

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HIZLI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNDE  
KULLANILAN PARAMETRELERİN YAPI  
PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Hayri Baytan ÖZMEN**

**Yüksek Lisans Tezi**

**DENİZLİ – 2005**

**HIZLI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNDE  
KULLANILAN PARAMETRELERİN YAPI  
PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tarafından Kabul Edilen  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

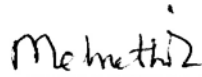
**Hayri Baytan ÖZMEN**

**Tez Savunma Sınavı Tarihi : 11.08.2005**

**DENİZLİ - 2005**

## TEZ SINAV SONUÇ FORMU

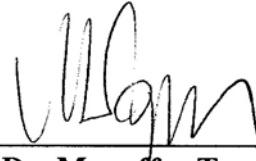
Bu tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



**Yrd. Doç. Dr. Mehmet İNEL**  
(Yönetici)



**Yrd. Doç. Dr. Selçuk TOPRAK**  
(Jüri Üyesi)



**Prof. Dr. Muzaffer Topçu**  
(Jüri Üyesi)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Prof. Dr. M. Ali SARIGÖL**

**Müdür**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

## TEŞEKKÜR

Öncelikle Yüksek Lisans tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mehmet İNEL'e değerli rehberliği ve teşvik edici yönetimi için teşekkür ederim.

Değerli hocalarım, Prof. Dr. Muzaffer TOPÇU, Yrd. Doç. Dr Selçuk TOPRAK ve Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL'e yardımları ve buldukları katkıdan dolayı minnettarım.

Mesleki sohbetlerinden haz duyduğum değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Ali Haydar KAYHAN ve Arş. Gör. Salih YILMAZ'a yardımları için şükran borçluyum.

Ev arkadaşım Gulmustafa ŞEN'e tez süresince verdiği destekten dolayı teşekkür ederim.

Benimle ağlayan, benimle gülen manevi kardeşim Hüseyin BİLGİN'e akademik ve manevi desteği için teşekkürü bir borç bilirim.

Öğrenimim hayatım süresince, yıllarca türlü fedakarlık ve şefkatle beni destekleyen aileme minnettarım. Bu sayfada ancak haklarının ödenmez olduğunu ifade edebilirim.

**Hayri Baytan ÖZMEN**

## ÖZET

Dünyanın diğer birçok ülkesinde de olduğu gibi ülkemizde de son birkaç on yıl içerisinde yapılmış olan binaların hem yapım kalitesi açısından hem de tâbi oldukları yönetmeliklerin yetersizliği açısından büyük bir risk altında oldukları bilinen bir gerçektir. Nüfusun önemli bir kısmını içinde barındıran bu tür yapıların güvenlik seviyesinin belirlenmesi deprem afetine karşı yapılacak hazırlıkların en önemli ve başta gelen safhalarından biridir.

İncelenmesi gerekli olan yapı stokunun büyüklüğü detaylı incelemeyi imkansız hale getirmektedir. Bu tür yapıların incelenbilmesini pratik hale getirecek çeşitli Hızlı Değerlendirme Yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler genellikle geçmiş depremler sonucunda hasar gören yapıların istatistiki incelemesi ile oluşturulmuştur. Hızlı değerlendirme yöntemlerinde kullanılan özellikle binanın dışından gözlemlenen belirli parametreler (yumuşak kat, kısa kolon, kapalı çıkma, bitişiklik vb.) vardır. Bunlar baz alınarak binaların kalite sınıflandırması yapılır ve bu sınıflandırmada çalışmayı yapan mühendisin tecrübesine güvenilir. Hangi parametrenin daha fazla etkili olduğunu gösteren somut bir çalışma mevcut değildir.

İnşaat mühendisliğinde son yıllarda yaşanan ilerlemeler ile ortaya çıkan doğrusal ötesi yöntemler, hızlı değerlendirme metotlarında kullanılan parametrelerin analitik olarak incelenmesine de olanak vermektedir. Bu çalışmada yumuşak kat, kısa kolon, kapalı çıkma ve yanal donatı miktarının orta yükseklikteki (4 ve 7 katlı) yapı performansı üzerindeki etkileri 22 binaya ait 44 doğrusal ötesi statik ve 192 adet doğrusal dinamik analiz kullanılarak incelenmiştir. Söz konusu parametrelerin hızlı değerlendirme yöntemlerinde kullanımı üzerine öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Hızlı Değerlendirme Yöntemleri, Orta Yükseklikteki Yapılar, Statik İtme Analizi, Yapısal Düzensizlikler, Zaman Tanım Alanında Analiz

**Hayri Baytan Özmen**

## ABSTRACT

Like most of the other countries in the world, buildings constructed in the last several decades in Turkey are under a serious risk due to the absence of construction quality and the inadequacy of the codes that were valid when these buildings were constructed. One of the essential parts of the earthquake hazard mitigation planning is the risk assessment of these buildings, in which a major portion of the population lives.

The huge number of the buildings under consideration made a detailed assessment practically impossible. Several rapid seismic assessment methods have been developed to overcome such problem based on the results of statistical observations of the building responses during past earthquakes. The assessment methods use certain parameters that can be observed by walk-down survey (soft storey, short column, heavy overhangs, pounding, etc.). The collected parameters are used to estimate the building quality based on engineering judgment. There is no analytical study that shows the effects of these parameters on the building behavior.

The non-linear procedures which are developed through the advances in the civil engineering in the last decades make the analytical investigation of these parameters possible. In this study soft storey, short column, heavy overhang and the effect of the transverse steel amount on the seismic behavior of the buildings are investigated for medium rise buildings (4-story and 7-story). For this purpose, 44 non-linear static analyses of 22 buildings and 192 linear dynamic analyses are carried out and some suggestions on the use of these parameters are made.

**Keywords:** Medium-Rise Buildings, Pushover, Rapid Seismic Assessment Methods, Structural Irregularities, Time History Analysis

**Hayri Baytan Özmen**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Teşekkür.....	IV
Özet.....	V
Abstract.....	VI
İçindekiler .....	VII
Şekiller Dizini .....	XI
Çizelgeler Dizini .....	XIV
Simgeler Dizini .....	XVI

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

1.	GİRİŞ.....	1
1.1	Genel.....	1
1.2	Çalışmanın Amacı.....	2
1.3	Çalışmanın Kapsamı.....	3

## İKİNCİ BÖLÜM

### YAPISAL DÜZENSİZLİKLER

2.	YAPISAL DÜZENSİZLİKLER.....	5
2.1	Yumuşak Kat.....	5
2.2	Kısa Kolon.....	9

2.3	Kapalı Çıkma.....	12
-----	-------------------	----

### ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

## HIZLI DEĞERLENDİRME METOTLARI

3.	HIZLI DEĞERLENDİRME METOTLARI.....	15
3.1	Genel.....	15
3.2	İzmir Deprem Senaryosu.....	15
3.2.1	Bina Verilerinin Toplanması.....	15
3.2.2	Toplanan Verilerinin Değerlendirilmesi.....	17
3.2.2.1	Bina Kapasitelerinin Belirlenmesi.....	17
3.2.2.2	Deprem İsteminin Belirlenmesi.....	19
3.2.2.3	Bina Hasar Olasılık Eğrileri.....	21
3.3	Denizli Deprem Senaryosu.....	23
3.3.1	Bina Verilerinin Toplanması.....	23
3.4	FEMA 154.....	26
3.5	Yakut Yöntemi.....	31
3.6	Tübitak İçtag Ymaü İ574.....	34
3.6.1	Sokak Taraması.....	34
3.6.2	Probabilistik Yaklaşım.....	35

### DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

## ANALİZ YÖNTEMLERİ

4.	ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	41
4.1	Genel.....	41
4.2	Doğrusal Analiz Yöntemleri.....	41
4.2.1	Statik Analiz.....	42
4.2.2	Dinamik Analiz.....	42



4.3	Doğrusal Ötesi Analiz Yöntemleri.....	43
4.3.1	Doğrusal Ötesi Statik Analiz.....	43
4.3.2	Doğrusal Ötesi Dinamik Analiz.....	45
4.4	Plastik Mafsalsal.....	46

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### TASARIM VE MODELLEME

5.	TASARIM VE MODELLEME.....	48
5.1	Hazırlanan Modeller.....	48
5.1.1	Referans Binalar.....	48
5.1.2	Yumuşak Kat.....	54
5.1.3	Kısa Kolon.....	54
5.1.4	Tek Taraftan Kapalı Çıkma.....	55
5.1.5	İki Taraftan Kapalı Çıkma.....	56
5.1.6	Bina Modellerinin Özellikleri.....	57
5.2	Doğrusal Ötesi Modelleme.....	58
5.2.1	Mafsalsal Bölgeleri.....	59
5.2.2	Eğilme Mafsalsal.....	60
5.2.2.1	Eğrilik Yoğunlaşması.....	60
5.2.2.2	Eğrilik-Dönme İlişkisi.....	61
5.2.2.3	Plastik Mafsalsal Boyu.....	62
5.2.2.4	Eğilme Mafsalsal Kriterleri.....	63
5.2.2.5	Kolon Eğilme Mafsalsal.....	66
5.2.2.6	Kiriş Eğilme Mafsalsal.....	67
5.2.2.7	Kullanılan Malzeme Modelleri.....	67
5.2.3	Kesme Mafsalsal.....	69
5.2.4	Tanımlanan Mafsalsalın Atanması.....	69
5.2.5	İtme Şekli.....	70
5.3	Zaman Tanım Alanında Analiz.....	71

## ALTINCI BÖLÜM

# ANALİZ SONUÇLARI

6.	ANALİZ SONUÇLARI.....	73
6.1.	Artımsal İtme Analizi.....	73
6.1.1	Referans Binalar.....	73
6.1.2	Yumuşak Kat.....	78
6.1.3	Kısa Kolon.....	81
6.1.4	Tek Taraftan Kapalı Çıkma.....	84
6.1.5	İki Taraftan Kapalı Çıkma.....	87
6.2	Zaman Tanım Alanında Analiz.....	90

## YEDİNCİ BÖLÜM

# SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	94
7.1	Artımsal İtme Analizi Sonuçları.....	94
7.1.1	Etriye Aralığı.....	96
7.1.2	Yumuşak Kat.....	97
7.1.3	Kısa Kolon.....	97
7.1.4	Tek Taraftan Kapalı Çıkma.....	98
7.1.5	İki Taraftan Kapalı Çıkma.....	98
7.1.6	Genel Değerlendirme.....	99
7.2	Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçları.....	99
7.3	Analiz Sonuçlarının Genel Değerlendirmesi.....	100
7.4	Yapılabilecek Çalışmalar İle İlgili Öneriler.....	101
KAYNAKLAR .....		102
ÖZGEÇMİŞ .....		106

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1: Zemin katta duvarların bulunmaması nedeniyle yumuşak kat oluşu.....	6
Şekil 2.2: Yumuşak kat ve istenilen göçme mekanizması.....	7
Şekil 2.3: 2003 Bingöl depreminde yumuşak kat nedeniyle göçen binalar.....	7
Şekil 2.4: 2001 Hindistan Bhuj Depreminde ilk katı yumuşak kat nedeniyle göçmüş bir bina.....	8
Şekil 2.5: Deprem enerjisinin tek bir katta yoğunlaşması.....	8
Şekil 2.6: İki ucu mafsalı bir elemanın serbest cisim diyagramı.....	10
Şekil 2.7: Kolon net açıklığının azaltılması.....	11
Şekil 2.8: 2003 Bingöl depreminde kısa kolon nedeniyle hasar görmüş yapılar.....	12
Şekil 2.9 : 1999 Kocaeli depreminde hasar görmüş bir yapıda merdiven bölgesinde kısa kolon oluşumu.....	12
Şekil 2.10 : 2003 Bingöl depreminde hasar görmüş ağır çıkmalara sahip bir yapı.....	13
Şekil 2.11 : 1999 Armenia Kolombiya Depreminde hasar görmüş ağır kapalı çıkmalara sahip bir yapı.....	14
Şekil 3.1 : İzmir Deprem Senaryosu bina envanter formu.....	18
Şekil 3.2 : Bina yatay yük taşıma kapasite eğrisi.....	19
Şekil 3.3 : Tipik bir idealleştirilmiş kapasite spektrumu.....	20
Şekil 3.4 : Performans noktasının belirlenmesi.....	21
Şekil 3.5 : Tipik bina hasar olasılık eğrileri.....	23
Şekil 3.6 : FEMA 154 veri toplama formu.....	29
Şekil 3.7 : Betonarme bir bina için doldurulmuş FEMA 154 veri toplama formu.....	30

