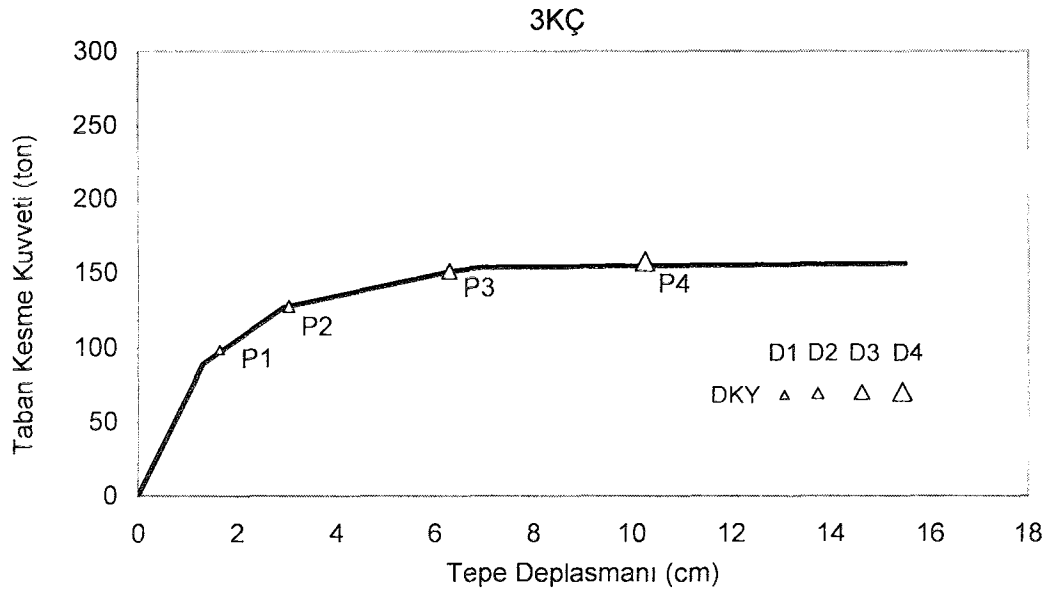
Çizelge 3.24 Dolgusuz betonarme binalar için DKY analiz sonuçları

Dolgusuz betonarme binalar için DKY analiz sonuçları										
Bina		$S_a$ (g)	$C_0$	$C_2$	$C_1$	$C_3$	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_i = K_e$ (t/m)	$\delta_{max}$ (cm)	$V_T$ (t)
3KÇ	D1	0.269	1.26	1.00	1.0	1.0	0.458	6855	1.765	110.4
	D2	0.449	1.26	1.00					2.947	126.9
	D3	0.897	1.26	1.05					6.181	149.5
	D4	1.346	1.26	1.15					10.158	152.6
6KÇ	D1	0.132	1.30	1.00	1.0	1.0	1.120	7253	5.348	382.7
	D2	0.219	1.28	1.00					8.708	449.5
	D3	0.439	1.24	1.15					19.524	464.8
	D4	0.658	1.24	---					II. Mert. limit yük aşılmıştır	
10KÇ	D1	0.098	1.34	1.00	1.0	1.0	1.630	5558	8.686	463.2
	D2	0.163	1.33	1.00					14.307	573.9
	D3	0.325	1.31	1.15					32.386	591.5
	D4	0.487	1.31	---					II. Mert. limit yük aşılmıştır	

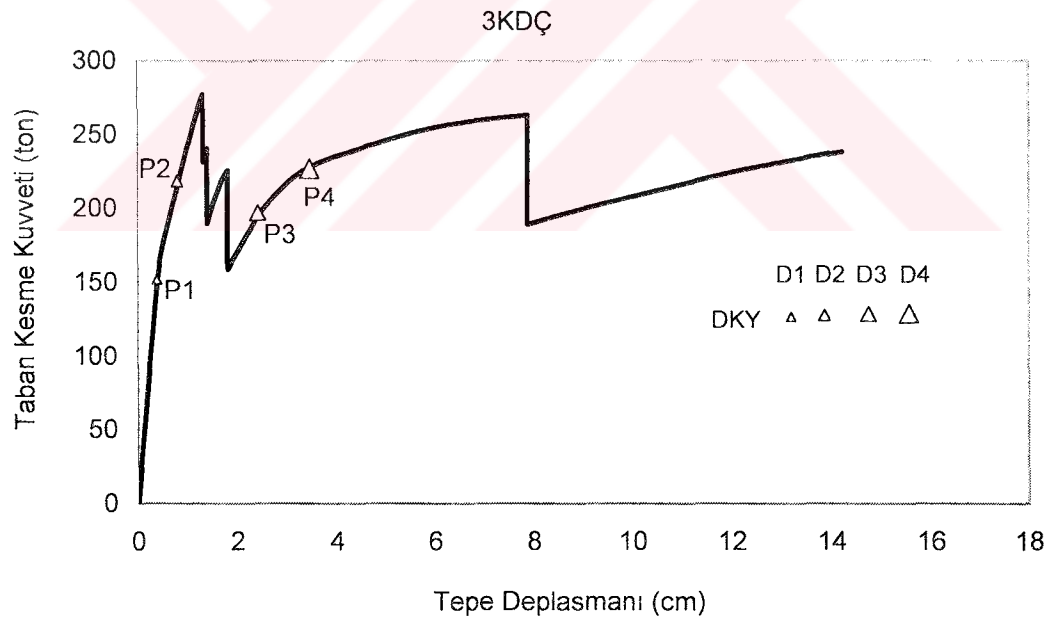
Çizelge 3.25 Dolgulu betonarme bina için DKY analiz sonuçları

Dolgulu betonarme bina için DKY analiz sonuçları											
Bina		$S_a$ (g)	$C_0$	$C_2$	$C_1$	$C_3$	$T_1 = T_e$ (sn)	$K_i = K_e$ (t/m)	$\delta_{max}$ (cm)	$V_T$ (t)	
3KDÇ	D1	0.300	1.15	1.00	1.00	1.0	0.193	39725	0.348	153.3	
	D2	0.500	1.15		1.27				0.738	213.9	
	D3	1.000	1.15		1.60				1.3	2.386	195.6
	D4	1.500	1.15		1.65				1.0	3.170	223.3

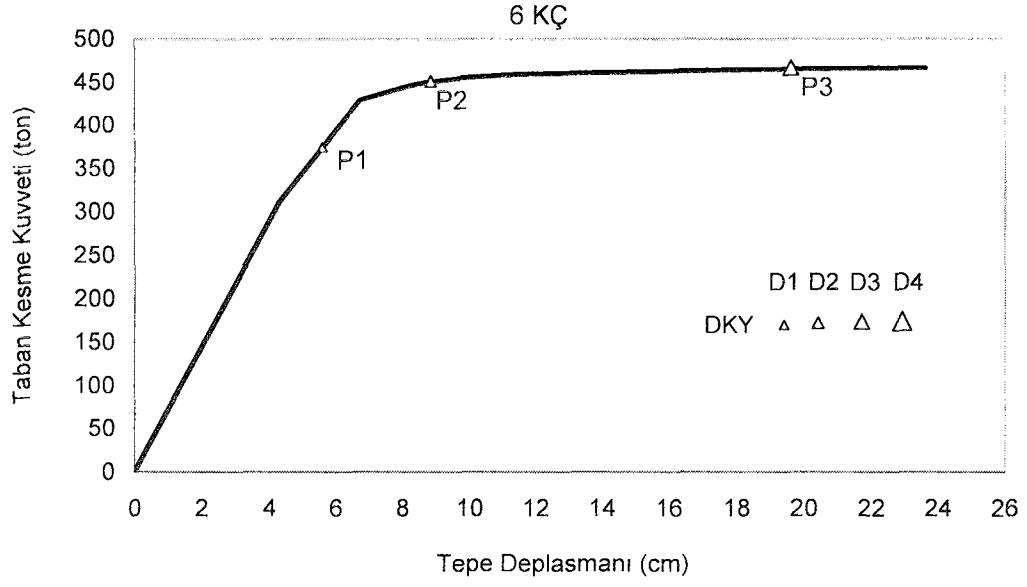




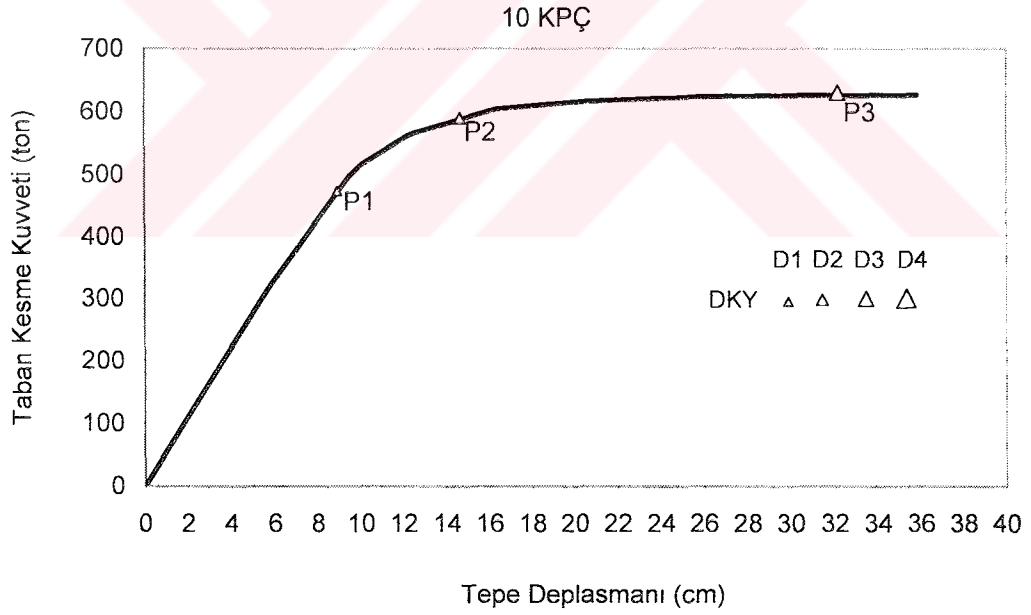
Şekil 3.29 DKY ile analiz sonucu 3KÇ binaya ait hedef deplasmanları



Şekil 3.30 DKY ile analiz sonucu 3KDÇ binaya ait hedef deplasmanları



Şekil 3.31 DKY ile analiz sonucu 6KÇ binaya ait hedef deplasmanları



Şekil 3.32 DKY ile analiz sonucu 10KPÇ binaya ait hedef deplasmanları

### 3.5.3 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile Performans Düzeyinin Belirlenmesi

Performans değerlendirilmeleri yapılmak üzere, dolgu duvarlı ve dolgusuz betonarme binalar, göz önüne alınan dört ayrı deprem tehlike seviyesi (hafif, orta, şiddetli (tasarım) ve çok şiddetli) için, Deplasman Katsayıları Yöntemi ile belirlenen maksimum deplasman değerlerine (hedef deplasmana) kadar elastik ötesi statik itme analizi yapılarak kiriş, kolon ve perde elemanlarda meydana gelen plastik kesit sayıları, bunların hasar düzeyleri ve kesitlerdeki maksimum plastik dönme değerleri ile maksimum görelî kat ötelemeleri elde edilmiştir. Bunlar, dolgusuz betonarme binalar için Çizelge 3.26'da, dolgulu betonarme bina için Çizelge 3.27'de verilmiştir. Ayrıca dolgulu betonarme bina için Çizelge 3.28'de dolgu duvarı temsil eden fiktif çubuklara ait plastik kesit sayıları ile maksimum plastik kısalma değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.26 Dolgusuz betonarme binalar için DKY'ne ait performans düzeyleri