Şekil 4.1 :	İtme şekli ve tipik taban kesmesi-çatı ötelenmesi grafiği.....	44
Şekil 4.2 :	İdealleştirilmiş dayanım-deformasyon eğrisi.....	46
Şekil 5.1 :	Referans 4 ve 7 katlı binaların plan görünümü.....	49
Şekil 5.2 :	4 katlı referans binanın üç boyutlu ve çizgisel görünüşü.....	50
Şekil 5.3 :	Referans binalar plan görünüşü ve kolon isimlendirmesi.....	53
Şekil 5.4 :	4 katlı yumuşak katlı binanın üç ve iki boyutlu görünüşü.....	54
Şekil 5.5 :	4 katlı kısa kolon modelleri.....	55
Şekil 5.6 :	4 katlı referans bina ve tek taraftan kapalı çıkma modelleri.....	56
Şekil 5.7 :	4 katlı referans bina ve iki taraftan kapalı çıkma modelleri.....	57
Şekil 5.8 :	Kolon ve giriş elemanlarda sargılama bölgeleri.....	59
Şekil 5.9 :	Eğilme altında bir betonarme elemanın moment ve eğrilik diyagramı.....	60
Şekil 5.10 :	Eğrilik diyagramının idealleştirilmesi.....	61
Şekil 5.11 :	İdealleştirilmiş dayanım-deformasyon eğrisi.....	64
Şekil 5.12 :	Kriterlerin moment-eğrilik grafiği üzerinde belirtilmesi.....	66
Şekil 5.13 :	Mafsalların eleman üzerine atanması.....	70
Şekil 6.1 :	4 katlı referans bina 10 ve 20 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri.....	74
Şekil 6.2 :	7 katlı referans bina 10 ve 20 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri.....	76
Şekil 6.3 :	4 ve 7 katlı referans bina 10 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri.....	77
Şekil 6.4 :	4 katlı yumuşak katlı bina 10 ve 20 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri.....	79
Şekil 6.5 :	7 katlı yumuşak katlı bina 10 ve 20 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri.....	80
Şekil 6.6 :	4 katlı K4dkk modelleri 10 ve 20 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri.....	81
Şekil 6.7 :	4 katlı K4dkk2 modelleri 10 ve 20 cm etriye için x ve y yönü kapasite eğrileri.....	84
Şekil 6.8 :	7 katlı kısa kolon modelleri 10 ve 20 cm etriye için x ve y yönü kapasite eğrileri.....	84

Şekil 6.9 :	4 katlı tek taraftan kapalı çıkma modelleri 10 ve 20 cm etriye için x ve y yönü kapasite eğrileri.....	85
Şekil 6.10 :	7 katlı tek taraftan kapalı çıkma modelleri 10 ve 20 cm etriye için x ve y yönü kapasite eğrileri.....	87
Şekil 6.11 :	4 katlı iki taraftan kapalı çıkma modelleri 10 ve 20 cm etriye için x ve y yönü kapasite eğrileri.....	88
Şekil 6.12 :	7 katlı iki taraftan kapalı çıkma modelleri 10 ve 20 cm etriye için x ve y yönü kapasite eğrileri.....	89

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 : Bina taşıyıcı sistem kodları.....	16
Çizelge 3.2 : Kalite sınıflandırması puan tür ve ağırlıkları.....	24
Çizelge 3.3 : Bitişik/ayrık olma durumu puanlaması.....	24
Çizelge 3.4 : Yapım yılı puanlaması.....	25
Çizelge 3.5 : Kapalı çıkma puanlaması.....	25
Çizelge 3.6 : Yumuşak kat puanlaması.....	25
Çizelge 3.7 : Kalite sınıfı puanlaması.....	25
Çizelge 3.8 : FEMA 154 bina taşıyıcı sistem grupları.....	26
Çizelge 3.9 : FEMA 154 Taşıyıcı sistem başlangıç puanları.....	27
Çizelge 3.10 : FEMA 154 puanlamasında esas alınan bina özellikleri.....	28
Çizelge 3.11 : $C_M$ için önerilen değerler.....	33
Çizelge 3.12 : Sokak Taraması parametreleri.....	35
Çizelge 3.13: Sokak Taraması puanlama değerleri.....	35
Çizelge 3.14 : Zemin türü ve faya olan mesafeye bağlı $CM$ değerleri.....	40
Çizelge 5.1 : Referans binaların tasarım kriterleri.....	50
Çizelge 5.2 : 4 katlı referans bina kolon bilgileri.....	52
Çizelge 5.3 : 7 katlı referans bina kolon bilgileri.....	53
Çizelge 5.4 : Hazırlanan 4 katlı modellere ait bilgiler.....	58
Çizelge 5.5 : Hazırlanan 7 katlı modellere ait bilgiler.....	58
Çizelge 5.6 : Moment-eğrilik ilişkisinin tanımlanmasında kullanılan kriterler...	65
Çizelge 5.7 : Zaman tanım alanında analizler için kullanılan ivme kayıtlarının ait olduğu depremler.....	72
Çizelge 6.1 : 4 katlı referans bina "Birim Enerji" değerleri.....	75
Çizelge 6.2 : 7 katlı referans bina "Birim Enerji" değerleri.....	76
Çizelge 6.3 : 4 katlı yumuşak kat modeli "Birim Enerji" değerleri.....	79
Çizelge 6.4 : 7 katlı yumuşak kat modeli "Birim Enerji" değerleri.....	81

Çizelge 6.5 :	4 katlı tek taraftan kapalı çıkma modeli "Birim Enerji" değerleri...	86
Çizelge 6.6 :	7 katlı tek taraftan kapalı çıkma modeli "Birim Enerji" değerleri...	87
Çizelge 6.7 :	4 katlı iki taraftan kapalı çıkma modeli "Birim Enerji" değerleri...	88
Çizelge 6.8 :	7 katlı iki taraftan kapalı çıkma modeli "Birim Enerji" değerleri...	89
Çizelge 6.9 :	4 katlı modeller x yönü zaman tanım alanında analiz deplasman istemleri.....	90
Çizelge 6.10 :	4 katlı modeller y yönü zaman tanım alanında analiz deplasman istemleri .....	91
Çizelge 6.11 :	7 katlı modeller x yönü zaman tanım alanında analiz deplasman istemleri .....	92
Çizelge 6.12 :	7 katlı modeller y yönü zaman tanım alanında analiz deplasman istemleri .....	93
Çizelge 7.1 :	4 katlı modeller artımsal itme analizi sonuçları.....	95
Çizelge 7.2 :	7 katlı modeller artımsal itme analizi sonuçları.....	96
Çizelge 7.3 :	Önerilen "düzensizlik katsayısı" değerleri.....	99
Çizelge 7.4 :	Zaman tanım alanında analiz deplasman istemi oranları.....	99

## SİMGELER DİZİNİ

$(A)$	Eleman efektif alanı
$(A_{col})_x$	Kolonun x eksenine göre hesaplanan efektif alanı
$(A_{col})_y$	Kolonun y eksenine göre hesaplanan efektif alanı
$(A_f)$	Toplam kat alanı
$(A_{mw})_x$	Dolgu duvarın x eksenine göre hesaplanan efektif alanı
$(A_{mw})_y$	Dolgu duvarın y eksenine göre hesaplanan efektif alanı
$(A_{sw})_x$	Perdenin x eksenine göre hesaplanan efektif alanı
$(A_{sw})_y$	Perdenin y eksenine göre hesaplanan efektif alanı
$(A)$	Eleman efektif alanı
$(A_{col})_x$	Kolonun x eksenine göre hesaplanan efektif alanı
$(A_{col})_y$	Kolonun y eksenine göre hesaplanan efektif alanı
$(A_f)$	Toplam kat alanı
$A$	Eleman alanı
$A_{çıkma}$	Her bir kattaki çıkma alanlarının toplamı
$A_{gf}$	Binanın zemin kat alanı
$A_{tf}$	Binanın toplam zemin kat alanı
$A_{tr}$	Tipik bir kolonun etkili alanını
$A_w$	Boşluk içermeyen dolgu duvarların toplam alanı
$A$	Eleman alanı
BCPI	Temel Kapasite İndeksi
BDP	Bina deprem puanı
$b_w$	Eleman genişliği
$c$	Sönüm katsayısı
$C_A$	Yapısal düzensizlik katsayısı
$C_{AF}$	Taşıyıcı sistem elemanlarının planda ve düşeyde süreksizliği düzensizliği katsayısı
$C_{AP}$	Planda düzensizlik ve çok miktarda ağır çıkma nedeniyle



	oluşabilecek burulma düzensizliği katsayısı
$C_{AS}$	Yumuşak kat katsayısı
$C_{ASC}$	Kısa kolon katsayısı
$C_{ij}$	Binanın yapıldığı tarihte geçerli olduğu varsayılan yatay dayanım katsayısı
$C_M$	İnşaa kalitesi katsayısı
$CM$	Zemin türü ve fay uzaklığı katsayısı
$CPI$	Kapasite İndeksi
$CV_{IO}$	Hemen kullanım sınır değeri
$CV_{LS}$	Can güvenliği sınır değeri
$D$	Sembolik olarak hasar
$d_{bl}$	Boyuna donatı çapı
$E$	Elastisite modülü
$f_{cc}$	Sargılı beton basınç dayanımı
$f_{ck}$	Karakteristik beton basınç dayanımı
$f_{ctk}$	Beton karakteristik çekme dayanımı
$F_y$	Akma dayanımı
$f_{ye}$	Donatı akma dayanımı
$f_{yh}$	Yanal donatı akma dayanımı
$g$	Yer çekimi ivmesi
$G$	Ölü yük
$h$	Eleman derinliği
$H$	Bina yüksekliği
$H_1$	Zemin kat yüksekliği
$H_2$	1. normal kat yüksekliği
$HBP$	Hız bölgesi puanı
$h^1$	Sargılı çekirdek betonu eni
$HI_{IO}$	Hemen kullanım hasar indeksi
$HI_{LS}$	Can güvenliği hasar indeksi
$H_{kiriş}$	Kiriş yüksekliği
$H_{kolon}$	Kolonun, üzerine mafsal atanan kirişe dik boyutu
$h_{perde}$	Perde duvar yüksekliği

I	Bina taşıyıcı sistem kodu
$(I_{col})_x$	Kolonun x eksenine (simetri eksenine) göre hesaplanan atalet momenti
$(I_{col})_y$	Kolonun y eksenine (simetri eksenine) göre hesaplanan atalet momenti
$(I_{sw})_x$	Perdenin x eksenine (simetri eksenine) göre hesaplanan atalet momenti
$(I_{sw})_y$	Perdenin y eksenine (simetri eksenine) göre hesaplanan atalet momenti
k	Rijitlik
KÇ	Kapalı çıkma
L	Elemanın net uzunluğu
$L_0$	Plastik mafsal moment sıfır noktası arası mesafe
$L_p$	Plastik mafsal boyu
m	Kütle
$M_{cr}$	Çatlama momenti
$m_i$	i'nci katın kütlesi
$M_n$	Nominal moment kapasitesi
$m_{nlsi}$	Minimum normalize edilmiş yatay dayanım indeksi
$m_{nlstfi}$	Minimum normalize edilmiş yatay rijitlik indeksi
$M_{p1}$	Eleman sol ucunun plastik moment kapasitesi
$M_{p2}$	Eleman sağ ucunun plastik moment kapasitesi
$M_s$	Çekme donatısının aktığı noktadaki moment dayanımı
$M_u$	Nihai moment
$M_y$	Akma moment
MYİ	Maksimum yer ivmesi
n	Bina kat adedi
$nf_x$	Plastik mafsalın göçme anındaki plastik dönmesi
$nf_y$	Zemin katta y doğrultusunda sürekli çerçeve sayısı
nrs	Normalize edilmiş çerçeve süreklilik puanı
or	Çıkma oranı
PG <sub>10</sub>	Hemen kullanım nihai performans durumu değeri

$PG_{LS}$	Can güvenliği nihai performans durumu değeri
$PGV$	Maksimum yer hızı
$Q$	Hareketli yük
$R$	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$s$	Etriye aralığı
$S(T)$	Spektrum katsayısı
$S_a$	Spektral ivme
$S_{a \max}$	Spektral ivme maksimum değeri
$S_d$	Spektral deplasman
$S_{d,ds}$	Bina hasarının ilgili hasar düzeyine eriştiği duruma karşı gelen medyan spektral yerdeğiştirme değeri
$S_h$	Etriye aralığı
$ssi$	Yumuşak kat indeksi
$T$	Binanın birinci doğal titreşim periyodu
$T_A, T_B$	Spektrum karakteristik periyotları
$V$	Kesme kuvveti
$V_b$	Binaya etkiyen toplam deprem yükü (Taban kesme kuvveti)
$V_c$	Bina kesme dayanımı
$V_{ci}$	Eleman kesme dayanımı (etriye katkısı olmadan)
$V_{y\text{önetmelik}}$	İncelenen binanın tabi olduğu yönetmeliğin elastik tasarım kuvveti
$V_t$	Taban kesmesi
$V_y$	Bina akma dayanımı
$V_{yw}$	Dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasitesine katkısını da içeren yatay dayanım değeri
$W$	Bina ağırlığı
$W_{sismik}$	Bina sismik ağırlığı
$x$	Kütlenin yere göre yerdeğiştirmesi
$\ddot{x}_g$	Deprem yer ivmesi
$Y$	Yapım yılı grubu
$Z3$	Zemin cinsi
$\alpha$	Dayanım azaltma katsayısı ve çekme dayanımının kesme dayanımına çevrilmesi etkilerini içeren katsayı

$\beta_{ds}$	İlgili hasar düzeyi için spektral yer değiştirme değerlerinin doğal logaritmalarına ait standart sapma
$\Delta$	Deplasman
$(\Delta_i)_{ort}$	Binanın i'inci katındaki ortalama görelî kat ötelemesi
$\Delta_y$	Akma deplasmanı
$\varepsilon_c$	Beton birim basınç kısalması
$\varepsilon_{cc}$	Çekirdek betonu birim basınç deformasyonu
$\varepsilon_{co}$	Betonun maksimum basınç dayanımına ulaştığı birim kısalma değeri
$\varepsilon_{cu}$	En üst çekirdek beton lifi için izin verilen maksimum şekil değiştirme değeri
$\varepsilon_s$	Çelik birim deformasyon değeri
$\varepsilon_{su}$	Donatı kopma uzaması
$\varepsilon_u$	Betonun göçme birim kısalma değeri
$\Phi$	Birikimli (kümülatif) standart normal dağılım fonksiyonunu sembolü
$\phi$	Eğrilik
$\phi_s$	Kesitte bulunan çekme donatısının ilk aktığı andaki eğrilik değeri
$\phi_u$	Toplam (elastik + plastik) eğrilik
$\phi_y$	Akma anındaki eğrilik
$\gamma_{ki}$	Akma dayanımının tasarım dayanımına oranı
$\varphi_i$	i'nci kat modal yer değiştirme değeri
$\lambda_{ki}$	Nihai dayanımın akma dayanımına oranı
$\theta$	Dönme
$\theta_p$	Mafsalda oluşan plastik dönme
$\sigma_c$	Beton basınç gerilmesi
$\eta_k$	Rijitlik düzensizliği katsayısı

# BİRİNCİ BÖLÜM

## GİRİŞ

### 1.GİRİŞ

#### 1.1 Genel

Son birkaç on yıl içinde ülkemiz sanayileşmenin, hızlı nüfus artışı ve kırsal kesimden büyük kentlere göçün yaşandığı bir dönemden geçmiştir. Bunların sonucunda büyük bir konut ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyacın giderilmesi için hızlı bir yapılaşmaya girişilmiş fakat inşa edilen yapıların kalitesine ve o dönemde yürürlükte olan yönetmeliklere uygun olup olmadığına önem verilmemiştir. Bu şekilde gerekli ölçüde veya hiç mühendislik hizmeti almadan, hiçbir güvenlik endişesi taşımadan çok büyük miktarda bina yapılmıştır. Öyle ki şu an mevcut yapı stokunun büyük bölümü bu şekilde inşa edilmiş yapılardan oluşmaktadır.