Bina		Maksimum plastik dönme (rad)		Performans düzeylerine göre plastikleşen kesit sayısı								Maksimum görelî kat ötelemesi (%)	
		Kiriş	Kolon (Perde)	Kiriş				Kolon (Perde)					
				<IO	IO-LS	LS-CP	>CP	< IO	IO-LS	LS-CP	> CP		
3KÇ	D1	0.00075	---	40	---	---	---	---	---	---	---	0.25	<IO
	D2	0.00258	---	72	---	---	---	---	---	---	---	0.41	
	D3	0.00790	0.00339	2	70	---	---	10	---	---	---	0.82	
	D4	0.01310	0.00435	---	6	66	---	---	---	16	---	---	IO<1.27<LS
6KÇ	D1	0.00130	---	48	---	---	---	---	---	---	---	0.43	<IO
	D2	0.00570	0.00056	214	5	---	---	14	---	---	---	0.76	
	D3	0.01611	0.01036	99	42	158	---	---	15	21	---	---	IO<1.72<LS
	D4	II. Mertebe limit yük aşılmıştır.											
10KPÇ	D1	0.00219	(0.00025)	75	---	---	---	(4)	---	---	---	0.38	<IO
	D2	0.00547	0.00083 (0.00176)	427	1	---	---	2 (6)	---	---	---	0.65	
	D3	0.01419	0.00771 (0.00878)	158	250	188	---	2	23	1 (6)	---	---	IO<1.40<LS
	D4	II. Mertebe limit yük aşılmıştır.											

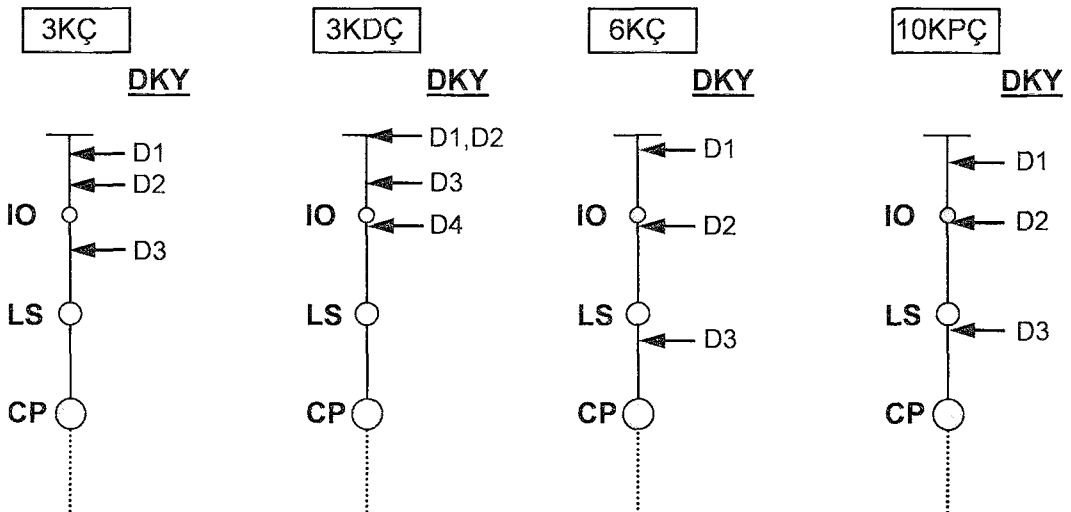
Çizelge 3.27 Dolgu betonarme bina için DKY'ne ait performans düzeyleri

Yapı		Maksimum plastik dönme (rad)		Performans düzeylerine göre plastikleşen kesit sayısı								Maksimum görelî kat ötelemesi (%)		
		Kiriş	Kolon	Kiriş				Kolon (Perde)						
				<IO	IO-LS	LS-CP	>CP	< IO	IO-LS	LS-CP	> CP			
3KDÇ	D1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.04	<IO
	D2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.10	
	D3	0.00353	---	40	---	---	---	---	---	---	---	---	0.39	
	D4	0.00525	0.00134	42	4	---	---	15	---	---	---	---	0.51	

Çizelge 3.28 DKY ile analiz sonucu dolgu duvarını temsil eden çubukların plastikleşme durumları

Bina	Deprem Seviyesi	DKY			
		$\Delta_p$ maks (cm)	$\Delta_p$ değerine göre plastikleşen çubuk sayısı		
			$\Delta_p < \Delta_u$	$\Delta_u < \Delta_p < \Delta_u'$	$\Delta_u' < \Delta_p$
3KDÇ	D1	0.016	3	---	---
	D2	0.149	8	---	---
	D3	1.003	1	8	---
	D4	1.271	2	8	---

Binaların DKY analiz sonuçlarından elde edilen maksimum plastik dönme ve maksimum görelî kat ötelemeleri değerlerinden yararlanarak D1, D2, D3 ve D4 depremleri için binaların (3KÇ, 3KDÇ, 6KÇ ve 10KPÇ) performans düzeyleri şematik olarak Şekil 3.33'de gösterilmiştir.



Şekil 3.33 DKY ile elde edilen bina performans düzeyleri

Çizelge 3.26 – 3.27 ve Şekil 3.33'den yararlanarak incelenen binaların DKY analiz sonuçlarına göre performans düzeyleri aşağıda özetlenmiştir.

- D1 depremi için ;

Dolgunsuz ve dolgulu çerçeve binaların hemen kullanım performans düzeyinin altında ( $\leq IO$ ) olduğu belirlenmiştir.

- D2 depremi için ;

Dolgunsuz ve dolgu duvarlı betonarme binaların hepsi için D1 depreminde olduğu gibi hemen kullanım performans düzeyinin altında ( $\leq IO$ ) olduğu belirlenmiştir.

- D3 depremi için ;

Dolgunsuz binalardan; 3KÇ'nin hemen kullanım (IO) ile yaşam güvenliği (LS) performans düzeyi arasında (IO-LS), 6KÇ ve 10KPÇ'nin yaşam güvenliği (LS) ile göçme önleme (CP) performans düzeyi arasında (LS-CP) olduğu belirlenmiştir. Dolgu duvarlı binanın (3KDÇ) hemen kullanım performans düzeyinin altında ( $\leq IO$ ) kaldığı belirlenmiştir.

- D4 depremi için ;

Dolgunsuz çerçevelerden 3KÇ'nin yaşam güvenliği (LS) ile göçme önleme (CP) performans düzeyi arasında (LS-CP) olduğu, 6KÇ ve 10KPÇ'nin ise bu deprem seviyesine ait deplasman talebine ulaşmadan statik anlamda stabilite yetersizliği nedeniyle göçtüğü (*II. Mertebe limit yükün aşıldığı*) belirlenmiştir. Dolgu duvarlı binanın (3KDÇ) hemen kullanım (IO) ile yaşam güvenliği (LS) performans düzeyi arasında olduğu belirlenmiştir.

DKY'nde tüm deprem seviyeleri için Çizelge 3.28 incelendiğinde, 3KDÇ'de dolgu duvarlarını temsil eden iki ucu mafsallı fiktif çubukların bazılarında  $N_{\text{ç}}$  çatlama dayanımının aşılmakta ( $\Delta_p < \Delta_u$ ),  $N_{\text{max}}$  değerini ulaşmamaktadır. Ancak D3 ve D4 depremlerinde ise bazı çubukların,  $N_{\text{max}}$  maksimum yük taşıma kapasitesinin altına düştüğü ( $\Delta_u < \Delta_p < \Delta_u'$ ) belirlenmiştir.

### 3.6 Kapasite Spektrumu Yöntemi ve Deplasman Katsayıları Yöntemi ile Elde Edilen Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

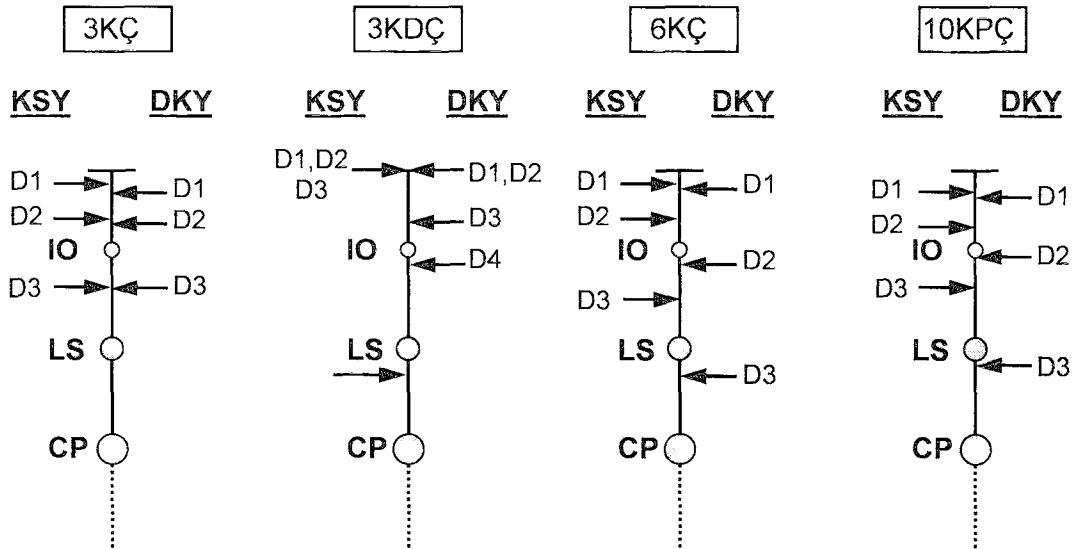
Performans değerlendirmeleri yapılmak üzere incelen betonarme binaların;

- deplasman talepleri,
- dayanım talepleri,
- maksimum görel kat ötelemeleri,

taşıyıcı sistem elemanlarının;

- maksimum plastik dönmeler bakımından,

dört farklı deprem tehlike seviyesi ve her iki analiz yöntemi (KSY ve DKY) için elde edilerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Deplasman Katsayıları Yönteminden (DKY) elde edilen analiz sonuçlarının Kapasite Spektrum Yöntemine (KSY) göre ne oranda farklı sonuç verdiği hesaplanarak Çizelge 3.29'da ve Şekil 3.35-3.38'de gösterilmiştir. Binaların KSY ve DKY analiz sonuçlarından elde edilen maksimum plastik dönme ve maksimum görel kat ötelemeleri değerlerinden yararlanarak Bölüm 3.4.3 ve 3.5.3'de belirlenen performans düzeyleri incelenen betonarme binalar için (3KÇ, 3KDÇ, 6KÇ ve 10KPÇ) Şekil 3.34'de şematik olarak gösterilmiştir.