Aynı dönem içerisinde bilim ve teknikteki gelişmeler ile inşaat mühendisliğinde de büyük ilerlemeler olmuştur. Yapısal davranışın ve deprem olgusunun daha iyi anlaşılması ile yönetmelik ve şartnamelerimiz daha ağır hükümler içeren yenileri ile değiştirilmiştir. Bu durum yukarıda sözü edilen daha hafif hükümler içeren eski şartname ve yönetmelik koşullarını bile taşımayan yapılar hakkındaki kaygıları arttırmaktadır.

Türkiye gibi çok büyük kısmı ciddi deprem tehlikesi altında olan bir ülkede bu doğa olayının sonucunda oluşabilecek kayıpların en aza indirilmesi ülkemizin önemli bir meselesidir. Nüfusun önemli bir kısmını içinde barındıran bu tür yapıların güvenlik seviyesinin belirlenmesi deprem afetine karşı yapılacak hazırlıkların en önemli ve başta gelen safhalarından biridir.

Ancak incelenmesi gereken yapı stokunun büyüklüğü bu değerlendirmenin yapılabilmesinin önündeki en büyük engeldir. Bu denli çok sayıdaki binanın detaylı şekilde incelenmesi mümkün değildir. Bu nedenle yapıların güvenlik seviyeleri hakkında fikir verebilecek, çok ayrıntılı bilgilere ihtiyaç duymayan hızlı ve pratik biçimde uygulanabilecek metotlara gereksinim duyulmuştur. Belirli kabullere dayanarak, çok detaya inilmeden yapıların güvenlik seviyesinin belirlenmesini sağlayan bu yöntemlere “Hızlı Değerlendirme Yöntemleri” denilmektedir.

Bu amaçla ülkemizde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Özcebe, 2004; İzmir Deprem Senaryosu, 2000; İnel ve diğ., 2004; Yakut, 2004). Dünyanın bir çok ülkesi de benzer sorunlara sahip olduğu için benzeri yöntemler yabancı ülkelerde de mevcuttur (HAZUS, 1999; FEMA 154 (ATC 21), 1988; FEMA 310, 1998). Bu yöntemlere ikinci bölümde daha ayrıntılı olarak yer verilecektir.

## 1.2 Çalışmanın Amacı

Geliştirilen hızlı değerlendirme yöntemlerinin bir çoğu yapıda bulunan kısa kolon, yumuşak kat, ağır kapalı çıkmalar ve benzeri düzensizlikler dikkate alınarak yapıların güvenlik seviyesi hakkında tahminlerde bulunmaktadır. Bu düzensizlikler arasında en yaygın kullanılanlar kısa kolon, yumuşak kat, ağır çıkmalar ve çekiçleme etkileridir. Bunlardan her birine belirli katsayılar verilerek yapı davranışı üzerinde belirli oranlarda olumsuzluklara neden olarak güvenlik düzeyini düşürecekleri varsayılmaktadır.

Bu tip yöntemlerin tamamı çeşitli depremlerden sonra yapılan incelemelerden elde edilen istatistiksel verilere dayanmaktadır. Depremden sonra incelenen binalarda bulunan düzensizliklerin girdi parametreleri olarak alındığı, hasar seviyesinin de sonuç olarak kabul edildiği denklemlerin istatistiki yöntemlerle ve çeşitli mühendislik yaklaşımları ve tecrübeler ışığında belirlenmesi ile oluşturulmaktadır.

Fakat son yıllarda doğrusal ötesi yöntemlerin geliştirilmesi ve bilgisayarların hesaplama güçlerindeki büyük artış neticesinde bu düzensizliklerin analitik olarak incelenmesi de mümkün hale gelmiştir.

Bu çalışmanın amacı: Hızlı Değerlendirme Yöntemlerinin bir çoğunda kullanılan, yönetmeliklerde çeşitli hükümlere konu olan kısa kolon, yumuşak kat, ağır kapalı çıkma düzensizliklerinin depremlerde en büyük risk gurubunu oluşturan orta katlı yapılar üzerindeki etkilerinin analitik olarak daha iyi anlaşılmasının sağlamaktır. Bu düzensizliklerin kapasite ve talep üzerindeki etkilerinin incelenmesi ile hızlı değerlendirme yöntemleri ve yönetmelik hükümlerinin daha doğru ve gerçekçi bir yapıya kavuşması sağlanabilecektir. Ayrıca incelenen her düzensizlik durumu iki farklı etriye aralığı için modellenerek yanal donatı miktarının yapı davranışı üzerindeki etkisinin de belirlenmesi hedeflenmiştir.

## 1.2 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmada 4 ve 7 katlı 12m x 16m boyutunda her iki yönde de 4 açıklıktan oluşan betonarme binalar incelenmiştir. İncelenen yapılar Türkiye yapı stokunun çoğunluğunu oluşturması ve depremlerde en büyük risk grubunu oluşturan yapılar olması nedeniyle 1975 Afet Yönetmeliği' ne göre 1. derece deprem bölgesinde ve Z3 zemin üzerinde tasarlanmıştır.

Öncelikle hiçbir düzensizlik içermeyen 4 ve 7 katlı iki referans bina tasarlanmıştır. Bu binalar tüm diğer etkilerin minimize edilmesi için her iki yönde simetriktir. Daha sonra bu yapılara çeşitli düzensizlikler eklenerek; düzensizliğe sahip binalar ve referans binalar arasında karşılaştırmalar yapılmasına olanak sağlanmıştır. Kısa kolon davranışı için referans binaya zemin katta yarım perdeler eklenmiş, yumuşak kat için zemin kat yüksekliği artırılmış, kapalı çıkma için önce bir tarafa, sonra binanın çapraz iki tarafına kapalı çıkmalar ilave edilmiştir.

Her bir durumda enine donatının davranışa etkisinin incelenebilmesi için referans binalar ve düzensizliğe sahip binalar yeterli derecede sargılanmış bir kesiti temsilen 10 cm ve sargılaması yetersiz bir kesiti temsil etmesi için uygulamada rastlanan şekliyle 20 cm olmak üzere iki farklı etriye aralığı için modellenmiştir.

Hazırlanan bu modeller, kapasiteler arasındaki farkın belirlenmesi için Doğrusal Ötesi Statik Analize tâbi tutulmuştur. Her bir düzensizlik durumunun deprem talebi üzerindeki etkisinin incelenebilmesi içinde bu modeller üzerinde 16 farklı gerçek depremin ivme kayıtları kullanılarak Zaman Tanım Alanında Elastik Analiz yapılmıştır.

Kısa kolon davranışının daha iyi açıklanabilmesi amacıyla 4 katlı kısa kolon modelleri iki değişik yarım perde yüksekliği için hazırlanmıştır.

Tüm çalışmada 44 Doğrusal Ötesi Statik Analiz ve 192 Zaman Tanım Alanında Elastik Analiz sonucu değerlendirilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen analiz sonuçları birbirleriyle ve referans binalar ile karşılaştırılmıştır.



## İKİNCİ BÖLÜM YAPISAL DÜZENSİZLİKLER

### 2. YAPISAL DÜZENSİZLİKLER

Bu bölümde çalışmanın kapsamı içinde bulunan yumuşak kat, kısa kolon, ağır çıkma düzensizlik durumları incelenecektir.

#### 2.1 Yumuşak Kat

Yumuşak kat Afet Yönetmeliği'nin 6.3.2.1 nolu maddesinde : “Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı  $\eta_k$  'nin 1.5'tan fazla olması durumu olarak“ tanımlanmaktadır (Afet Yönetmeliği, 1998).

$$\eta_{ki} = \frac{(\Delta_i)_{ort}}{(\Delta_{i+1})_{ort}} > 1.5 \quad (2.1)$$

$\eta_{ki}$  = i'inci katta tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı

$(\Delta_i)_{ort}$  = Binanın i'inci katındaki ortalama görelî kat ötelemesi

Yumuşak kat son yıllarda ülkemizde yaşanan depremlerde betonarme binaların yıkılma nedenlerinin başında gelmektedir. (Adalier ve Aydingun, 2001; Sezen ve diğ. 2003; Doğangün, 2004). Bu düzensizlik dünyada da önde gelen hasar nedenleri arasındadır. Bu nedenle bir çok sismik değerlendirme raporunda yer almaktadır (A

summary report of the January 17 1995 Kobe Earthquake, 1995; Yoshimura ve Kuroki, 2003; Goel, 2003)

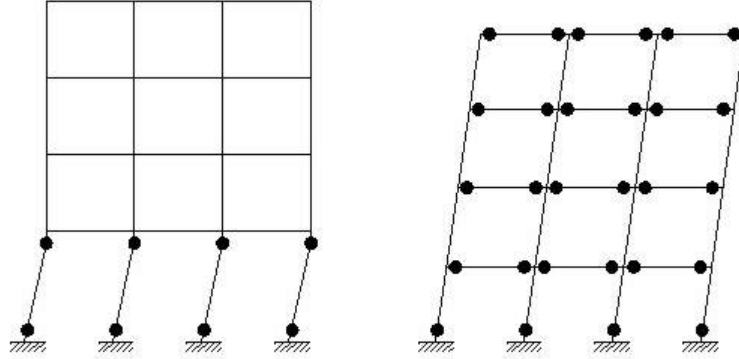
Bu düzensizlik ülkemizde oldukça yaygın sayılabilecek bir durumdur. Bunun başlıca nedeni binaların zemin katlarının Şekil 2.1 de olduğu gibi otopark için veya dükkan olarak ticari amaçlar için kullanılmasıdır. Zemin katlarda vitrin olarak kullanmak amacıyla dış duvarlar yerine cam kullanılmakta, iç duvarlar ise geniş alanlara ihtiyaç duyulması nedeniyle üst katlara oranla çok az yapılmaktadır. Bir üst katta ise hemen iç ve dış duvarların inşa edilmiş olması düşeyde bir rijitlik düzensizliğine yol açılmaktadır.



Şekil 2.1 : Zemin katta duvarların bulunmaması nedeniyle yumuşak kat oluşumu

Oluşan bu rijitlik düzensizliği özellikle perdesiz yapılarda deprem güvenliği açısından oldukça ciddi sorunlara yola açmaktadır. Deprem yüklemesi altında bu rijitlik düzensizliği nedeniyle zemin katta oldukça büyük deformasyon talepleri oluşmakta ve deprem enerjisi tek bir katta yoğunlaşmaktadır. Şekil 2.2b’de görülen çerçevede deprem enerjisi katlara düzgün olarak dağılmış plastik mafsallar yoluyla tüketilmektedir bu sayede yapı stabilitesi bozulmadan elde edilebilecek en yüksek sayıda plastik mafsal kullanılarak büyük miktarda enerji sönmüleyebilmektedir. Fakat Şekil 2.2a’da görülen çerçevede oluşan yumuşak kat mekanizması nedeniyle oluşan oldukça az sayıdaki plastik mafsal dahi yapı stabilitesinin kaybına sebep olmaktadır. Oluşan az sayıda

plastik mafsal nedeniyle enerji sönümü de zorlaşmaktadır. Şekil 2.3’de 2003 Bingöl depreminde yumuşak kat nedeniyle göçmüş olan binalar görülmektedir.



a) Yumuşak Kat

b) Düzenli çerçeve

Şekil 2.2 : Yumuşak kat ve istenilen göçme mekanizması



Şekil 2.3 : 2003 Bingöl depreminde yumuşak kat nedeniyle göçen binalar

Genellikle zemin katta oluşsa da yumuşak kat mekanizması yapıda yanıl rijitlik ve dayanımda ani değışikliklerin olduğu üst katlarda da görülebilir. Bunun ilginç bir örneği 17 Ocak 1995 Kobe depreminde görülmüştür (Watanabe, 1997). Bu şehirde bulunan 8 katlı bir binanın 6. katı depremde göçmüştür. Yapılan incelemede yapının ilk 5 katının çelik kılıfla kaplı betonarme kolonlarla yapıldığı, daha sonraki 3 katın ise sadece betonarme elemanlardan imal edildiği tespit edilmiştir. Aynı depremde 12 katlı bir binada da 5. kat seviyesinde göçme yaşanmıştır. Görüldüğü gibi oldukça üst katlarda da olsa yapı sistemindeki ani rijitlik değışimleri yumuşak kat mekanizmasına yola açabilmektedirler.

Şekil 2.4'te ve Şekil 2.5'te sol tarafta görülen bina yumuşak kat sonucu deprem enerjisinin tek bir noktada yoğunlaşmasına iyi bir örnek teşkil etmektedir. Yapının zemin katı deprem sonucu çökmüş durumda olmasına rağmen üst katların camları dahi kırılmamıştır.



Şekil 2.4 : 2001 Hindistan Bhuj Depreminde ilk katı yumuşak kat nedeniyle göçmüş bir bina



Şekil 2.5 : Deprem enerjisinin tek bir katta yoğunlaşması

Şekil 2.5'te sağ tarafta bulunan binada ise yumuşak katın farklı bir oluşum nedeni görülmektedir. Bu yapıda diğer katlarda bilinen kirişli döşemenin kullanılmış olmasına rağmen ikinci katta asmolen döşeme sistemi kullanılmıştır. Bu durum bu katta kirişlerin derinliğinin düşmesi ile kolonların serbest boyunun artmasına ve daha sıkı kirişler

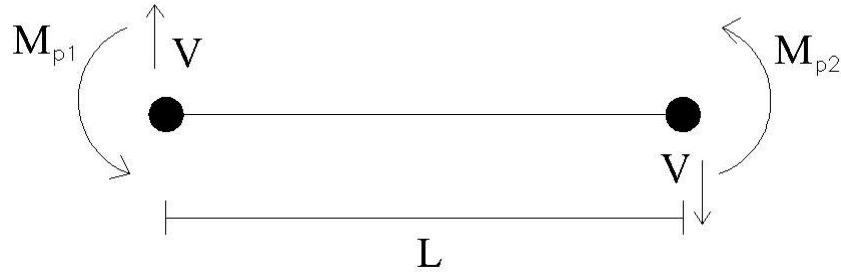
sebebiyle kolon uçlarının daha kolay dönebilmesine yol açmıştır. Bu nedenle bu katta ötelenme rijitliği azalarak yumuşak kat oluşmuştur. Şekilde ikinci kat seviyesinde bulunan dolgu duvarların diğer katlardan daha fazla hasar almış olduğu rahatlıkla görülebilmektedir.

Sonuç olarak hasar nedenlerinin başlıca sebebi olan yumuşak katın bir çok farklı sebebe bağlı olarak yapıda ani rijitlik değişimleri ile oluştuğu ve deprem enerjisinin tek bir noktada tüketilmeye çalışılmasıyla yapının göçmesine neden olduğu söylenebilir.

## 2.2 Kısa Kolon

Betonarme denilen yapı malzemesi bilindiği üzere beton ve çelikten oluşmaktadır. Bu iki malzeme birbirini tamamlayan, çok farklı özellikler taşır. Beton kolay şekil verilebilen bir malzeme iken çelik ise betonun zayıf yanı olan çekme gerilmelerine karşı dayanıklı bir malzemedir. Fakat deformasyon açısından en önemli farkları çeliğin oldukça sünek betonun ise oldukça gevrek bir malzeme oluşudur. Bu durumda betonarme bir elemanda göçme davranışını beton belirliyorsa göçme gevrek, çelik belirliyor ise sünek olacaktır denilebilir. Betonarme yapılarda göçme davranışına çeliğin hakim olması ancak eğilme etkisi altında elemanlarda plastik mafsallar oluşumuyla mümkün olabilir. İşte kısa kolon davranışı betonarme elemanlarda donatının akması ve kesitin dönmesi neticesinde uzayarak enerji sönmemesine fırsat kalmadan elemanın kesme dayanımının aşılması neticesinde göçme durumuna gelmesidir. Oldukça gevrek bir göçme olduğundan ve stabilite kaybına yol açtığından çok olumsuz bir davranış şeklidir.

Bu davranışa kısa kolon denilmesinin nedeni elemanın kesme neticesinde göçüp göçmemesinin elemanın boyu ile alakalı olmasıdır. Statik kuralları gereği hareketsiz bir elemanda her an için moment dengesi olmalıdır. Şekil 2.6 da görülen iki ucunda plastik mafsal oluşarak momentlerin sabitlendiği bir eleman için moment denge denklemini yazalım (Denklem 2.2a).



Şekil 2.6 : İki ucu mafsallı bir elemanın serbest cisim diyagramı

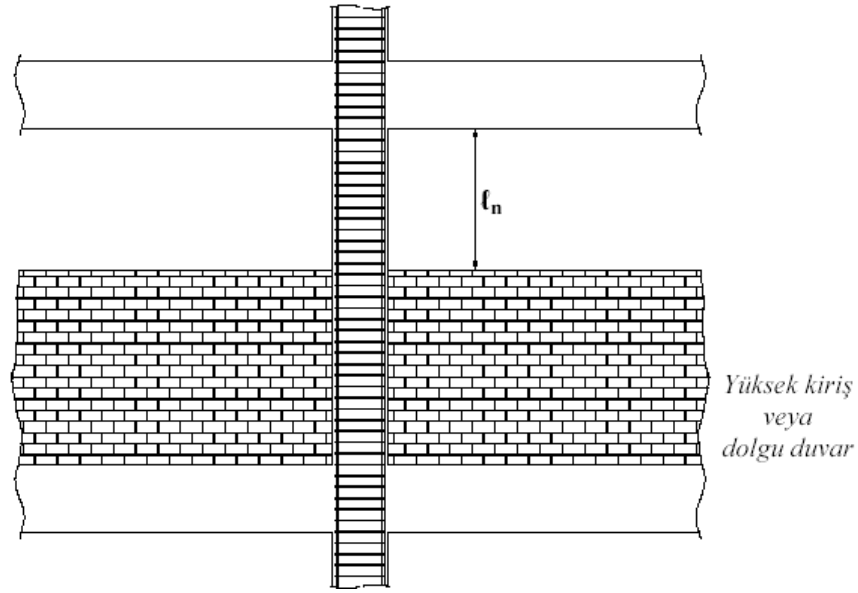
$$M_{p1} + M_{p2} = V.L \quad (2.2a)$$

$$V = \frac{M_{p1} + M_{p2}}{L} \quad (2.2b)$$

$M_{p1}$  = Eleman sol ucunun plastik moment kapasitesi,  $M_{p2}$  = Eleman sağ ucunun plastik moment kapasitesi,  $V$  = Kesme kuvveti,  $L$  = Elemanın net uzunluğudur.

Bir elemanın uçlarında moment kapasitesine ulaşıldığında plastik mafsallar oluşarak bu noktalarda moment sabitlenecektir. Denklem 2.2a'ya göre toplam moment sabitlendiğinde eleman boyu da sabit olduğuna göre kesme kuvveti de sabit hale gelerek daha fazla artamayacaktır. Bu denklemden kesme kuvveti çekilirse (Denklem 2.2b) elemanın alacağı maksimum kesme kuvvetinin elemanın boyu ile ters orantılı olduğu açıkça görülmektedir. Bu sebeple elemanın boyu kısaldıkça üzerine gelen kesme kuvveti artacaktır.

1997 Afet Yönetmeliği'nde de kolonların kesme dayanımının hesaplanması için Denklem 2.2b Bölüm 7'de Denklem 7.5 olarak verilmektedir. Fakat akmanın kirişlerde olduğu durumda  $M_{p1}$  ve  $M_{p2}$  kirişler aktığında toplam momentten kolonlara düşen pay olarak alınacaktır. Pekleşmeyle plastik mafsallarda moment artışının dikkate alınabilmesi için eleman nominal moment kapasitelerinin 1.4 katının dikkate alınmasının gerektiği belirtilmektedir.



Şekil 2.7 : Kolon net açıklığının azaltılması

Elemana gelen maksimum kesme kuvvetinin net açıklık ile ters orantılı olduğu belirtilmişti. Yani eleman net açıklığı özellikle kolonlar için yanlarına eklenen başka elemanlar ile Şekil 2.7 de olduğu gibi kısaltıldığında veya iki ucu arasında başka bir eleman bağlandığında keme kuvveti de arttırılmış olmaktadır. Yurdumuzda özellikle projesinde olmamakla beraber bodrum katlarda toprak seviyesine kadar perde, üst kısmın dolgu duvar yapılması veya bant pencereler bırakılması ile bu durum sıkça görülebilmektedir (Şekil 2.8). Merdiven bölgesinde bulunan kolonlara saplanan merdiven kirişleri veya döşemeleri de kısa kolon oluşturmaktadır (Şekil 2.9). Çok kısa kolonlarda sık etriye yerleştirilse bile oluşan kesme kuvvetini karşılamak mümkün olmaz.

Kısa kolon ülkemiz ve dünyada bir çok binanın deprem sırasında hasar görmesine yol açmıştır (Doğangün, 2004; Santiago ve diğ., 2003; Watanabe, 1997). Bu sebeple önemli yapısal düzensizlikler arasında yer almaktadır.



Şekil 2.8 : 2003 Bingöl depreminde kısa kolon nedeniyle hasar görmüş yapılar



Şekil 2.9 : 1999 Kocaeli depreminde hasar görmüş bir yapıda merdiven bölgesinde kısa kolon oluşumu

### 2.3 Kapalı Çıkma

Ülkemizde bir çok yapıda imar mevzuatının da izin vermesiyle zemin kat üstündeki yapılarda kat alanın arttırılması yoluna gidilmektedir. Bunun içinde yapının bir veya birkaç kenarında çıkmalar inşa edilmektedir. Kapalı çıkmaların binanın ağırlık ve rijitlik merkezleri arasındaki farkı büyütebileceği, meydana gelen ağırlık artışının binanın deprem davranışını etkileyeceği bilinmektedir. Geçmiş depremlerde bunun örneklerine rastlanmıştır (Doğangün, 2004; Santiago ve diğ., 2003).





Şekil 2.10 : 2003 Bingöl depreminde hasar görmüş ağır çökmelere sahip bir yapı

Ayrıca depremlerin düşey ivmeleri bazı depremlerde büyük değerlere ulaşabilmektedir. Bu düşey ivmeler altında çıkma elemanlar bağlı buldukları yapı elemanlarının hasar almasına yol açabilmektedir (Şekil 2.10).

Ağır çökmelere sahip binaların geçmiş depremlerde düzgün cepheye sahip binalara oranla daha fazla hasara uğradıkları gözlenmiştir (Şekil 2.11) (Özcebe, 2004; Sucuoğlu ve Yazgan, 2003). Güney Özcebe tarafından hazırlanan Deprem Güvenliğinin Saptanması İçin Yöntemler Geliştirilmesi TÜBİTAK İÇTAG YMAÜ İ574 Numaralı Araştırma Projesi Sonuç Raporu'nda 3 ten fazla katlı yapılar için ağır çökmeler kısa kolondan daha önemli bir olumsuzluk olarak öngörülmektedir.



Şekil 2.11 : 1999 Armenia Kolombiya Depreminde hasar görmüş ağır kapalı çıkmalara sahip bir yapı

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM HIZLI DEĞERLENDİRME METOTLARI

### 3. HIZLI DEĞERLENDİRME METOTLARI

#### 3.1 Genel

Birinci bölümde de bahsedilen nedenlerle bir çok hızlı değerlendirme metodu geliştirilmiştir. Bunlar arasında Hassan İndeks (Hassan ve Sözen, 1997) gibi yapısal düzensizlikleri dikkate almayan metotlar olduğu gibi, yapısal düzensizlikleri değişik şekillerde dikkate alan metotlar da mevcuttur. Bu bölümde çeşitli düzensizliklerin ne şekilde dikkate alındığına örnekler verilmesi bakımından bazı metotlardan bahsedilecektir.

#### 3.2 İzmir Deprem Senaryosu

Bu kısımda İzmir kentinde meydana gelebilecek olası depremde hasar durumunun tespit edilmesi amacıyla gerçekleştirilen deprem senaryosu çalışmasında binaların değerlendirmesinde kullanılan yöntem açıklanacaktır. Bu yöntem bina verilerinin toplanması ve toplanan verilerin değerlendirilmesi olarak iki bölümde incelenebilir.

##### 3.2.1 Bina Verilerinin Toplanması

İzmir kenti bina verilerinin toplanması işi İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi'nin uzman mühendis üyelerinden oluşan ekiplerce gerçekleştirilmiştir. Bu veri toplama işlemi için binalar çeşitli özelliklerine göre çeşitli gruplara ayrılmıştır.