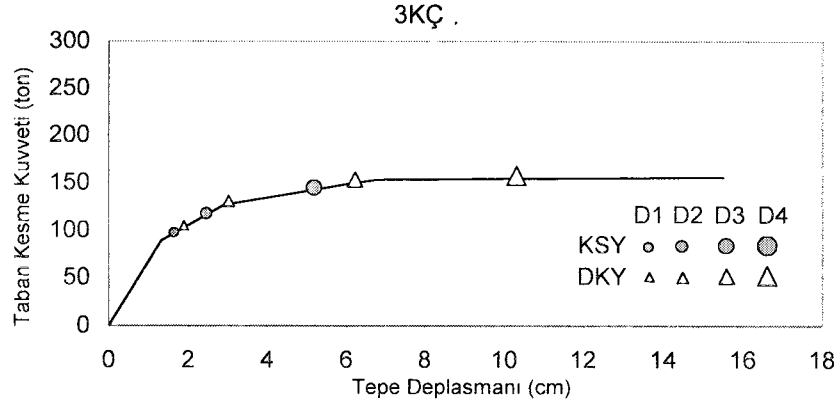


Şekil 3.34 KSY ve DKY ile elde edilen performans düzeylerinin karşılaştırılması

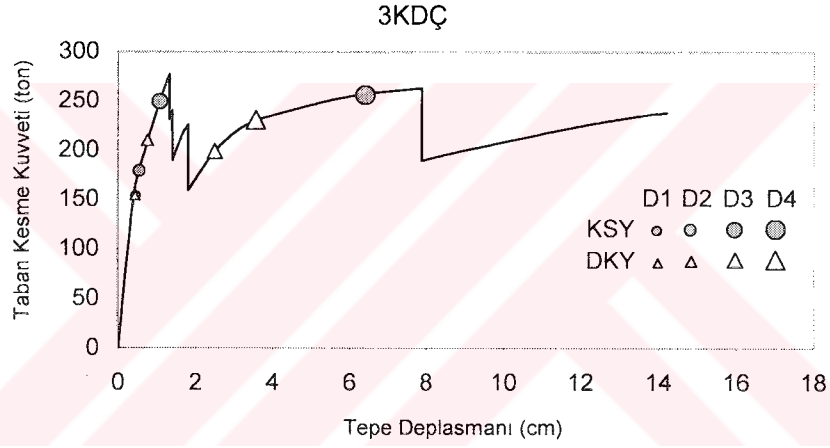
Çizelge 3.29 KSY ve DKY ile elde edilen analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Bina	Deprem Seviyesi	KSY				DKY				Karşılaştırma : $\frac{DKY-KSY}{KSY}$			
		Deplasman talebi (cm)	Dayanım talebi (t)	Maksimum görelî kat ötelemesi (%)	Maksimum plastik dönme (rad)	Deplasman talebi (cm)	Dayanım talebi (t)	Maksimum görelî kat ötelemesi (%)	Maksimum plastik dönme (rad)	Deplasman talebi (%)	Dayanım talebi (%)	Maksimum görelî kat ötelemesi (%)	Maksimum plastik dönme (%)
3KÇ	D1	1.532	94.4	0.21	0.00039	1.765	110.4	0.25	0.00075	+15.21	+16.95	+19.05	+92.31
	D2	2.404	114.9	0.34	0.00171	2.947	127.0	0.41	0.00258	+22.59	+10.53	+20.59	+50.88
	D3	5.363	144.0	0.71	0.00658	6.181	149.5	0.82	0.00790	+15.25	+3.46	+15.49	+20.06
	D4	Etketif viskoz sönüm ait sınır değeri aşılmıştır.											
6KÇ	D1	5.050	347.7	0.40	0.00095	5.348	382.7	0.43	0.00130	+5.90	+10.07	+7.50	+36.84
	D2	7.500	437.6	0.64	0.00425	8.708	449.5	0.76	0.00570	+16.11	+2.72	+18.75	+34.12
	D3	15.030	461.8	1.33	0.01165	19.524	464.8	1.72	0.01611	+29.90	+0.65	+29.32	+38.28
	D4	II. Mertebe limit yük aşılmıştır.											
10KÇ	D1	8.361	450.1	0.37	0.00196	8.686	463.2	0.38	0.00219	+3.89	+2.91	+2.70	+11.73
	D2	12.032	548.9	0.54	0.00424	14.307	573.9	0.65	0.00547	+18.91	+4.55	+20.37	+29.00
	D3	23.702	596.8	1.07	0.01021	32.386	591.5	1.40	0.01419	+36.64	-0.88	+30.84	+38.98
	D4	II. Mertebe limit yük aşılmıştır.											
3KDÇ	D1	0.351	153.8	---	0.04	0.348	153.0	0.04	---	-0.85	-0.52	0.00	---
	D2	0.448	179.8	---	0.06	0.738	213.9	0.10	---	+64.73	+18.96	+66.67	---
	D3	1.014	249.8	---	0.15	2.386	195.6	0.39	0.00353	+135.31	-21.70	+160.00	---
	D4	6.246	256.7	0.001197	0.96	3.170	223.3	0.51	0.00525	-49.25	-13.01	-46.88	+338.60

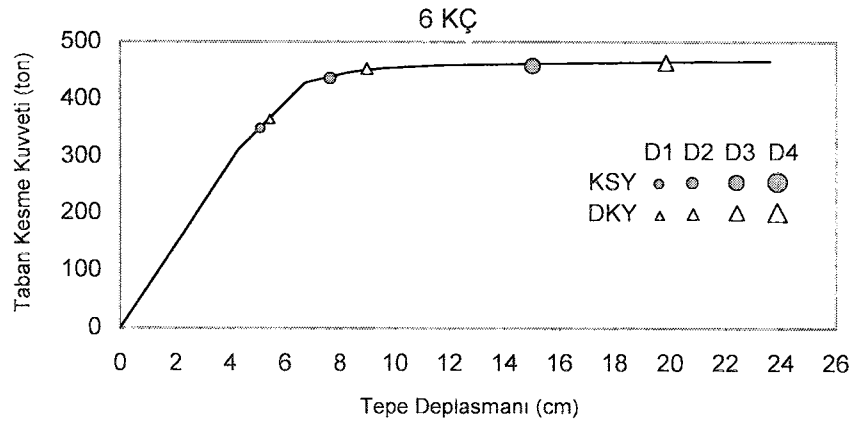




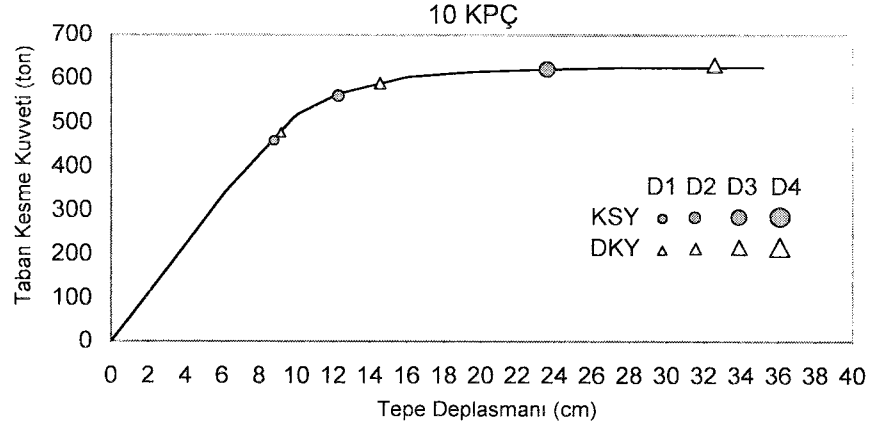
Şekil 3.35 3KÇ'nin KSY ve DKY ile elde edilen deplasman talepleri



Şekil 3.36 3KDÇ'nin KSY ve DKY ile elde edilen deplasman talepleri



Şekil 3.37 6KÇ'nin KSY ve DKY ile elde edilen deplasman talepleri



Şekil 3.38 10KPÇ'nin KSY ve DKY ile elde edilen deplasman talepleri

Ayrıca, incelenen dört ayrı bina için Çizelge 3.29'da Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) karşılaştırılması ile elde edilen değerlerin (deplasman talebi, dayanım talebi, maksimum görelî kat ötelemesi ve maksimum plastik dönme değerlerinin) ortalaması alınarak her deprem tehlike seviyesi için genel bir değerlendirme yapılırsa (Şekil 3.35-3.38) ;

- D1 depremi için DKY yönteminin KSY'ne göre; deplasman talebi bakımından yaklaşık olarak % 6.04, dayanım talebi bakımından % 7.35, maksimum görelî öteleme bakımından % 7.31 ve maksimum plastik dönme bakımından % 46.96 daha büyük sonuç verdiği belirlenmiştir.
- D2 depremi için DKY yönteminin KSY'ne göre; deplasman talebi bakımından yaklaşık olarak % 30.59, dayanım talebi bakımından % 9.19, maksimum görelî öteleme bakımından % 31.60 ve maksimum plastik dönme bakımından % 38.00 daha büyük sonuç verdiği belirlenmiştir.
- D3 depremi için DKY yönteminin KSY'ne göre; deplasman talebi bakımından yaklaşık olarak % 54.28 daha büyük, dayanım talebi bakımından % 4.62 daha küçük, maksimum görelî öteleme bakımından % 58.91 daha büyük ve maksimum plastik dönme bakımından % 32.44 daha büyük sonuç verdiği belirlenmiştir.
- D4 depremi için 3KÇ, 6KÇ, ve 10KPÇ binaların performansı belirlenemediğinden sadece 3KDÇ bina için karşılaştırılma yapılırsa DKY yönteminin KSY'ne göre; deplasman talebi bakımından yaklaşık olarak

% 49.25 daha küçük, dayanım talebi bakımından % 13.01 daha küçük, maksimum görelî öteleme bakımından % 46.88 daha küçük ve maksimum plastik dönme bakımından % 338.60 ve daha büyük sonuç verdiği belirlenmiştir.