Öncelikle binalar taşıyıcı sistemlerine göre 6 değişik sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Bina taşıyıcı sistem kodları

<b>Bina taşıyıcı sistem kodu (I)</b>	<b>Bina taşıyıcı sistemi ve kat sayısı</b>
(I = 1)	BA1 – Betonarme bina : 1 - 2 katlı
(I = 2)	BA2 – Betonarme bina : 3 - 5 katlı
(I = 3)	BA3 – Betonarme bina : 6 ve daha fazla katlı
(I = 4)	YG1 – Yığma Bina : 1 - 2 katlı
(I = 5)	YG2 – Yığma Bina : 3 ve daha fazla katlı
(I = 6)	DGR – Diğer taşıyıcı sistemli binalar

Yapım ve proje yılı olarak binalar 1975 yılı öncesi ve sonrası olarak iki gruba ayrılmıştır. 1975 yılının belirlenme nedeni deprem etkilerinin ciddi olarak ele alınmış olduğu yapı yönetmeliğinin ilk olarak 1975 yılında yürürlüğe girmiş olmasıdır.

Binalar, inceleyen uzmanlar tarafından binanın kalitesine göre 3 sınıfa ayrılmışlardır. Bu sınıflandırma herhangi bir hesaplama yapılmaksızın, yapı elemanlarının donatı durumları bilinmeden gerçekleştirilmiştir. Bu şartlar altında yapı mühendisinin kullanabileceği veriler yapıda kısa kolon, yumuşak kat, ağır kapalı çıkımlar gibi düzensizlikler olup olmadığıdır. Bu durumda yapıyı inceleyen mühendislerin bu düzensizliklerin hangi şartlarda, ne derecede olumsuz durumlara yol açabileceği hakkındaki görüşleri önem kazanmaktadır. Yapılar uzmanlarca iyi, orta ve kötü kalite olarak sınıflandırılmıştır.

İzmir kentindeki tüm binalar bu sınıflandırma esas alınarak incelenmiştir. Bu bilgilere ek olarak binaların kullanım amacı ve bitişik veya ayırık olma durumu da tespit edilmiştir. Binalar hakkında veri toplanmasında kullanılan Bina Envanter Formu Şekil 3.1’de verilmiştir.

### 3.2.2 Toplanan Verilerinin Değerlendirilmesi

Toplanan verilerin değerlendirilmesinde son yıllarda inşaat mühendisliğinin en önemli konuları arasında yer alan “Yerdeğiştirme Esaslı Tasarım (Displacement Based Design)” felsefesinden yararlanılmıştır. Yerdeğiştirme değerlerinin hesaplanmasında kullanılan doğrusal ötesi yöntemlerden biri de “Kapasite Spektrumu Yöntemi” dir (ATC 40, 1996). İzmir Deprem Senaryosu’nda da bu yöntemden yararlanılmıştır. Yöntem, yapı kapasitesi ve depremin yapıdan talebinin etkileşimli biçimde değerlendirilebilmesini amaçlayan “Kapasite Spektrumu” ve “Talep Spektrumu” olarak iki ana öğeden oluşmaktadır.

#### 3.2.2.1 Bina Kapasitelerinin Belirlenmesi

Binanın öngörülen deprem altında davranışının değerlendirilmesi için öncelikle kapasitesinin belirlenmesi gereklidir. Bunun için literatürde “Artımsal İtme Analizi” (Pushover Analysis) olarak bilinen yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntem ölü yükler ve hareketli yüklerin deprem anında binada mevcut bulunacağı varsayılan kısmı altında binaya monotonik olarak arttırılan bir yatay yükün uygulanması ile bir taban kesmesi-yerdeğiştirme grafiği elde edilmesi esasına dayanır. Yerdeğiştirme değeri olarak genellikle bina çatı katı ötelenmesi kullanılmaktadır. Bu işlem sonucunda Şekil 3.2 dekine benzer bir grafik elde edilmektedir.

Fakat bu çalışmada amaç tek tek binaların incelenmesi değil bina stokunun değerlendirilmesi olduğundan sınıflandırılan her bir bina türü için yatay yük taşıma kapasiteleri Denklem 3.1 kullanılarak yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

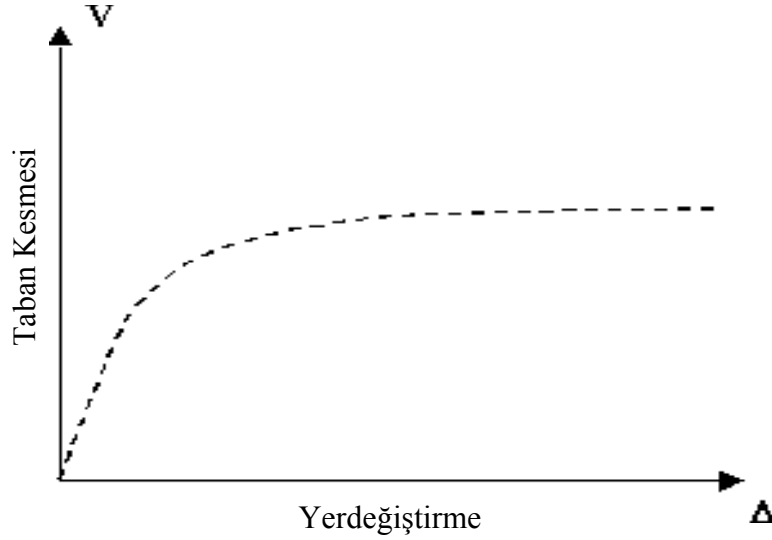
$$(V_b / W)_{ijk} = C_{ij} \cdot \gamma_{ik} \cdot \lambda_{ik} \quad (3.1)$$

$V_b$  = Binaya etkiyen toplam deprem yükü (Taban kesme kuvveti),  $W$  = Bina toplam ağırlığı,  $C_{ij}$  = Binanın yapıldığı tarihte geçerli olduğu varsayılan yatay dayanım

BOĞAZIÇI UNİVERSİTESİ TMMOB İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI İZMİR ŞUBESİ İZMİR DEPREM MASTER PLANI-BİNA ENVANTER ÇALIŞMASI Bilgi Derleme Çizelgesi												Adı Soyadı : Tarih : Belediye : Alan No :						
Sıra	Bina Taşıyıcı Sistemi						Kullanım		Yapım (Proje)			Bitişik/Ayrık		Proje/Yapım Kalitesi			Benzer	
No.	BA1	BA2	BA3	YG1	YG2	DGR	ANA	ALT	75+	75-	??	Btşk	Ayrk	İyi	Orta	Kötü	Bina	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23																		
24																		

Şekil 3.1 : İzmir Deprem Senaryosu bina envanter formu

katsayısı,  $\gamma_{ik}$  = Akma dayanımının tasarım dayanımına oranı,  $\lambda_{ik}$  = Nihai dayanımın akma dayanımına oranıdır.



Şekil 3.2 : Bina yatay yük taşıma kapasite eğrisi

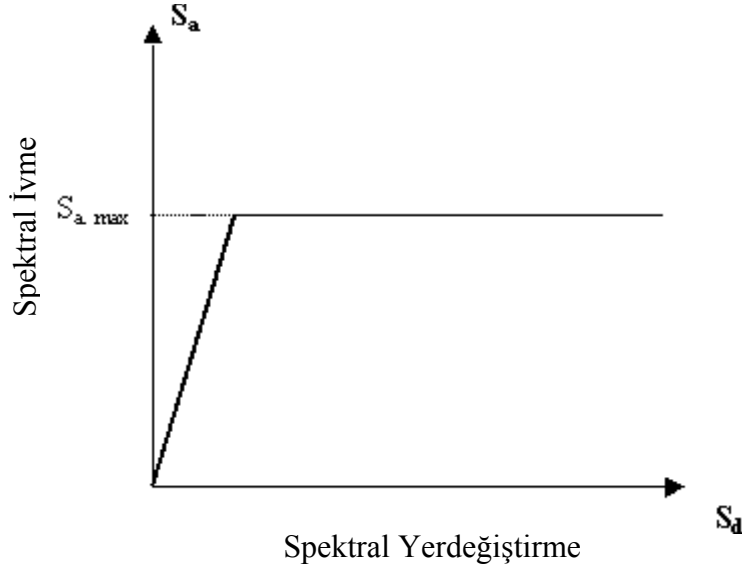
Bu şekilde 5 farklı bina türü (I=6 Diğer taşıyıcı sistemler hariç), 2 farklı yapım yılı, 3 farklı kalite sınıfı için 30 farklı bina yatay yük taşıma eğrisi ile tüm yapı stoku temsil edilmektedir.

Deprem talebi ve bina kapasitesi arasında ilişki kurulabilmesi için talep ve kapasitenin aynı grafik üzerinde gösterilebilmesi gereklidir. Bu sebeple bina yatay yük taşıma eğrileri Bina Kapasite Spektrumu'na çevrilmiştir (Şekil 3.3).

### 3.2.2.2 Deprem İsteminin Belirlenmesi

Her bina sınıfı için depremin binadan istemini ifade eden Talep Spektrumu binanın yapıldığı yer için tanımlanan, spektral ivme-spektral yerdeğiştirme eksen takımında ifade edilen elastik ivme spektrumunun yapının doğrusal ötesi davranışı göz önüne alınarak yaklaşık olarak azaltılması ile elde edilen spektrum eğrisidir.

Sistemin doğrusal ötesi davranışı fiktif bir sönüm oranı artışı olarak kabul edilmektedir. Bu sönüm oranı artışına göre elastik spektrumun sabit ivme kısmında ve azalan ivme kısmında belirlenen farklı iki değere bölünerek Talep Spektrumu elde edilir.

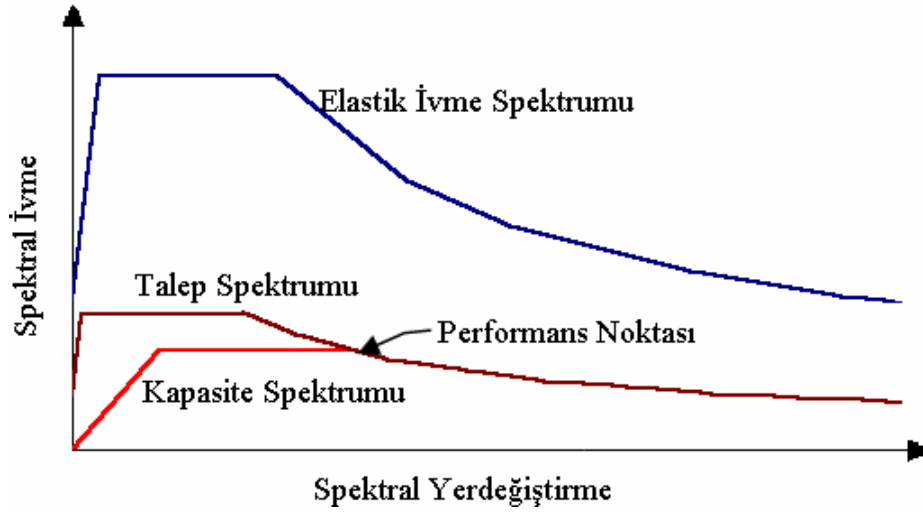


Şekil 3.3 : Tipik bir idealleştirilmiş kapasite spektrumu

Elastik ivme spektrumunun azaltılması binanın yapmış olduğu yer değiştirme ile orantılı olduğundan azaltma işlemi ve yerdeğiştirmenin bulunması iteratif olarak deneme-yanılma yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Öncelikle Talep Spektrumunun ve Kapasite Spektrumunun kesiştiği nokta olan “performans noktası” için bir değer tahmin edilir. Tahmin edilen bu değere göre elastik ivme azaltma katsayıları hesaplanarak elastik ivme spektrumundan Talep Spektrumu hesaplanır. Daha sonra Talep ve Kapasite Spektrumunun kesiştiği noktadan ilk yapılan tahminin doğruluk derecesi kontrol edilir. İlk denenmiş olan tahmini değer arttırılarak veya azaltılarak yeni performans noktası belirlenir ve yeterli yakınlık derecesine ulaşıncaya kadar bu işleme devam edilir.

Tüm bu işlemler sonucunda Şekil 3.4’tekinе benzer şekilde yapının öngörülen deprem altında tahmin edilen yerdeğiştirme seviyesini gösteren performans noktası belirlenmiş olur.





Şekil 3.4 : Performans noktasının belirlenmesi

### 3.2.2.3 Bina Hasar Olasılık Eğrileri

İzmir Deprem Senaryosu'nda binalar için hafif, orta, ağır ve çok ağır hasar seviyeleri olarak 4 farklı hasar seviyesi öngörülmüştür. Her bina sınıfının bu hasar seviyelerinden hangisinde ne oranda yer alacağını belirlemek için “Bina Hasar Olasılık Eğrileri’nden” yararlanılmaktadır. Bina Hasar Olasılık Eğrileri (İngilizce terminolojideki adı ile “Building Fragility Curves”), binanın depremde tahmin edilen davranışını nitel olarak ifade eden bir “deprem davranış parametresi”ne bağlı olarak, yapısal veya yapısal olmayan hasarların belirli hasar düzeylerine erişmesinin veya o düzeyleri aşmasının birikimli (kümülatif) olasılığını ifade eden analitik fonksiyonlardır. Bina Hasarı Olasılık Eğrileri’nin yatay eksenindeki değişken olan “deprem davranış parametresi”, bu çalışmada spektral yerdeğiştirme olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda bu çalışmada bina hasarının tahmini için elde edilecek eğrilerde yatay eksen spektral yerdeğiştirmeyi, dikey eksen ise yapısal hasarın yukarıda tanımlanan hasar düzeylerine erişmesinin veya onları aşmasının birikimli olasılığını göstermektedir. Depremde hasar olasılık dağılımının lognormal dağılıma uyduğu varsayımı ile her bir hasar olasılık eğrisinin analitik ifadesi Denklem 3.2 de görülmektedir.