### 3.7 3KÇ ile 3KDÇ Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Dolgu duvarlarının bina performans düzeyine etkisinin belirlenmesi amacıyla dolgunsuz 3KÇ betonarme binanın ve dolgu duvarlarının taşıma kapasitelerinin de göz önünde bulundurulduğu 3KDÇ betonarme binanın;

- deplasman talepleri,
- dayanım talepleri,
- maksimum görelî kat ötelemeleri,

taşıyıcı sistem elemanlarının;

- maksimum plastik dönmeleri,

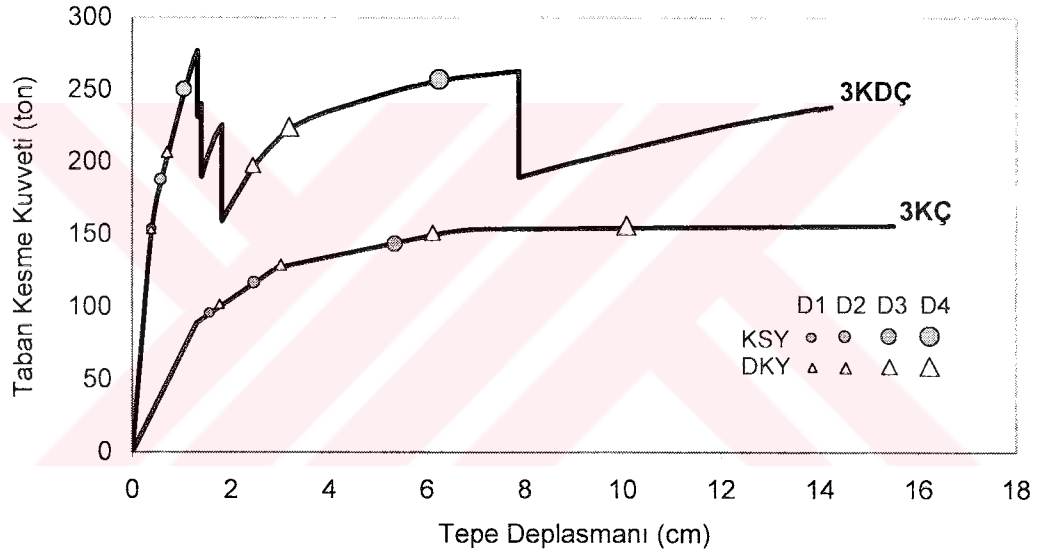
dört farklı deprem tehlike seviyesi ve her iki analiz yöntemi (KSY ve DKY) için elde edilerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır. 3KDÇ binaya ait analiz sonuçlarının 3KÇ binaya göre ne oranda farklı sonuç verdiği hesaplanarak Çizelge 3.30-3.31'de ve Şekil 3.39'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.30 3KÇ ve 3KDÇ binalara ait analiz sonuçları

Bina		KSY				DKY			
		Deplasman talepleri (cm)	Dayanım talepleri (t)	Maksimum görelî kat ötelemesi (%)	Maksimum plastik dönme (rad)	Deplasman talepleri (cm)	Dayanım talepleri (t)	Maksimum görelî kat ötelemesi (%)	Maksimum plastik dönme (rad)
3KÇ	D1	1.532	94.4	0.21	0.00039	1.765	110.4	0.25	0.00075
	D2	2.404	114.9	0.34	0.00171	2.947	127.0	0.41	0.00258
	D3	5.363	144.0	0.71	0.00658	6.181	149.5	0.82	0.00790
	D4	9.580	152.5	1.27	0.01245	10.158	152.6	1.27	0.01310
3KDÇ	D1	0.351	153.8	0.04	---	0.348	153.0	0.04	---
	D2	0.448	179.8	0.06	---	0.738	213.9	0.10	---
	D3	1.014	249.8	0.15	---	2.386	195.6	0.39	0.00353
	D4	6.246	256.7	0.96	0.00120	3.170	223.3	0.51	0.00525

Çizelge 3.31 3KÇ ve 3KDÇ binalara ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması

	Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması							
	KSY için :				DKY için :			
	3KDÇ – 3KÇ		3KÇ		3KDÇ – 3KÇ		3KÇ	
Deplasman talepleri (%)	Dayanım talepleri (%)	Maksimum görel kat ötelemesi (%)	Maksimum plastik dönme (%)	Deplasman talepleri (%)	Dayanım talepleri (%)	Maksimum görel kat ötelemesi (%)	Maksimum plastik dönme (%)	
D1	-77.09	+64.92	-80.95	-100	-80.28	+38.59	-84.00	-100
D2	-81.36	+56.48	-82.35	-100	-74.96	+68.43	-75.61	-100
D3	-81.09	+73.47	-78.87	-100	-61.40	+30.84	-52.44	-55.32
D4	Karşılaştırma yapılamamıştır.				-68.79	+40.33	-59.84	-59.92



Şekil 3.39 3KÇ ve 3KDÇ binalara ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 3.31 ve Şekil 3.39 incelendiğinde, binadaki dolgu duvarlarının taşıma kapasiteleri analizlerde göz önüne alındığında her deprem tehlike seviyesi için 3KDÇ binanın 3KÇ binaya göre her iki analiz yöntemi (KSY ve DKY) için;

- Deplasman taleplerinin azaldığı,
- Maksimum görel kat ötelemelerinin azaldığı,
- Dayanım taleplerinin ise genelde arttığı,
- Plastik dönme taleplerinin azaldığı

görülmektedir.

#### 4. TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNİN PERFORMANS HEDEFLERİNİN İRDELENMESİ

Bu bölümde örnek olarak ele alınan betonarme binalar TS 500 standardına ve Türk Deprem Yönetmeliğine (TDY) göre boyutlandırılmış ve lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi ve Deplasman Katsayıları Yöntemi ile hafif, orta, şiddetli (tasarım) depremleri ve çok şiddetli deprem için belirlenen performans düzeyleri belirlenmiş ve buna göre Türk Deprem Yönetmeliğinin performans hedefleri irdelenmiştir. Binaların performans düzeyi, taşıyıcı sistem elemanlarındaki maksimum plastik dönme ile binanın maksimum görece kat ötelemesine ait performans düzeylerinden en elverişsizine göre belirlenmiştir. Binaların belirlenen performans düzeyleri, TDY'nde verilen deprem tehlike seviyeleri (hafif, orta, şiddetli depremler) ve çok şiddetli deprem için öngörülen performans düzeyleri ile karşılaştırılarak TDY'ndeki hedefler irdelenmiştir. Bunun için, Bölüm 3.2'de açıklanan tanımlamalardan yararlanılmıştır (Şekil 3.5-3.7, Çizelge 3.10-3.13).

Dolgulu ve dolgusuz çerçeve binalara ait performans düzeylerinin incelenmesi sonucunda (Çizelge 3.21-3.22, 3.26-3.27) ;

- 3KÇ'nin hafif ve orta şiddetteki depremde; KSY'ne ve DKY'ne göre yönetmelikte öngörülenin oldukça üzerinde, şiddetli (tasarım) depremde öngörülenin biraz üzerinde bir performans göstermektedir. Çok şiddetli depremde ise ATC 40'da [1] efektif viskoz sönüme ait verilen sınır değeri aşıldığı için performansının (deprem güvenliğinin) olmadığı belirlenmiştir.
- 6KÇ'nin, hafif ve orta şiddetteki depremlerde; KSY'ne ve DKY'ne göre yönetmelikte öngörülenin çok az üzerinde, şiddetli depremde; KSY'ne göre yönetmelikte öngörülen düzeyde, DKY'ne göre öngörülenin biraz altında

performans gösterdiği, çok şiddetli depremde ise KSY ve DKY'ne göre binanın II. Mertebe limit yükün aşılması nedeniyle performansının (deprem güvenliğinin) olmadığı belirlenmiştir.

- 10KPÇ'nin hafif şiddetteki depremde; KSY'ne ve DKY'ne göre yönetmelikte öngörülen düzeyde, orta şiddetteki depremde; KSY ve DKY'ne göre öngörülenin üzerinde, şiddetli depremde; KSY'ne göre öngörülen düzeyde, DKY'ne göre öngörülenin altında bir performans göstermektedir. Çok şiddetli depremde ise KSY'ne ve DKY'ne göre aynen 6KÇ binada olduğu gibi 10KPÇ binanın II. Mertebe limit yükün aşılması nedeniyle performansının (deprem güvenliğinin) olmadığı belirlenmiştir.

- 3KDÇ'nin hafif, orta, şiddetli (tasarım) depremlerde; KSY'ne ve DKY'ne göre, yönetmelikte öngörülenin çok üzerinde bir performans göstermektedir. Çok şiddetli depremde ise, KSY'ne göre öngörülenin biraz altında, DKY'ne göre öngörülenin üzerinde bir performans gösterdiği belirlenmiştir.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, betonarme binalar için Türk Deprem Yönetmeliğinin [4] ana ilkesi olarak öngörülen performans hedefleri irdelenmiştir. Bunun için pratikteki binaları temsil etmek üzere üç ve altı katlı betonarme çerçeve ile on katlı perde çerçeve örnek olarak incelenmiştir. Ayrıca dolgu duvarlarının bina davranışına ve performansına etkisi de incelenmiştir. Binaların performanslarının belirlenmesinde, malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan teori kullanılarak yapılan statik itme analizini (pushover analiz) esas alan lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrumu Yöntemi (KSY) ve Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) kullanılmıştır.

Bu çalışmada yapılan değerlendirmeler Bölüm 3.3'de verilen kabuller çerçevesinde geçerlidir.

Taşıyıcı sistemde duvarların göz önüne alınması ile bina davranışının değiştiği ve bina performansı ile binanın başlangıç rijitliğinin önemli oranda arttığı belirlenmiştir. Türk Deprem Yönetmeliğinde öngörülen performans hedeflerinin ele alınan bina için, yapılan kabuller çerçevesinde büyük oranda gerçekleştiği görülmüştür.

Her iki yöntem (KSY ve DKY) ile incelenen binalara ait elde edilen sonuçlar deplasman ve dayanım talepleri, kesitlerdeki plastik dönme talepleri ve maksimum görelî kat öteleme değerleri bakımından incelendiğinde, DKY'nin genel olarak KSY'ye göre daha büyük sonuç verdiği belirlenmiştir. Bu büyüklüğün mertebesi taşıyıcı sistemdeki binanın genel özelliklerine, dolgu duvarın göz önüne alınıp alınmamasına ve deprem tehlike seviyelerine göre değişmektedir. Özellikle şiddetli (D3) ve çok şiddetli depremler (D4) için bina performans düzeyini değiştirecek mertebede olduğu belirlenmiştir.



Bu çalışmada, dolgu duvar malzemesi olarak boşluklu tuğla kullanılmıştır. Analizlerde de bu malzeme için deneysel verilerden elde edilen parametreler kullanılarak binanın performans düzeyi elde edilmiştir. Boşluklu tuğla dışında diğer dolgu malzemeleri (gazbeton, briket, vb.) için de bu parametreler deneylerle elde edilerek farklı dolgu malzemelerinin binaların performans düzeyine etkisinin araştırılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

Örnek olarak incelenmek üzere, TS 500 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (TDY) göre boyutlandırılan binaların performanslarının (deprem güvenlikleri) aynı kriterlere (FEMA 356'da ve ATC 40'da tanımlanan) göre değerlendirildiğinde küçük farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Örneğin, üç katlı binada tasarım depremi için öngörülenin biraz üzerinde bir performans elde edilirken, altı katlı binada öngörülenin biraz altında bir performans elde edilmektedir. Ancak bu değerlendirmelerin, performans hedeflerinin tanımlanmasındaki farklılıklara bağlı olarak değişebileceği görülmektedir. Bu nedenle, Türk Deprem Yönetmeliğinde performans ve hasar düzeyi tanımlamalarına ayrıca bunların belirlenebilmesi için lineer olmayan analiz yöntemlerine ayrıntılı olarak yer verilmesi gerektiği düşünülmektedir.

İncelenen bina türü yapılar çerçevesinde, Türk Deprem Yönetmeliğinin öngörülen performans hedeflerinin irdelenmesi sonucunda yönetmelikte (TDY) belirtilen performans hedeflerinin önemli ölçüde sağlandığı söylenebilir.