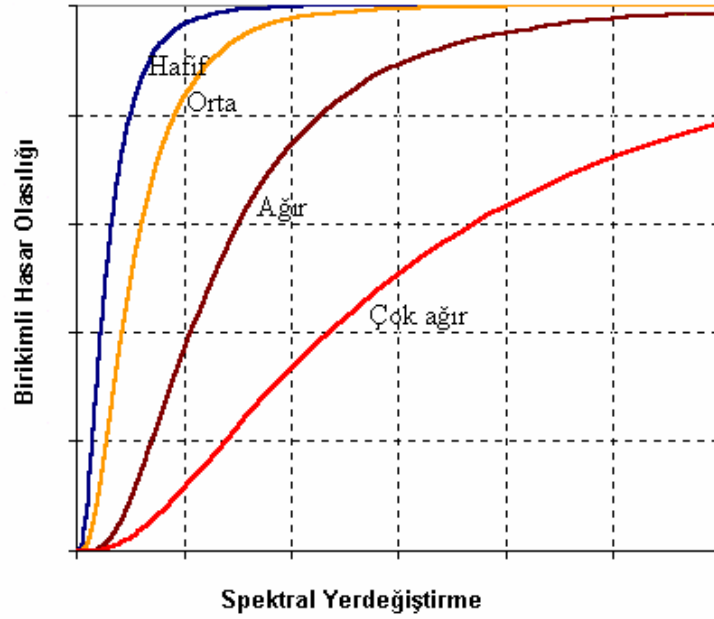
$$P(D \geq S_{d,ds}) = \Phi[(1/\beta_{ds}) \ln(S_d / S_{d,ds})] \quad (3.2)$$

$D$  = Sembolik olarak hasar,  $S_d$  = Spektral yerdeğiştirme,  $S_{d,ds}$  = Bina hasarının ilgili hasar düzeyine eriştiği duruma karşı gelen medyan spektral yerdeğiştirme değer,  $\beta_{ds}$  = İlgili hasar düzeyi için spektral yer değiştirme değerlerinin doğal logaritmalarına ait standart sapma,  $\Phi$  = Birikimli (kümülatif) standart normal dağılım fonksiyonu sembolüdür.

Her bir hasar düzeyine karşı gelen medyan spektral yerdeğiştirme değerleri,  $S_{d,ds}$ , her bir bina türü için tahmin edilen görel kat ötelemesi oranlarına bağlı olarak tahmin edilmektedir. Standart sapma  $S_{ds}$  ise, ilgili hasar düzeyinin tanımında, binanın deprem yükü taşıma kapasitesinde ve deprem yer hareketinin belirlenmesindeki belirsizlikleri, diğer deyişle bunlarda mevcut olan değişkenlikleri ifade etmek üzere ampirik yollarla tahmin edilmektedir. Görel kat ötelemelerinin ve spektral yerdeğiştirmelerin medyan değerleri ve ilgili hasar düzeyi için spektral yerdeğiştirmelerin doğal logaritmalarına ait standart sapmayı ifade eden  $\beta_{ds}$  değerleri için ilgili çalışmaya bakılabilir.

Tüm bu işlemlerden sonra her bir bina sınıfı için Şekil 3.5'dekine benzer yapısal hasarın yukarıda tanımlanan hasar düzeylerine erişmesinin veya onları aşmasının birikimli olasılığını gösteren bir hasar olasılık eğrisi elde edilmektedir. Daha sonra birikimli olasılıkların farkları alınarak ayrıık hasar olasılığı değerleri yüzde olarak elde edilmektedir.

Hesabın son aşamasında, her bir tür bina için elde edilen ayrıık hasar olasılıkları, inceleme konusu bölgedeki bina sayıları ile çarpılarak ilgili düzeyde hasara maruz kalacak bina sayıları tahmin edilmektedir. Sözelimi bir sınıfa ait binaların ağır hasarlı olma olasılığı %10 ise ve bu binalardan inceleme konusu bölgede 50 adet var ise bu sınıftaki binalardan 5 ( $50 \times 0.1 = 5$ ) tanesinin senaryo depreminde ağır hasar alacağı öngörülmektedir.



Şekil 3.5 : Tipik bina hasar olasılık eğrileri

### 3.3 Denizli Deprem Senaryosu

İzmir Deprem Senaryosu'na benzer bir çalışma da Denizli kenti için uygulanmaktadır (İnel ve diğ., 2004; Aslankara ve diğ., 2005). Kullanılan yöntem HAZUS kaynaklı olduğundan İzmir Deprem Senaryosu'na oldukça benzerdir. Bu sebeple yalnızca iki yöntemin farklı olduğu veri toplama bölümünden bahsedilecektir.

#### 3.3.1 Bina Verilerinin Toplanması

Denizli Deprem Senaryosu verilerinin İzmir Deprem Senaryosu'ndan temel farkı bina kalite sınıflamasındadır. İzmir Deprem Senaryosu'nda tamamen incelemeyi yapan mühendislerin görüşlerine bırakılmış olan kalite sınıflaması Denizli Deprem Senaryosu çalışmasında bu sınıflamanın daha objektif ve tüm ekipler arasında aynı şekilde yapılması için belirli puanlama kriterlerine tabi tutulmuştur.

Bina kalite sınıflandırması binanın özellikleri ve binada bulunan düzensizlikler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Notlandırmada yapım yılı, yumuşak kat, kısa kolon, kapalı çıkma, bitişik nizam durumu ve binanın genel değerlendirmesi göz önüne alınmıştır. Bunlardan her biri için belirli bir puanlandırma sistemi oluşturulmuş ve toplam puan üzerinden bina kalitesi sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3.2 : Kalite sınıflandırması puan tür ve ağırlıkları

Bitişik/Ayrık	20
Yapım Yılı	25
Kapalı Çıkma	20
Yumuşak Kat/Kısa Kolon	25
Teknik eleman değerlendirmesi	10
<b>Toplam</b>	<b>100</b>

Çizelge 3.3 : Bitişik/ayrık olma durumu puanlaması

Ayrık		20
Bir veya iki taraftan bitişik	BNI (Kat seviyesi aynı)	18
	BNIII (Kat seviyesi farklı)	15
Bir taraftan bitişik	BNII (Kat seviyesi aynı)	10
	BNIV (Kat seviyesi farklı)	5
İki taraftan bitişik	BNII (Kat seviyesi aynı)	5
	BNIV (Kat seviyesi farklı)	0

Çizelge 3.2 ve 3.6 arasında belirtilmiş esaslara göre puanlandırılan yapılar Çizelge 3.7 kullanılarak 3 kalite sınıfından hangisine ait olduğu belirlenmektedir. Çizelge 3.4’de yer alan tarihlerden 1975 yılı İzmir Deprem Senaryosunda olduğu gibi 1975 Afet Yönetmeliğinin yürürlüğe giriş tarihi, 1985 yılı TS 500 şartnamesinin uygulanmaya başlama yılı, 1994 yılı ise Denizli ilinde hazır betonun yaygın kullanılmaya başlandığı tarihtir.

Çizelge 3.4 : Yapım yılı puanlaması

1975 öncesi (Y=1)		5
1975 sonrası	Yapım yılı tam bilinmiyor (Y=2)	10
	1975-1984 (Y=2)	10
	1985-1994 (Y=3)	17
	1995 sonrası (Y=4)	25

Çizelge 3.5 : Kapalı çıkma puanlaması

Kapalı Çıkma Yok (KÇ=0)		20
Kapalı Çıkma Var	1 cepheden (KÇ=1)	15
	2 cepheden (KÇ=2)	10
	3 cepheden (KÇ=3)	5
	4 cepheden (KÇ=4)	0

Çizelge 3.6 : Yumuşak kat puanlaması

	Y= 1	Y= 2, 3	Y= 4
KÇ= 3, 4	0	5	7
KÇ= 1, 2	5	7	10
KÇ= 0	7	10	15
Yumuşak Kat Yok	25		

Çizelge 3.7 : Kalite sınıfı puanlaması

Kalite	Puan
İyi	70-100
Orta	45-69
Kötü	0-44

Bundan sonraki işlem safhaları İzmir Deprem Senaryosu ile aynı şekildedir.

### 3.4 FEMA 154

FEMA 154 Potansiyel Sismik Hasarlar İçin Binaların Hızlı Görsel İncelenmesi (Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards) dokümanı adından da anlaşıldığı gibi yapıların hesaplama yapılmaksızın yalnız göz taraması ile deprem tehlikesine karşı değerlendirilmesi amacıyla hazırlanmıştır.

Dokümanın hazırlanma amacı binaların “güvenli” ve daha detaylı incelenmesi gerekli olan “sismik açıdan tehlikeli olabilir” olarak iki kategoriye ayrılabilmesi ve binaların risk durumuna göre bir sıralamaya tabi tutulabilmesidir.

Bu amaçla binalar belirli bir puanlama sistemine tabi tutulmaktadır. Bunun için yapılar öncelikle Çizelge 3.8’de verilen şekilde taşıyıcı sistemlerine göre sınıflara ayrılmaktadır.

Çizelge 3.8 : FEMA 154 bina taşıyıcı sistem grupları

Sembol	Taşıyıcı Sistem
W	Ahşap çerçeve
S1	Moment aktaran çelik çerçeve
S2	Çelik çaprazlı çerçeve
S3	Hafif metal çerçeve
S4	Betonarme perdeli çelik çerçeve
C1	Betonarme çerçeve
C2	Betonarme perde
C3/S5	Taş dolgu duvarlı çelik veya betonarme çerçeve
PC1	Kaldırma sistem
PC2	Prefabrik çerçeve
RM	Donatılı taş dolgu
URM	Donatısız taş dolgu

Bu sistemlerden her biri bulunduğu yerde oluşabilecek depremin büyüklüğüne göre düşük, orta, ve yüksek olarak üç kategoride ele alınan bir başlangıç puanına sahiptir. Bu puanlar Çizelge 3.9’da görülmektedir.

Çizelge 3.9 : FEMA 154 Taşıyıcı sistem başlangıç puanları

Sembol	Sismik Alan		
	Düşük	Orta	Yüksek
W	8.5	6.0	4.5
S1	3.5	4.0	4.5
S2	2.5	3.0	3.0
S3	6.5	6.0	5.5
S4	4.5	4.0	3.5
C1	4.0	3.0	2.0
C2	4.0	3.5	3.0
C3/S5	3.0	2.0	1.5
PC1	3.5	3.5	2.0
PC2	2.5	2.0	1.5
RM	4.0	3.5	3.0
URM	2.5	2.0	1.0

Daha sonra bu başlangıç puanlarına Çizelge 3.10'da görülen yapı özellikleri dikkate alınarak çeşitli puanlar eklenerek veya çıkarılarak yapının nihai puanı elde edilmektedir.

Nihai yapı puanı ne kadar yüksek ise yapının o derece güvenli olduğu varsayılmaktadır. Tüm bu puanlama işleminden sonra 2.0 veya daha az nihai puan alan yapıların uzman bir mühendis tarafından detaylı şekilde incelenmesi önerilmektedir.

Bu işlemlerin yapılabilmesi için Şekil 3.6'da görülen form kullanılmaktadır. Formun hazırlanmasında doldurulması esnasında mümkün olduğu kadar az yazma işlemi kullanılmasına dikkat edilmiştir. Puanlama uygun yerlerin çember içine alınması ile yapılmaktadır. Betonarme bir bina için formun doldurulmuş hali Şekil 3.7'de görülmektedir.

Çizelge 3.10 : FEMA 154 puanlamasında esas alınan bina özellikleri

Puan türü		Açıklama
İngilizce	Türkçe	
High-Rise	Çok Katlı	8 veya daha fazla katlı. (URM için 4 veya daha fazla)
Poor Condition	Kötü Durum	Çatlak, oturma ve benzeri hasar belirtileri.
Vertical Irregularity	Düşey Düzensizlik	Basamaklı yapıda katlar, eğimli duvarlar, yük aktarmada süreksizlikler, tepe üzerinde inşaa.
Soft Story	Yumuşak Kat	Yüksek ilk kat, ilk katta bölme duvar azlığı, perde duvarlarda süreksizlik.
Torsion	Burulma	Ağırlık ve rijitlik merkezi farklılığına yol açabilecek şekilde perde vb. yerleşimli binalar.
Plan Irregularity	Planda Düzensizlik	Planda L, U, E, T, vb. şekilde binalar.
Pounding	Çarpışma	Farklı seviyede döşemeleri olan ve her kat için 10 cm den az açıklığı bulunan binalar.
Large Heavy Cladding	Ağır Kaplama	Beton veya ağır taş bloklar ile kaplanmış binalar.
Short Columns	Kısa Kolon	Yarım perde veya ara kirişler ile net açıklığı kısaltılmış kolonlara sahip binalar.
Post Benchmark Year	Yapım Yılı Puanı	Yönetmelik değişikliği gibi bina kalitesini etkileyen bir olayın olduğu tarihten sonra yapılan binalar. (Örneğin Türkiye için 1975 sonrası)
Soil Profile SL1	Zemin Profili SL1	Kaya veya 60 m den daha az derinlikte taban kayasına sahip sert kil.
Soil Profile SL2	Zemin Profili SL2	Kohezyonsuz zemin veya 60 m den daha kalın sert kil tabakası.
Soil Profile SL3	Zemin Profili SL3	10 m veya daha kalın yumuşak veya orta sertlikte kil zeminler. (Zemin türü bilinmiyorsa kullanılabilir.)
SL3 & 8 to 20 Stories	SL3 & 8- 20 Katlı	SL3 zeminde 8-20 kat arası bina.



<b>ATC-21/ (NEHRP Map Areas 5,6,7 High)</b> Rapid Visual Screening of Seismically Hazardous Buildings		Address _____ Zip _____ Other Identifiers _____ No. Stories _____ Year Built _____ Inspector _____ Date _____ Total Floor Area (sq. ft) _____ Building Name _____ Use _____ (Peel-off label)												
Scale: _____		INSTANT PHOTO												
<b>OCCUPANCY</b>		<b>STRUCTURAL SCORES AND MODIFIERS</b>												
Residential Commercial Office Industrial Pub. Assem. School Govt. Bldg. Emer. Serv. Historic Bldg.	No. Persons 0-10 11-100 100+	<b>BUILDING TYPE</b>	<b>W</b>	<b>S1</b> (MRF)	<b>S2</b> (BR)	<b>S3</b> (LM)	<b>S4</b> (RC SW)	<b>C1</b> (MRF)	<b>C2</b> (SW)	<b>C3/S5</b> (URM NF)	<b>PC1</b> (TU)	<b>PC2</b>	<b>RM</b>	<b>URM</b>
		<b>Basic Score</b>	<b>4.5</b>	<b>4.5</b>	<b>3.0</b>	<b>5.5</b>	<b>3.5</b>	<b>2.0</b>	<b>3.0</b>	<b>1.5</b>	<b>2.0</b>	<b>1.5</b>	<b>3.0</b>	<b>1.0</b>
		High Rise	N/A	-2.0	-1.0	N/A	-1.0	-1.0	-1.0	-0.5	N/A	-0.5	-1.0	-0.5
		Poor Condition	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
		Vert. Irregularity	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-1.0	-0.5	-0.5	-1.0	-1.0	-0.5	-0.5
		Soft Story	-1.0	-2.5	-2.0	-1.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0	-2.0	-1.0
		Torsion	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
		Plan Irregularity	-1.0	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
		Pounding	N/A	-0.5	-0.5	N/A	-0.5	-0.5	N/A	N/A	N/A	-0.5	N/A	N/A
		Large Heavy Cladding	N/A	-2.0	N/A	N/A	N/A	-1.0	N/A	N/A	N/A	-1.0	N/A	N/A
		Short Columns	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-1.0	-1.0	-1.0	N/A	-1.0	N/A	N/A
		Post Benchmark Year	+2.0	+2.0	+2.0	+2.0	+2.0	+2.0	+2.0	N/A	+2.0	+2.0	+2.0	N/A
		SL2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
		SL3	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
		SL3 & 8 to 20 stories	N/A	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8
		<b>FINAL SCORE</b>												
Non Structural Falling Hazard <input type="checkbox"/>														
<b>DATA CONFIDENCE</b> * = Estimated, Subjective, or Unreliable Data DNK = Do Not Know														
COMMENTS												Detailed Evaluation Required? YES NO		

Figure 4-1a Data collection form

Şekil 3.6 : FEMA 154 veri toplama formu

ATC-21/ (NEHRP Map Areas 5,6,7 High)  
 Rapid Visual Screening of Seismically Hazardous Buildings

Address 560 Main St.  
Anytown Zip 12345

Other Identifiers  
 No. Stories 4 Year Built 1906  
 Inspector KW Date 3/11/88  
 Total Floor Area (sq. ft.) 11,730  
 Building Name \_\_\_\_\_  
 Use retail store, office  
 (Peel-off label)

OCCUPANCY		STRUCTURAL SCORES AND MODIFIERS												
Residential	No. Persons	BUILDING TYPE	W	S1	S2	S3	S4	C1	C2	C3/S5	PC1	PC2	RM	URM
Commercial			(MRF)	(BR)	(LM)	(RC SW)	(MRF)	(SW)	(URM INF)	(TU)				
Office	0-10	Basic Score	4.5	4.5	3.0	5.5	3.5	2.0	3.0	1.5	2.0	1.5	3.0	1.0
Industrial	11-100	High Rise	N/A	-2.0	-1.0	N/A	-1.0	-1.0	-1.0	-0.5	N/A	-0.5	-1.0	-0.5
Pub. Assem.	100+	Poor Condition	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
School		Vert. Irregularity	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-1.0	-0.5	-0.5	-1.0	-1.0	-0.5	-0.5
Govt. Bldg.		Soft Story	-1.0	-2.5	-2.0	-1.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0	-2.0	-1.0
Emer. Serv.		Torsion	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Historic Bldg.		Plan Irregularity	-1.0	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
		Pounding	N/A	-0.5	-0.5	N/A	-0.5	-0.5	N/A	N/A	N/A	-0.5	N/A	N/A
		Large Heavy Cladding	N/A	-2.0	N/A	N/A	N/A	-1.0	N/A	N/A	N/A	-1.0	N/A	N/A
		Short Columns	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-1.0	-1.0	-1.0	N/A	-1.0	N/A	N/A
		Post Benchmark Year	+2.0	+2.0	+2.0	+2.0	+2.0	+2.0	+2.0	N/A	+2.0	+2.0	+2.0	N/A
		SL2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
		SL3	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
		SL3 & 8 to 20 stories	N/A	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8
		FINAL SCORE	0.4											

Non Structural Falling Hazard

DATA CONFIDENCE  
 \* = Estimated, Subjective, or Unreliable Data  
 DNK = Do Not Know

COMMENTS • Conc. frame in transverse direction, shear wall in longitudinal direction — assume the worst condition, C1

Detailed Evaluation Required?  
 YES  NO

ATC214  
 30032 51

Şekil 3.7 : Betonarme bir bina için doldurulmuş FEMA 154 veri toplama formu

### 3.5 Yakut Yöntemi

Ülkemiz koşulları dikkate alınarak betonarme yapı sistemleri için geliştirilen hızlı değerlendirme yöntemlerinden birisi de Ahmet Yakut tarafından geliştirilen yöntemdir (Yakut, 2004). Yöntemin uygulanabilmesi için bina taşıyıcı sisteminin zemin kat ölçüleri ve beton dayanımının bilinmesi gereklidir. Öncelikle bu bilgiler ve Denklem 3.3 kullanılarak her bir elemanın kesme dayanımı (etriye katkısı ihmal edilerek) hesaplanır.

$$V_{ci} = c\alpha f_{ctk} b_w h \quad (3.3)$$

Denklemden :  $V_{ci}$  = Eleman kesme dayanımı (etriye katkısı olmadan),  $c$  = Eleman yönü ile ilgili katsayı,  $\alpha$  = Dayanım azaltma katsayısı ve çekme dayanımının kesme dayanımına çevrilmesi etkilerini içeren katsayı,  $f_{ctk}$  = Beton karakteristik çekme dayanımı,  $b_w$  = Eleman genişliği,  $h$  = Eleman derinliğini ifade etmektedir.

1998 Afet Yönetmeliğimizde  $\alpha$  değeri için 0.65 öngörülmektedir. Eğer kesme dayanımı hesaplanan elemanın uzun yönü hesabın yapıldığı yönde ise  $c$  katsayısı 2/3 olarak, aksi durumda 1/3 olarak alınacaktır. Perde elemanların uzun yönleri için  $c$ , 1 olarak alınacaktır.

Zemin katta her bir eleman için hesaplanan bu değerler toplanarak tüm bina taban kesme dayanımı ( $V_c$ ) elde edilmiş olur. Yöntem bu değerden bina akma dayanımının elde edilmesine dayanmaktadır. Bu amaçla Düzce depreminden sonra şehirde incelenen binalardan ve bazı kamu binalarından seçilen 40 adet bina kullanılarak Denklem 3.4 geliştirilmiştir.

$$V_y = \frac{V_c}{0.95e^{0.125n}} \quad (3.4)$$

$V_y$  = Bina akma dayanımı,  $V_c$  = Bina kesme dayanımı,  $n$  = Bina kat adedidir.

Dolgu duvarların binaların yatay yük taşıma kapasitelerini arttırdığı bilinmektedir. Yöntemde bu olgunun da değerlendirmeye katılabilmesi için Denklem 3.5 kullanılarak dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasitesine katkısını da içeren dayanım değeri ( $V_{yw}$ ) hesaplanmaktadır.

$$V_{yw} = V_y \left( 46 \frac{A_w}{A_{tf}} + 1 \right) \quad (3.5)$$

$V_{yw}$  = Dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasitesine katkısını da içeren dayanım değeri,  $V_y$  = Denklem 3.4'ten elde edilen akma dayanımı,  $A_w$  = Boşluk içermeyen dolgu duvarların toplam alanı,  $A_{tf}$  = Binanın toplam zemin kat alanıdır.

Buraya kadar olan işlemlerle yapının kapasitesi tanımlanmış olmaktadır. Deprem talebi için ise yöntemde incelenen binanın tabi olduğu yönetmeliğin elastik tasarım kuvvetinin ( $V_{yönetmelik}$ ) kullanılması önerilmektedir. Böylelikle değerlendirilen binanın bulunduğu bölgenin sismik durumu ve zemin şartları dikkate alınmış ve zaman içinde yapıların sismik değerlendirilmesinde yeni gelişmelerin de dikkate alınması sağlanmış olmaktadır.

Böylelikle binaların güvenlik derecesini yansıtmak için kapasite-talep oranı olarak adlandırılabilir "Temel Kapasite İndeksi (Basic Capacity Index)" ( $BCPI$ ) Denklem 3.6 ile tanımlanmıştır.

$$BCPI = \frac{V_{yw}}{V_{yönetmelik}} \quad (3.6)$$

Fakat Temel Kapasite İndeksi değeri hiçbir düzensizlik içermeyen binalar için kullanılabilir. Binada bulunabilecek düzensizliklerin bina kapasitesine etkilerinin de değerlendirilebilmesi için "Kapasite İndeksi (Capacity Index)" ( $CPI$ ) Denklem 3.7 ile tanımlanmıştır.

$$CPI = C_A C_M BCPI \quad (3.7)$$

$C_A$  = Yapısal düzensizlik katsayısı,  $C_M$  = İnşaa kalitesi katsayısıdır.

$C_A$  değeri çeşitli düzensizlikler için belirli değerlerin, ideal durumu ifade eden 1 değerinden çıkarılması ile Denklem 3.8'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$C_A = 1 - (C_{AS} + C_{ASC} + C_{AP} + C_{AF}) \quad (3.8)$$

$C_{AS}$  = Yumuşak kat katsayısı,  $C_{ASC}$  = Kısa kolon katsayısı,  $C_{AP}$  = Planda düzensizlik ve çok miktarda ağır çıkma nedeniyle oluşabilecek burulma düzensizliği katsayısı,  $C_{AF}$  = Taşıyıcı sistem elemanlarının planda ve düşeyde süreksizliği düzensizliği katsayısıdır.

Bu katsayılar için Yakut (2004), FEMA 154 dokümanını esas alarak;  $C_{AS} = 0.135$ ,  $C_{ASC} = 0.052$ ,  $C_{AP} = 0.055$ ,  $C_{AF} = 0.035$  değerlerini önermektedir.  $C_M$  için ise Çizelge 3.11'de gösterildiği gibi  $C_A$  değerine bağlı değerler önerilmektedir.

Çizelge 3.11 :  $C_M$  için önerilen değerler

Yapım Kalitesi	$C_M$
Kötü	$1-0.55(1-C_A)$
Orta	$1-0.55(1-C_A)/3$
İyi	1

Bu işlemler sonucunda elde edilen CPI (Kapasite İndeksi) değerleri binaların güvenlik derecesini göstermektedir. Daha büyük CPI değerine sahip binalar daha güvenli kabul edilebilir. Yakut (2004) CPI için sınır değer her bina stoku için ayrı olarak belirlenmesini önermekle birlikte kabaca 1.2 değerinin kullanılabileceğini ifade etmektedir.

### 3.6 TÜBİTAK İÇTAG YMAÜ İ574

Bu kısımda Güney Özcebe tarafından yürütülen ve Ocak 2004 yılında sonuç raporu verilen Tübitak İÇTAG YMAÜ İ574 Numaralı Araştırma Projesi Deprem Güvenliğinin Saptanması İçin Yöntemler Geliştirilmesi çalışması çerçevesinde geliştirilen betonarme bina değerlendirme yöntemlerinden birinci aşama “Sokak Taraması” ve ikinci aşama “Probabilistik Yaklaşım” yöntemlerinden bahsedilecektir.

#### 3.6.1 Sokak Taraması

Adından da anlaşılacağı üzere bu yöntem için binanın dışından görülebilecek parametreleri üzerinde durulmuştur. Deprem talebinin belirlenmesi için ise binanın bulunduğu bölgenin zemin özelliklerinin yansıtılması için 3 farklı maksimum yer hızı (PGV) bölgesi tanımlanmıştır. Yöntemde kullanılan parametreler ve alabilecekleri değerler Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Bu parametreler kullanılarak her bina için bir Bina Deprem Puanı (BDP) hesaplanması öngörülmektedir. Bu hesap Denklem 3.9 kullanılarak yapılmaktadır. Denklem 3.9’da kullanılacak puanlar Çizelge 3.13’de verilmiştir.

$$BDP = (HBP) + \sum(\text{olumsuzluk parametresi}) \times (\text{olumsuzluk puanı}) \quad (3.9)$$

BDP = Bina deprem puanı, HBP = Hız bölgesi puanıdır.