Performans değerlendirmelerini daha ayrıntılı olarak yapılabilmesi için farklı özelliklerdeki binaları içeren çalışmalar yapılması gerektiği düşünülmektedir. Bu kapsamdaki benzer çalışmaların, son dönemde geleneksel deprem tasarımının yerini alması için sürdürülen performansa dayalı tasarım çalışmalarına katkısı olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Applied Technology Council (ATC 40), Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, V.1, (1996).
- [2] Federal Emergency Management Agency (FEMA 273), NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, (1997).
- [3] Federal Emergency Management Agency (FEMA 356), NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, (2000).
- [4] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", (1998).
- [5] Structural Engineers Association of California, "Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, Blue Book", Seventh Edition, Sacramento,CA, (1999).
- [6] Structural Engineers Association of California, "Performance Based Seismic Engineering of Buildings, Vision 2000", Sacramento,CA, (1995).
- [7] European Standard Norme (Eurocode8), Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, (2003).
- [8] European Standard Norme (Eurocode8), Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings, (2004).
- [9] Krawinkler, H., "New Trends in Seismic Design Methodology", Proceedings of 10<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering, V.3, Rotterdam, (1995), 821.

- [10] Hamburger, R. O., "Performance Based Analysis and Design Procedure for Moment Resisting Steel Frames", Background Document, SAC Steel Project, (1998).
- [11] Comartin C., D., "ATC:55 Evaluation and Improvement of Inelastic Seismic Analysis Procedures", 10th U.S-Japan Workshop on Improvement of Structural Design and Construction Practices, Hawaii, (2003) 227.
- [12] Özer, E., "Determination of Second-Order Limit Load by a Method of Load Increments", *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, V.40, No.4, (1987), 815.
- [13] İrtem, E., "Uzay Çubuk Sistemlerde İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, (1991).
- [14] 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).
- [15] Kilar, V. and Fajfar, P., "Simple Pushover Analysis of Asymmetric Buildings", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, V.26, (1997), 233.
- [16] Moghadam, A.S. and Tso, W.K., "Seismic Response of Asymmetrical Buildings Using Pushover Analysis", Proceedings of the International Workshop on Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes, Slovenia, (1997), 311.
- [17] Freeman, S.A., "Development and Use of Capacity Spectrum Method", 6th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Seattle, (1998).
- [18] Aschheim, M., Maffei, J. and Black, E., "Nonlinear Static Procedures and Earthquake Displacement Demand", 6th U.S National Conference on Earthquake Engineering, Seattle, (1998).

- [19] Sasaki, K.K., Freeman, S.A. and Paret, T. F., "Multi-mode Pushover Procedure (MMP) - A Method to Identify the Effects of Higher Modes in a Pushover Analysis", Proceedings of Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, California, (1998).
- [20] Hiraishi, H., Teshigawara, M., Fukuyama, H., Saito, T., Gojo, W., Fujitani, H., Ohashi, Y., Okawa, I. and Okada, H., "New Framework for Performance Based Design of Building Structures - Design Flow And Social System -", Proceedings of the 30th Joint Meeting of the U.S.-Japan Cooperative Program in Natural Research Panel on Wind and Seismic Effects, (1998), 234.
- [21] Hiraishi, H., Midorikawa, M., Teshigawara, M. and Gojo, W., "Development of Performance-Based Building Code in Japan - Framework of Seismic and Structural Provisions-", Proceedings of the 30th Joint Meeting of the U.S.-Japan Cooperative Program in Natural Research Panel on Wind and Seismic Effects, (1998), 260.
- [22] Fajfar, P., "Capacity Spectrum Method Based on Inelastic Demand Spectra", *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, V. 28, (1999), 979.
- [23] Aschheim, M. and Black, E., "Yield Point Spectra for Seismic Design and Rehabilitation", *Earthquake Spectra*, V.16, No.2, (2000), 317.
- [24] Lefort, T., "Advanced Pushover Analysis of RC Multi-Storey Building", MSc Dissertation, Imperial College of Science, Technology and Medicine, (2000).
- [25] Kunnath, S.K. and Gupta, B., "Spectra-Compatible Pushover Analysis of Structures", Proceedings of U.S.-Japan Workshop on Performance-Based Earthquake Engineering Methodology for Reinforced Concrete Building Structures, Maui-Hawaii, (1999), 69.

- [26] Moghadam, A.S. and Tso, W.K., "3-D Pushover Analysis for Damage Assessment of Buildings", *JSEE*, V.2, No.3, (2000), 23.
- [27] Yang, P. And Wang, Y., "A Study on Improvement of Pushover Analysis", Proceedings of 12<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Paper no.1940, New Zealand, (2000).
- [28] Chopra, K.A. and Goel, R.K., "A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demands for Buildings: Theory and Preliminary Evaluation", Peer-2001/03, Berkeley, (2001).
- [29] Antoniou, S., "Pushover Analysis for Seismic Assessment of RC Structures", Report, Imperial College of Science, Technology and Medicine, (2001).
- [30] Zamfirescu, D. and 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 Methodology for Reinforced Concrete Buildings, Seattle, (2001).
- [31] Elmensdorp, J. and Eribarne, J., "Approximating Dynamic Response Through Nonlinear Pushover Analysis", ECI 212B Seminar, (2001).
- [32] Falcao, S. and Bento R., "Analysis Procedures for Performance-Based Seismic Design", 12th European Conference on Earthquake Engineering, Paper no. 371, London, (2002).
- [33] Albanesi, T., Nuti, C. and Vanzi, I., "State Of The Art Review for Non Linear Static Methods", 12th European Conference on Earthquake Engineering, London , (2002), 602.
- [34] Monti, G., Santini, S. and Via, G., "Evaluation of Seismic Assessment Pushover Procedures – Some Case Studies", 12th European Conference on Earthquake Engineering, Paper no. 452, London, (2002).

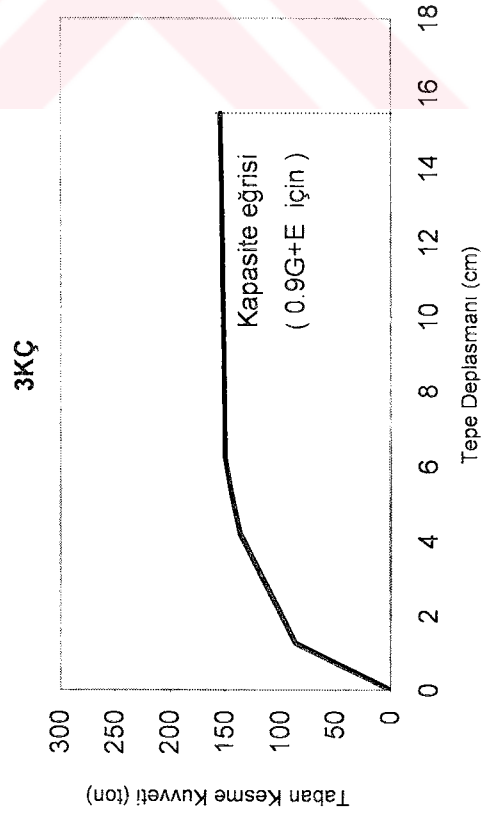
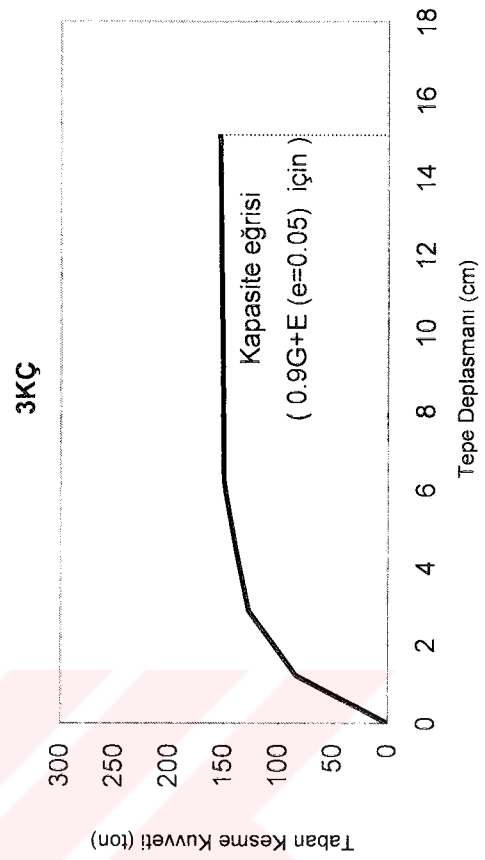
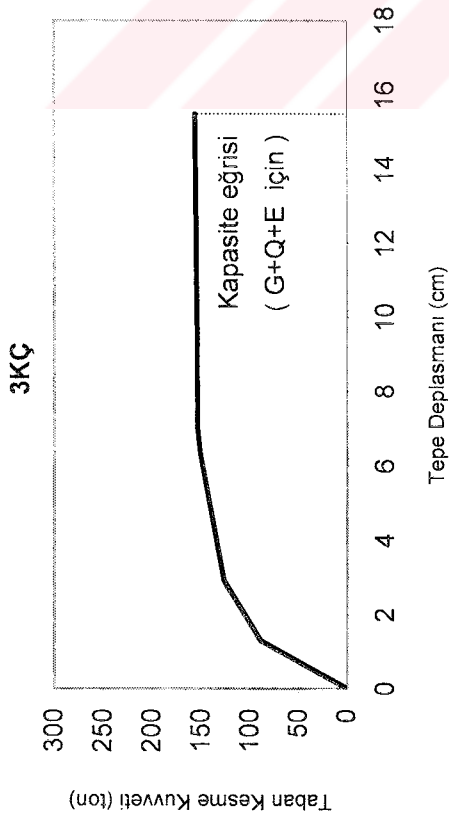
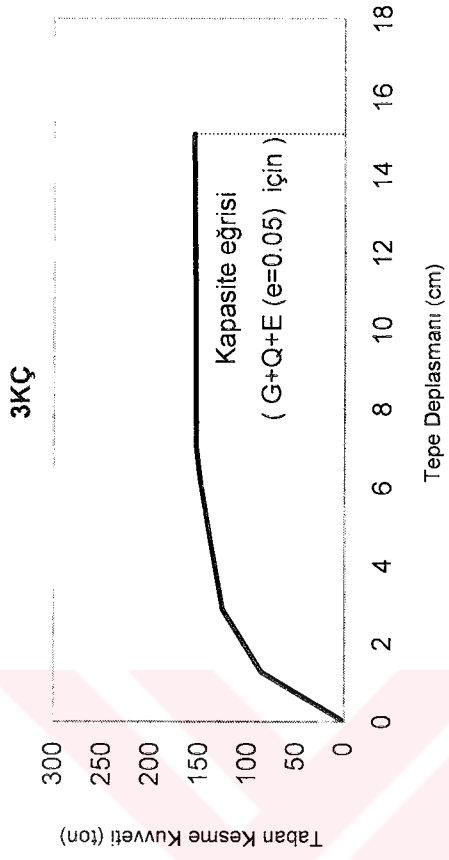
- [35] Iancovici, M., Fukuyama, H. and Kusunoki, K., "The Assessment of The Reinforced Concreate Building Structures Based on the Seismic Performance Concept", Fifth International Congress on Advances in Civil Engineering, İstanbul, (2002), 555.
- [36] Klinger, R. and Bertero, V., "Earthquake Resistance of Infilled Frames", *Journal of Structural Division*, V.10, (1978).
- [37] Sucuoğlu, H. and McNiven H.D., "Seismic Shear Capacity of Reinforced Masonry Piers", *Journal of Structural Engineering*, V.117, No.7, (1991), 2166.
- [38] Papadopoulos, P. and Karayiannis, C., "Nonlinear Analysis of Infilled Plane RC Frames", 10<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering, Rotterdam, (1995).
- [39] Ersin, U.D., "Küçük Titreşim Ölçümleri ve Dolgu Duvarlarının Mekanik Modele Yansıtılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1997).
- [40] Madan, A., Reinhorn A.M., Mander, J.B. and Valles, R.E., "Modelling of Masonry Infill Panels for Structural Analysis", *Journal of Structural Engineering*, V.123, No.10, (1997), 1295.
- [41] Hanoğlu, K.B., "Fiber Reinforced Plastic Overlay Retrofit of Hollow Clay Tile Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames", Doktora Tezi, Boğaziçi University, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2002).
- [42] Beskos, D.E. and Anagnostopoulos, S.A. "Computer Analysis and Design of Earthquake Resistant Structures a Handbook", CMP, (1997).
- [43] Özer, E., İrtem, E., Orakdöğen, E., Girgin, K., Doğaner, S. ve Kurtuldu, S., "Çok Katlı Çelik Yapıların Deprem Kuvvetleri Altında Gerçek Göçme Güvenliklerinin Belirlenmesi ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", Kesin Rapor, Proje no: İNTAG-505, TÜBİTAK,(1994).

- [44] Özer, E., Pala, S., Orakdöğen, E. ve Girgin, K., "Deprem Bölgelerindeki Mevcut Betonarme Yapıların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi ve Rehabilitasyonu", Teknik Rapor: TDV/TR 028-45, Türkiye Deprem Vakfı, (1999).
- [45] COLA, "Earthquake Hazard Reduction in Existing Reinforced Concrete Buildings and Concrete Frame Buildings with Masonry Infills", City of Los Angeles, (1995).
- [46] Aydınoğlu, N., "Incremental Response Spectrum Analysis (IRSA) Procedure for Seismic Performance Evaluation of Structures", 5. Ulusal Deprem Konferansı, İstanbul, (2003).
- [47] Türk Standartları, "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TS 500", Türk Standartları Enstitüsü, (2000).
- [48] Paulay, T., and Priestley, M.J.N., "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings", John Wiley & Sons, New York, (1992), p. 584.
- [49] CSI, SAP2000 V-8, "Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual", Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA, (2002).
- [50] ATC-40 V3.0, "Kapasite ve İstem Spektrumu Hesap Programı", Darılmaz, K., <http://www.ins.itu.edu.tr/kutlu/>, 2003.

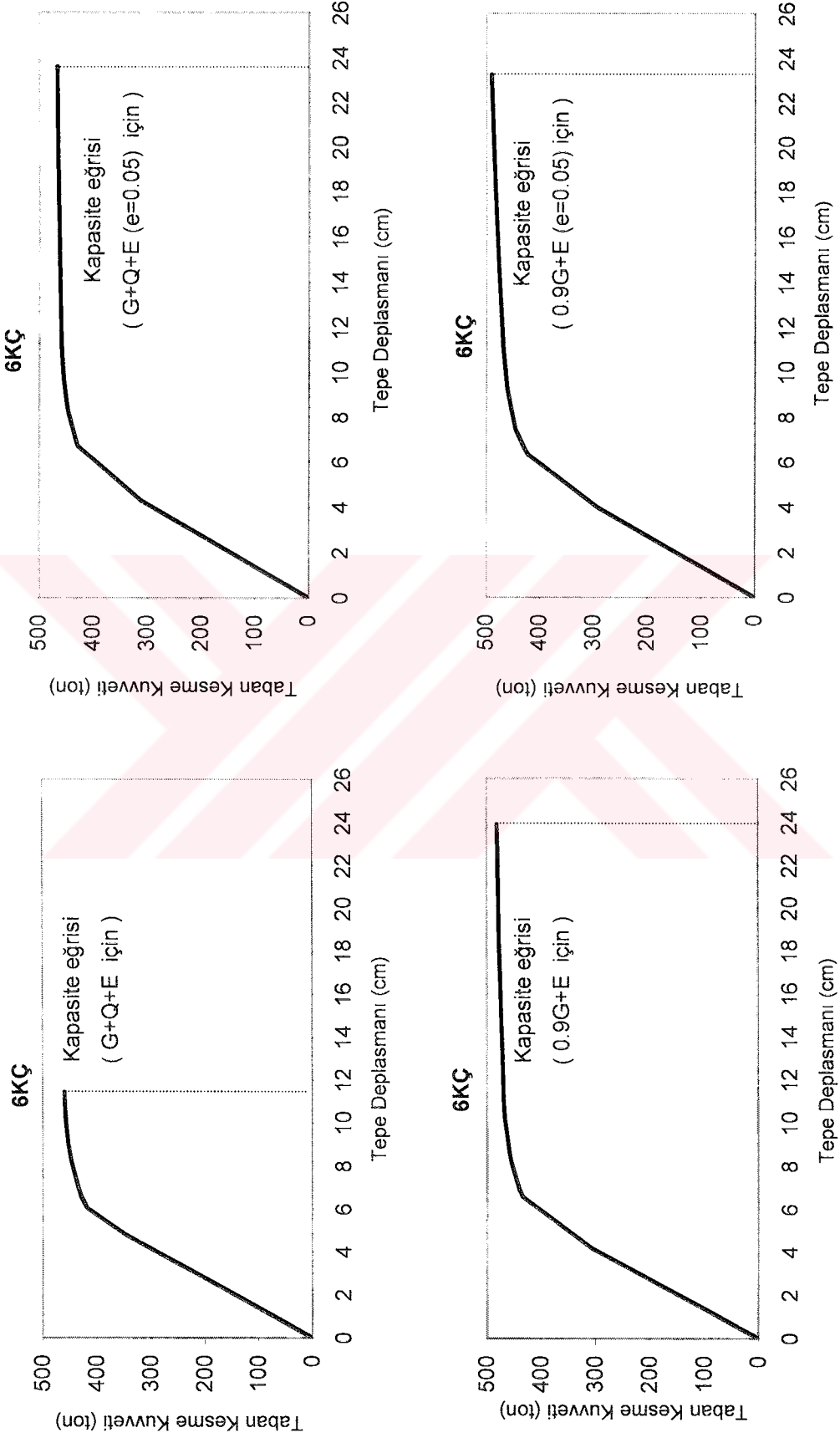


## EK-A

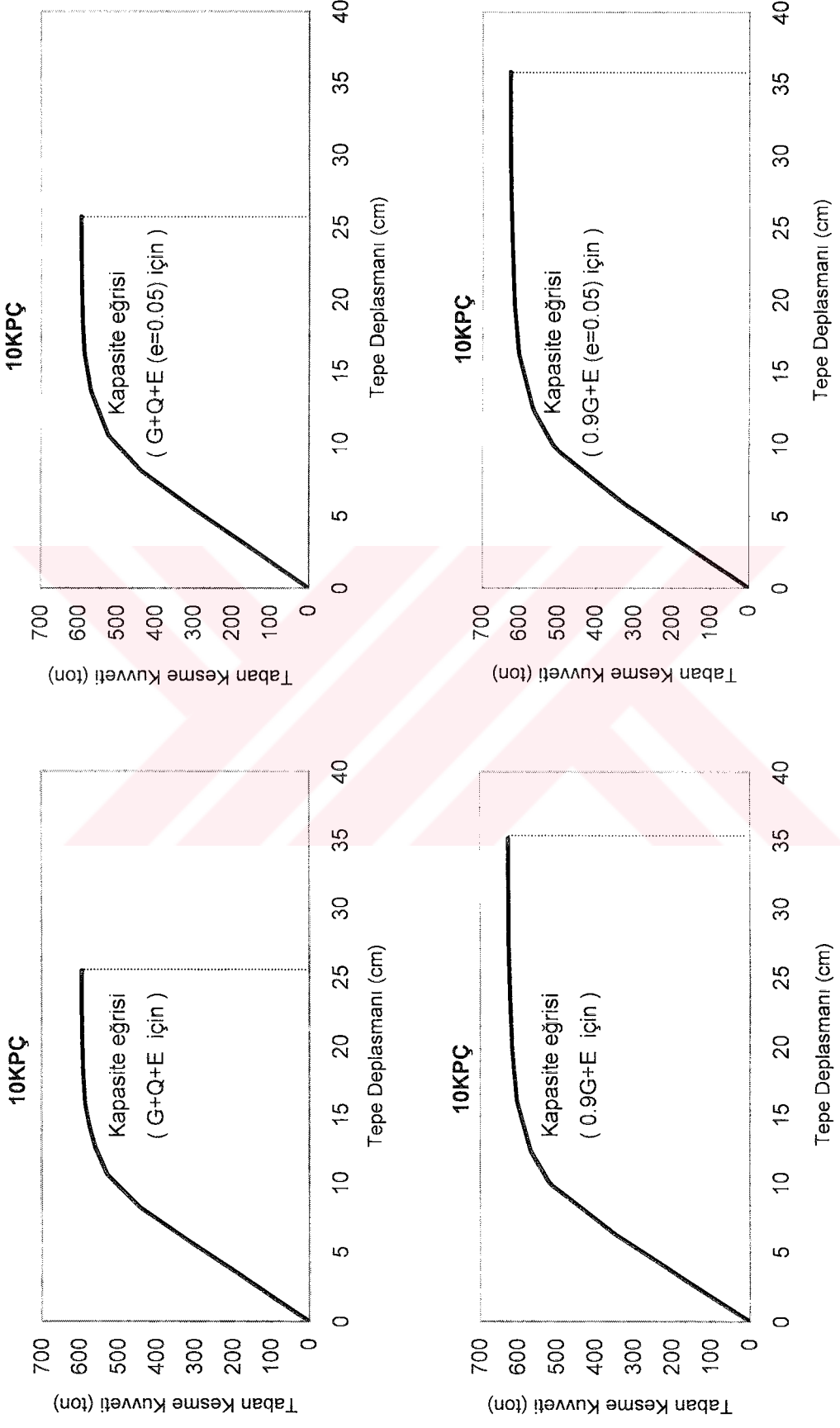
### Dolgunsuz ve Dolgulu çerçevelere ait Kapasite Eğrileri



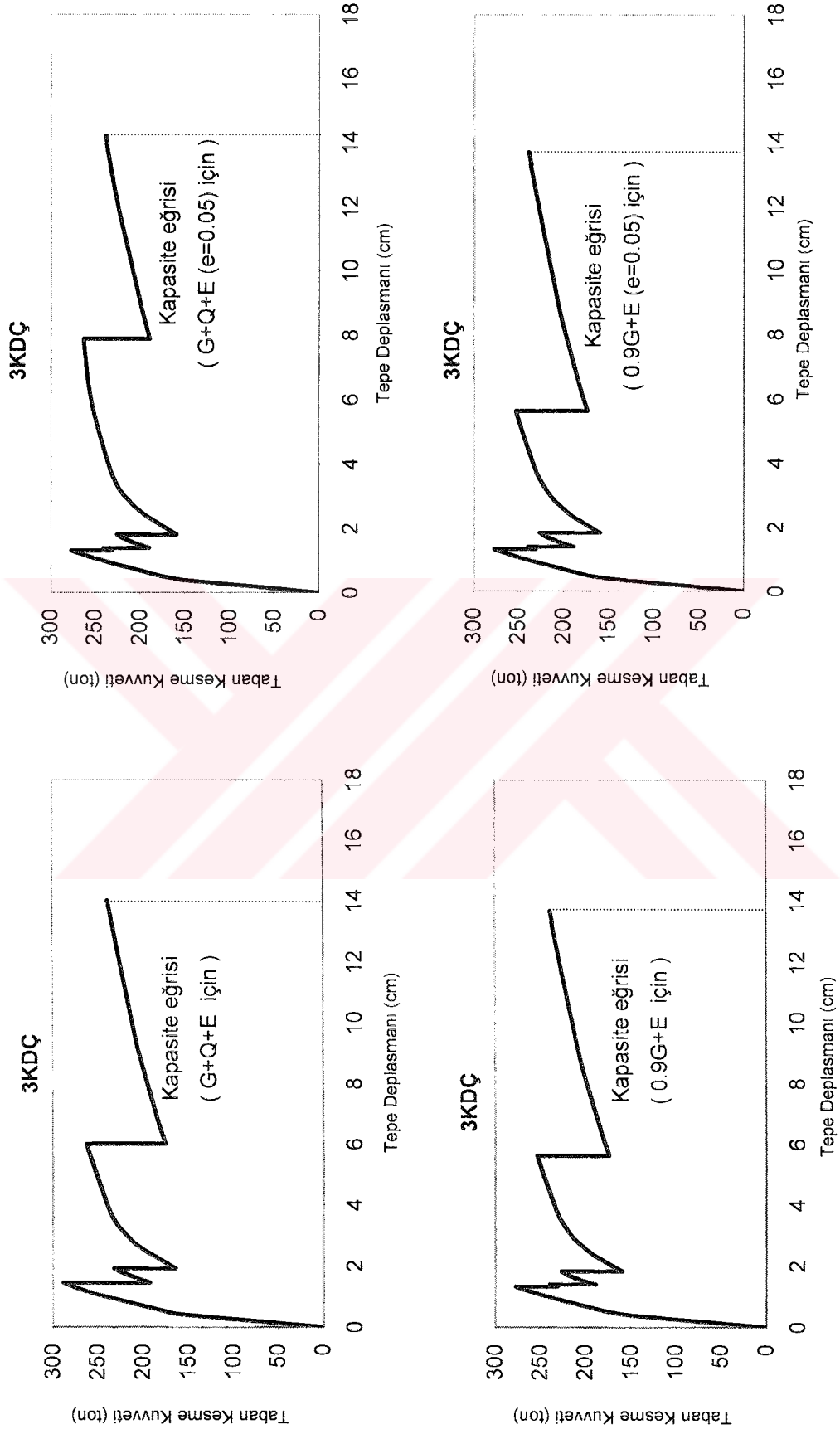
Şekil A.1 3KÇ binanın yük kombinasyonları için kapasite eğrileri



Şekil A.2 6KÇ binanın yük kombinasyonları için kapasite eğrileri



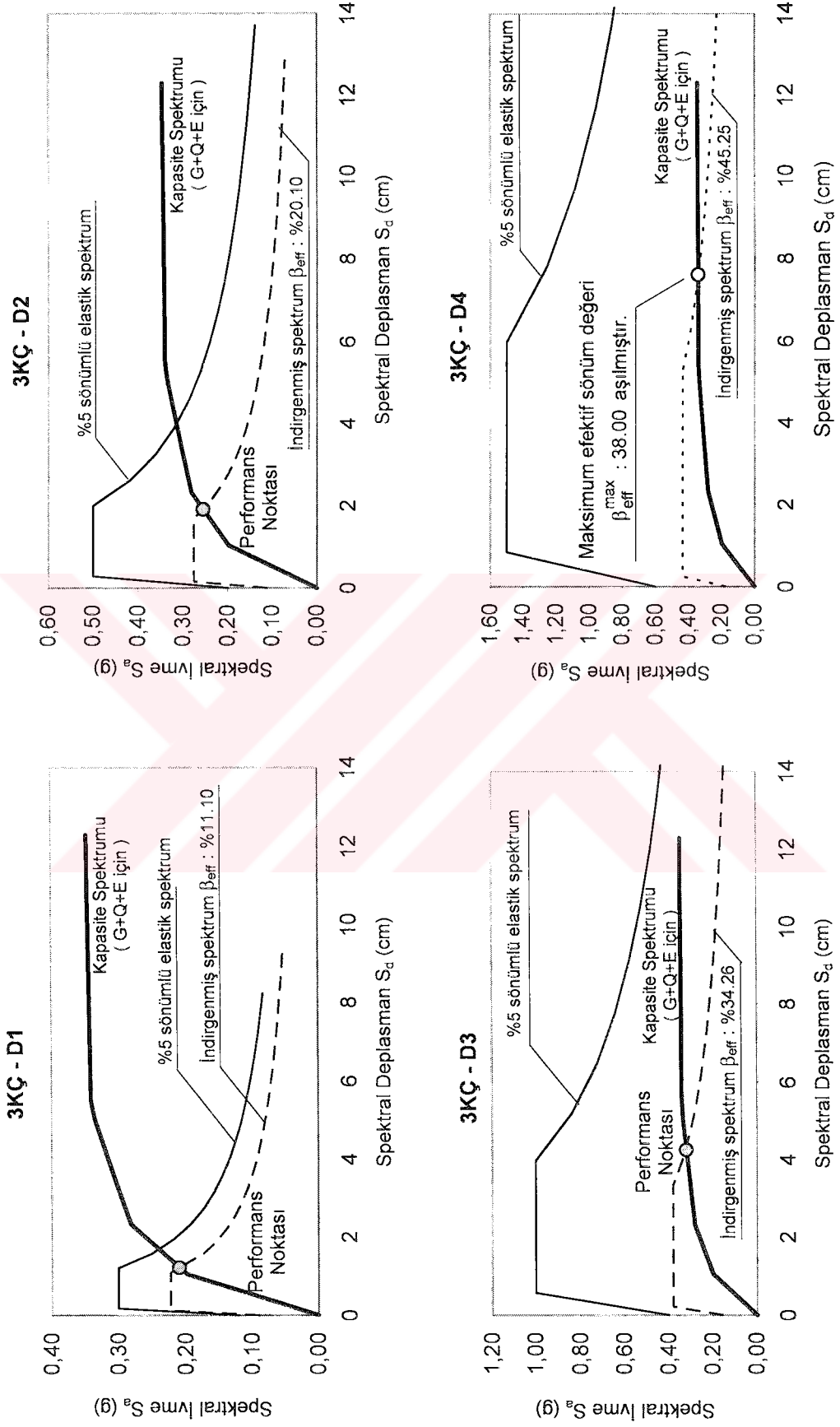
Şekil A.3 10KPC binanın yük kombinasyonları için kapasite eğrileri



Şekil A.4 3KDC binanın yük kombinasyonları için kapasite eğrileri

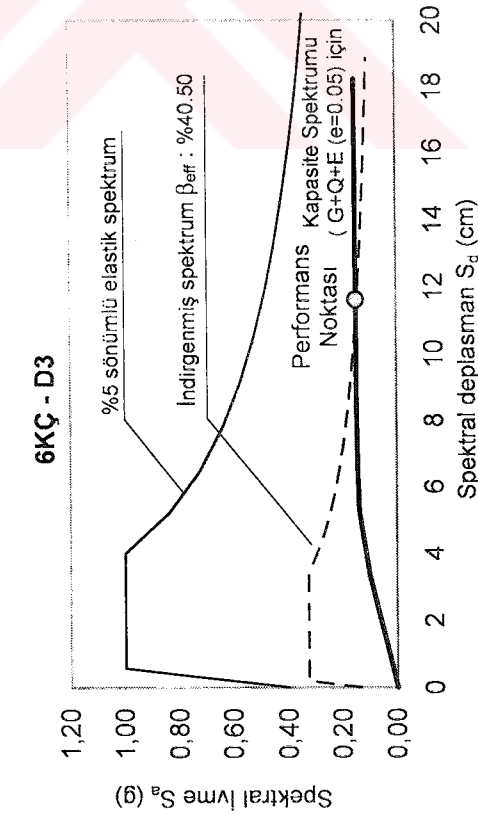
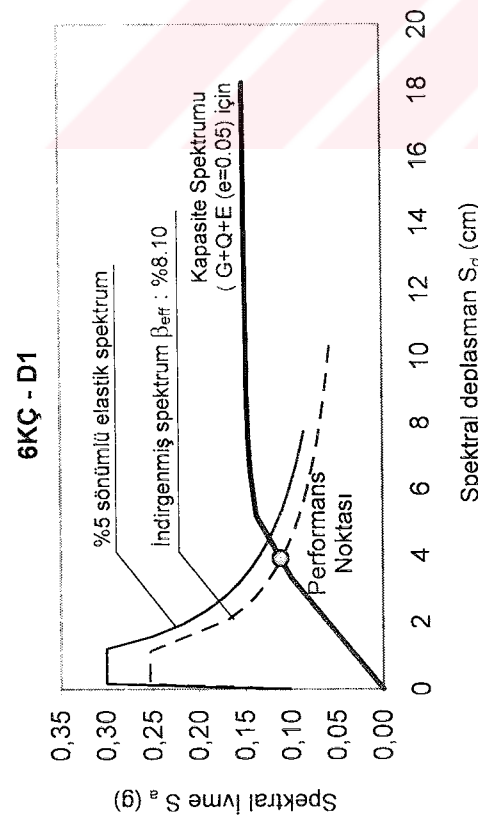
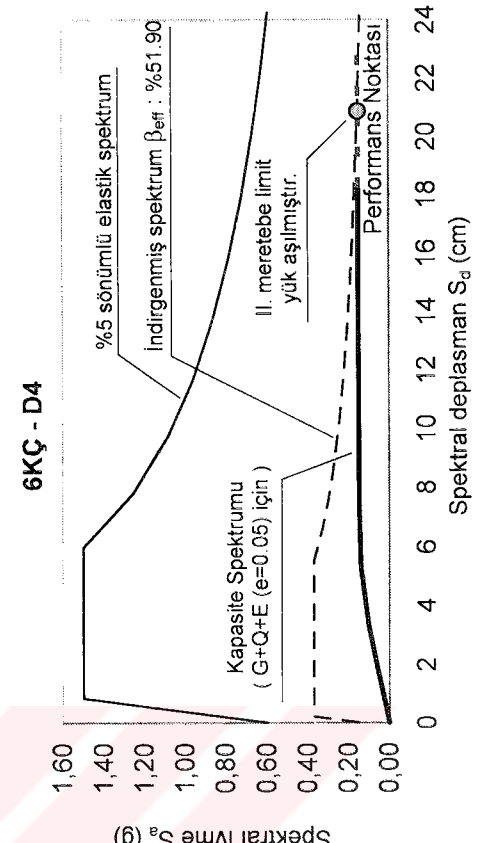
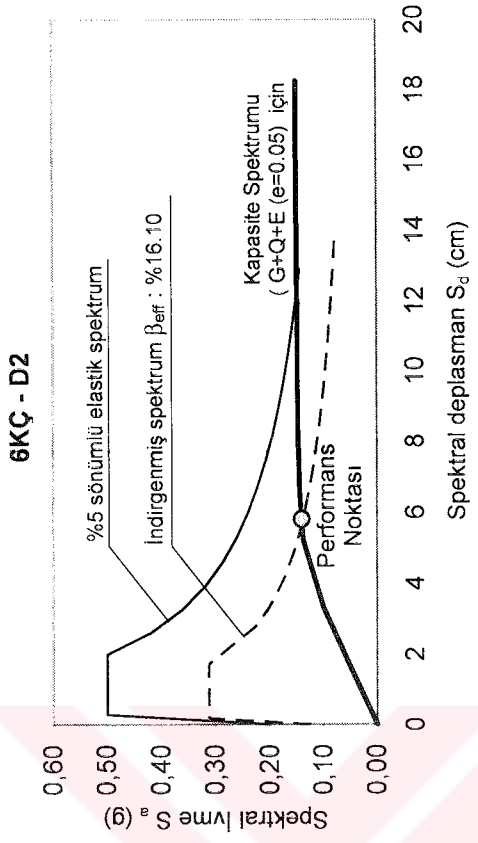
**EK-B**

**Dolgunuz ve Dolgulu Binaların Performans Noktalarının Elde Edilmesi**

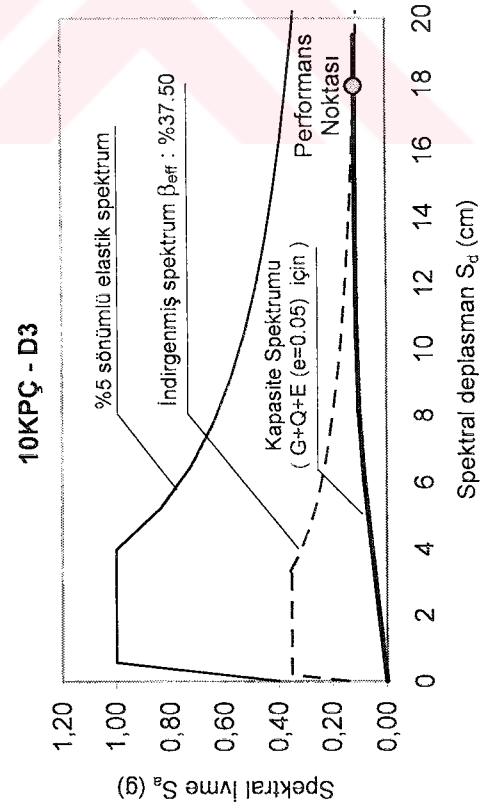
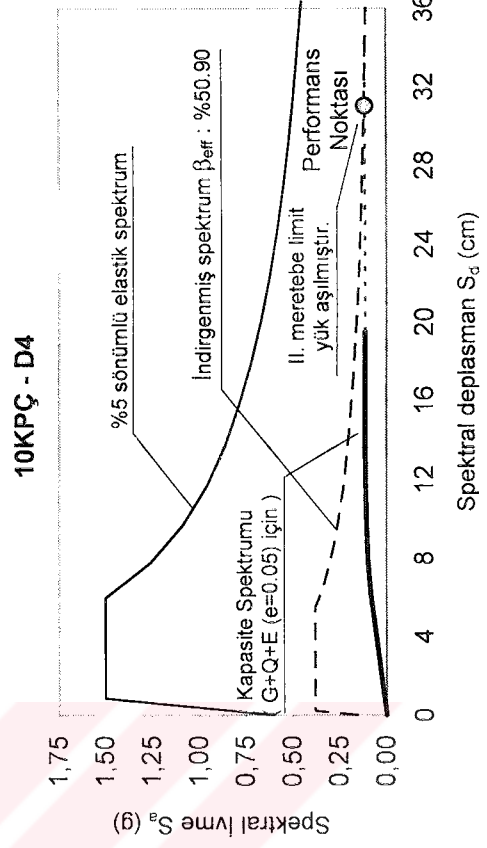
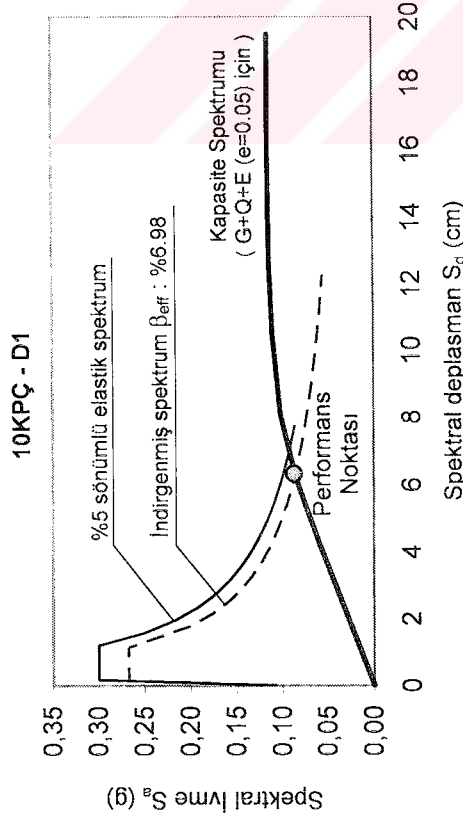
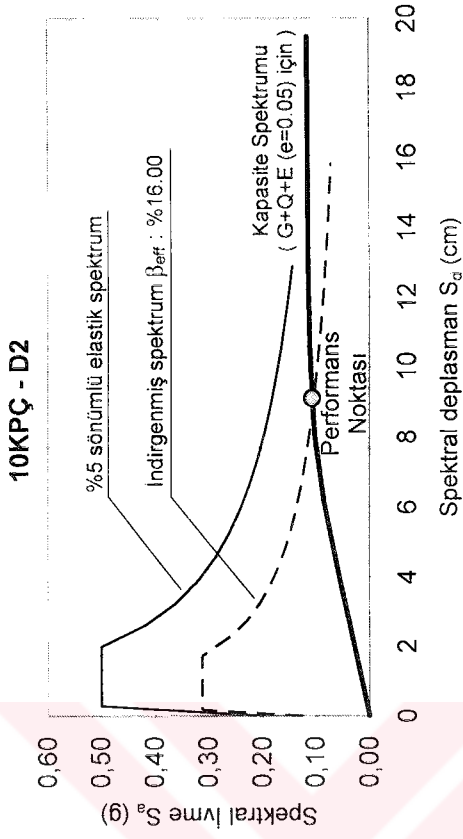


Şekil B.1 3KÇ binanın D1, D2, D3, D4 deprem tehlike seviyeleri için performans noktalarının elde edilmesi

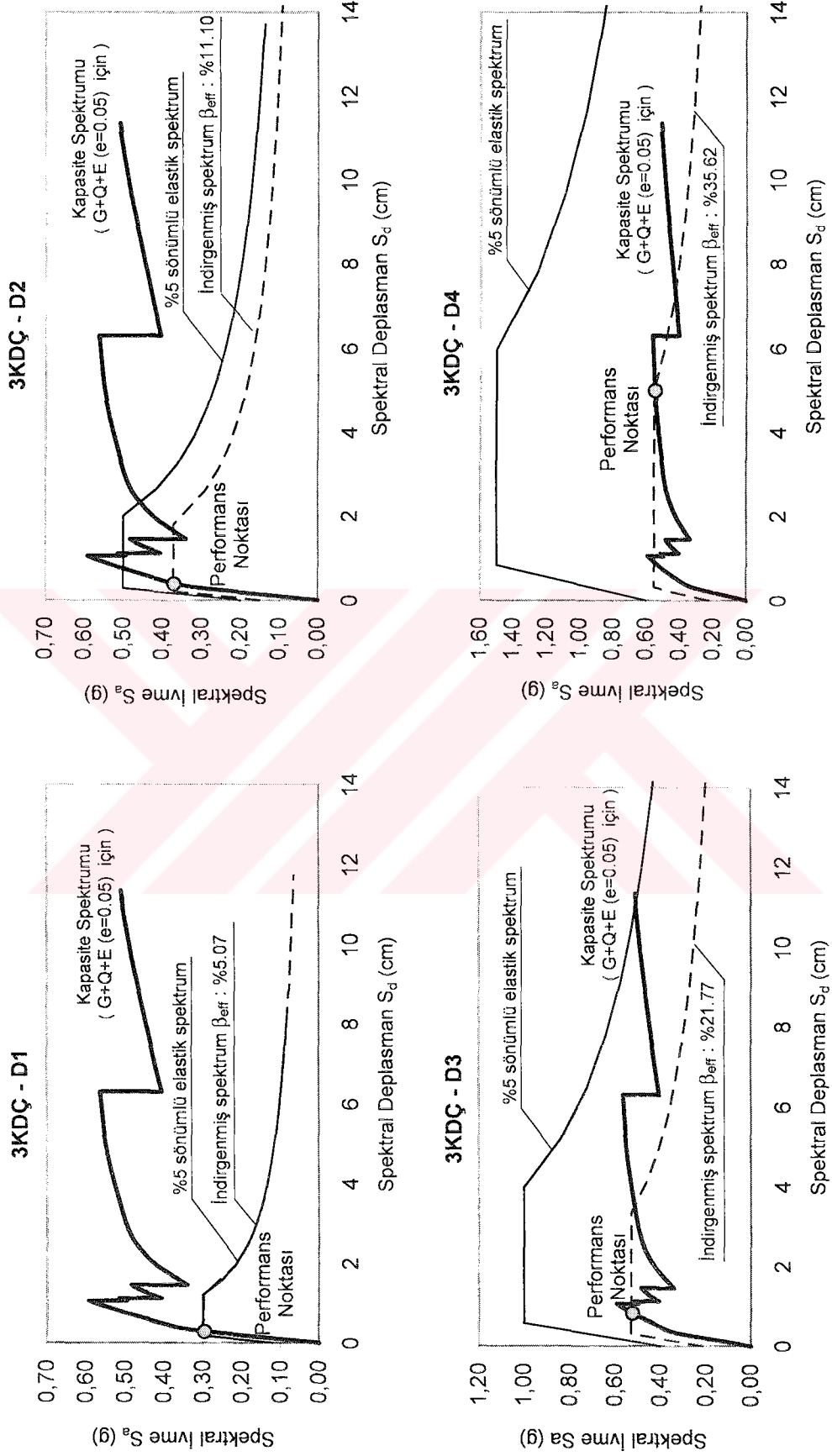




Şekil B.2 6KÇ binanın D1, D2, D3, D4 deprem tehlike seviyeleri için performans noktalarının elde edilmesi



Şekil B.3 10KPÇ binanın D1, D2, D3, D4 deprem tehlike seviyeleri için performans noktalarının elde edilmesi



Şekil B.4 3KDC binanın D1, D2, D3, D4 deprem tehlike seviyeleri için performans noktalarının elde edilmesi