Örnek olarak 4 katlı II numaralı hız bölgesinde yumuşak kat düzensizliğine sahip, çarpışma etkisine maruz, tepe yamaç etkisi bulunmayan bir bölgede inşaa edilmiş, kötü kalite bir yapı için BDP hesabı şu şekildedir:

$$BDP = 100 - 1 \times 15 - 0 \times 10 - 2 \times 10 - 0 \times 5 - 0 \times 3 - 0 \times 2$$

BDP = 65

Çizelge 3.12 : Sokak Taraması parametreleri

Parametre	Alabileceği Değerler
Kat Adedi	1-7
Hız Bölgesi	I, II, III
Yumuşak Kat	Yok(0); Var(1)
Ağır Çıkma	Yok(0); Var(1)
Görünen Kalite	İyi(0); Orta(1); Kötü(2)
Kısa Kolon	Yok(0); Var(1)
Çarpışma Etkisi	Yok(0); Var(1)
Tepe/Yamaç Etkisi	Yok(0); Var(1)

Çizelge 3.13: Sokak Taraması puanlama değerleri

Kat Adedi	Hız Bölgesi I: PGV $\geq$ 60 cm/s	Hız Bölgesi II: 60>PGV $\geq$ 40 cm/s	Hız Bölgesi III: PGV<40 cm/s	Yumuşak Kat	Ağır Çıkma	Görünen Kalite	Kısa Kolon	Çarpışma Etkisi	Tepe/Yamaç Etkisi
1,2	100	130	150	0	0	-10	-5	0	0
3	90	120	140	-10	-5	-10	-5	-2	0
4	75	100	120	-15	-10	-10	-5	-3	-2
5	65	85	100	-20	-10	-10	-5	-3	-2
6,7	60	80	90	-20	-10	-10	-5	-3	-2

### 3.6.2 Probabilistik Yaklaşım

Bu yöntem geçmiş depremlerde gözlenen yapı davranışlarının istatistiki değerlendirilmesi sonucunda geliştirilmiştir. 1-7 katlı yapılar için geçerlidir. Yapı kapasitesi ve deprem talebi tanımlanan bazı parametreler kullanılarak çeşitli denklemler yardımıyla tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Bu parametreler sırasıyla açıklanacaktır.

**Kat Sayısı (n)**

Bodrum kat hariç binanın toplam kat adedidir.

**Minimum Normalize Edilmiş Yatay Rijitlik İndeksi (mnlstfi)**

Yapının zemin kat seviyesindeki yatay rijitliğini dikkate alır. Uzun kenarının kısa kenarına oranı yediden büyük düşey elemanlar perde, diğerleri kolon olarak hesaba dahil edilir. Aşağıdaki şekilde hesaplanır :

$$mnlstfi = \min(I_{nx}, I_{ny}) \quad (3.10)$$

$$I_{nx} = \frac{\sum (I_{col})_x + \sum (I_{sw})_x}{\sum A_f} \times 1000 \quad (3.11)$$

$$I_{ny} = \frac{\sum (I_{col})_y + \sum (I_{sw})_y}{\sum A_f} \times 1000 \quad (3.12)$$

$\Sigma(I_{col})_x$  = Tüm kolonların x eksenine (simetri eksenine) göre hesaplanan atalet momentlerinin toplamı

$\Sigma(I_{col})_y$  = Tüm kolonların y eksenine (simetri eksenine) göre hesaplanan atalet momentlerinin toplamı

$\Sigma(I_{sw})_x$  = Tüm perdelerin x eksenine (simetri eksenine) göre hesaplanan atalet momentlerinin toplamı

$\Sigma(I_{sw})_y$  = Tüm perdelerin y eksenine (simetri eksenine) göre hesaplanan atalet momentlerinin toplamı

$\Sigma(A_f)$  = Toplam kat alanı



### Minimum Normalize Edilmiş Yatay Dayanım İndeksi (mnlsi)

Yapının taban kat kesme kuvveti kapasitesini temsil eder. Dolgu duvarların katkısı da dikkate alınmaktadır. Aşağıdaki şekilde hesaplanır :

$$mnlsi = \min(A_{nx}, A_{ny}) \quad (3.13)$$

$$A_{nx} = \frac{\sum (A_{col})_x + \sum (A_{sw})_x + 0.1 \sum (A_{mw})_x}{\sum A_f} \times 1000 \quad (3.14)$$

$$A_{ny} = \frac{\sum (A_{col})_y + \sum (A_{sw})_y + 0.1 \sum (A_{mw})_y}{\sum A_f} \times 1000 \quad (3.15)$$

$\Sigma(A_{col})_x$  = Tüm kolonların x eksenine göre hesaplanan efektif alanı

$\Sigma(A_{col})_y$  = Tüm kolonların y eksenine göre hesaplanan efektif alanı

$\Sigma(A_{sw})_x$  = Tüm perdelerin x eksenine göre hesaplanan efektif alanı

$\Sigma(A_{sw})_y$  = Tüm perdelerin y eksenine göre hesaplanan efektif alanı

$\Sigma(A_{mw})_x$  = Tüm dolgu duvarların x eksenine göre hesaplanan efektif alanı

$\Sigma(A_{mw})_y$  = Tüm dolgu duvarların y eksenine göre hesaplanan efektif alanı

Denklem 3.14-3.15 hesaplanırken elemanların efektif alanlarının kullanılması gerekmektedir. Efektif alan Denklem 3.16'da olduğu gibi elemanların alanının, uzun kesit boyutlarının yönü ile ilgili bir k katsayısı ile çarpımı ile hesaplanmaktadır.

$$(A) = k \times A \quad (3.16)$$

(A) =Eleman efektif alanı

A = Eleman alanı

$k$  değeri kolonlar için hesap yönü ile eleman uzun kesit boyutu aynı yönde ise 2/3, farklı yönde ise 1/3 olarak; kolon kare ise 1/2 olarak alınacaktır. Perdeler ve dolgu duvarlar için ise hesap yönü ile eleman uzun kesit boyutu aynı yönde ise 1, farklı yönde ise 0 olarak alınacaktır.

### Normalize Edilmiş Çerçeve Süreklilik Puanı (nrs)

Bu parametre ile yatay yükün çerçeveler arasındaki dağılımının sürekliliği dikkate alınmaktadır. Denklem 3.17 ile hesaplanan çerçeve süreklilik oranına (nrr) bağlı olarak ifade edilmektedir.

$$nrr = \frac{A_{tr} (nf_x - 1)(nf_y - 1)}{A_{gf}} \quad (3.17)$$

$nf_x$  = Zemin katta x doğrultusunda sürekli çerçeve sayısı

$nf_y$  = Zemin katta y doğrultusunda sürekli çerçeve sayısı

$A_{tr}$  = Tipik bir kolonun üzerine düşen kat alanını göstermektedir.  $nf_x$  ve  $nf_y$  değerlerinin her ikisinin de 3'ten büyük veya eşit olduğu durumda 25 m<sup>2</sup>, aksi durumlarda 12.5 m<sup>2</sup> olarak alınmalıdır.

$A_{gf}$  = Binanın zemin kat alanıdır

nrr değerine bağlı olarak hesaplanan nrs değeri şu şekilde belirlenir.

$0 < nrr \leq 0.5$  ise nrs = 1

$0.5 < nrr \leq 1.0$  ise nrs = 2

$nrr > 1.0$  ise nrs = 3

### Yumuşak Kat İndeksi (ssi)

Denklem 3.18’de olduğu gibi zemin kat yüksekliğinin bir üst kat yüksekliğine oranı olarak ifade edilebilir.

$$ssi = \frac{H_1}{H_2} \quad (3.18)$$

$H_1$  = Zemin kat yüksekliği,  $H_2$  = 1. normal kat yüksekliğidir.

### Çıkma Oranı (or)

Tipik bir katta en dış çerçevelerin dışında kalan alan çıkma alanıdır. Denklem 3.19 ile hesaplanır.

$$or = \frac{A_{cikma}}{A_{gf}} \quad (3.19)$$

$A_{cikma}$  = Her bir kattaki çıkma alanlarının toplamı

### Değerlendirme

Hesaplanan bu parametreler kullanılarak hemen kullanım ( $HI_{IO}$ ) ve can güvenliği ( $HI_{LS}$ ) Hasar İndeksleri sırasıyla Denklem 3.20 ve 3.21 kullanılarak hesaplanabilir.

$$HI_{IO} = 0.808n - 0.334mnlstfi - 0.107mnlsci - 0.687nrs + 0.508ssi + 3.884or - 2.868 \quad (3.20)$$

$$HI_{LS} = 0.620n - 0.249mnlstfi - 0.182mnlsci - 0.699nrs + 3.269ssi + 2.728or - 4.905 \quad (3.21)$$

Hesaplanan bu Hasar İndeksleri Denklem 3.22 ve 3.23’de verilen kat adedi, zemin türü ve fay hattına olan mesafeye bağlı sınır değerler (CV) ile karşılaştırılacaktır. CM değerleri Çizelge 3.14’de verilmiştir.

$$CV_{IO} = CM \times (-0.085n^3 + 1.416n^2 - 6.951n + 9.979) \quad (3.22)$$

$$CV_{IO} = CM \times (-0.085n^3 + 1.416n^2 - 6.951n + 9.979) \quad (3.23)$$

Çizelge 3.14 : Zemin türü ve faya olan mesafeye bağlı  $CM$  değerleri

Zemin Türü	Kayma Dalgası Hızı (m/s)	Mesafe (km)				
		0-4	5-8	9-15	16-25	>26
B	>760	0.778	0.824	0.928	1.128	1.538
C	360-760	0.864	1.000	1.240	1.642	2.414
D	180-360	0.970	1.180	1.530	2.099	3.177
E	<180	1.082	1.360	1.810	2.534	3.900

$HI_{IO}$  ve  $HI_{LS}$  değerleri karşılık gelen  $CV_{IO}$  ve  $CV_{LS}$  değerleri ile aşağıdaki şekilde karşılaştırılarak Performans Grupları (PG) hesaplanır.

$$HI_{IO} > CV_{IO} \text{ ise } PG_{IO} = 1$$

$$HI_{IO} < CV_{IO} \text{ ise } PG_{IO} = 0$$

$$HI_{LS} > CV_{LS} \text{ ise } PG_{LS} = 1$$

$$HI_{LS} < CV_{LS} \text{ ise } PG_{LS} = 0$$

Yapının nihai performans durumu PG değerleri kullanılarak şu şekilde belirlenir :

$PG_{IO} = 0$  ve  $PG_{LS} = 0$  ise GÜVENLİ YAPI

$PG_{IO} = 1$  ve  $PG_{LS} = 1$  ise GÜVENSİZ YAPI

Diğer durumlarda ise ARA BÖLGEDEKİ YAPI

Ara bölgedeki yapıların genellikle orta hasar durumunda olmasının beklendiği ifade edilmekte fakat daha ayrıntılı inceleme yapılmasının daha sağlıklı olacağı vurgulanmaktadır.

## **DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ANALİZ YÖNTEMLERİ**

### **4. ANALİZ YÖNTEMLERİ**

#### **4.1 Genel**

Bir yapının değerlendirilmesi için kullanılacak yöntemler eleman davranış özellikleri dikkate alınarak doğrusal ve doğrusal ötesi olarak iki grupta incelenebilir. Doğrusal yöntemlerde yapıyı oluşturan elemanların dayanımları dikkate alınmaz ve elemanlarda herhangi bir akma olayı meydana gelmeksizin analiz boyunca elastik kalacakları varsayılır. Doğrusal ötesi yöntemlerde ise her eleman için deformasyon-dayanım bağıntıları tanımlanarak elemanların kapasiteleri göz önüne alınır ve analiz boyunca meydana gelebilecek rijitlik değişimleri hesaba katılmış olur.

Analiz yöntemleri yapıya uygulanan yükleme durumu dikkate alınarak da iki gruba ayrılabilir : statik ve dinamik analiz yöntemleri. Statik analizde yük analiz boyunca sabit kalabilir veya yapı direncine göre belirli bir düzende artıp azalabilir (Artımsal İtme Analizi). Dinamik analizde ise deprem veya rüzgar yükü altında yapı davranışının incelenmesi amaçlandığından yükleme zamana bağlı olarak değişken biçimdedir. Belirli zaman dilimlerinde pozitif veya negatif yönde farklı değerlerde olabilir.

#### **4.2 Doğrusal Analiz Yöntemleri**

Doğrusal analiz yöntemlerinde yapı elemanlarının doğrusal ve elastik olduğu varsayılır. Böylelikle tanımlanan çeşitli yük kombinasyonları süperpoze edilerek

elemanlarda oluşabilecek en büyük kesit zorlanmaları bulunabilir. Eleman dayanımları dikkate alınmadığından kapasite değil talebin belirlenmesinde kullanılabilir, yapı elemanlarında akma başladıktan sonra yapılan kabuller gerçekten uzaklaşmaya başlar.

#### 4.2.1 Statik Analiz

En basit ve kolay uygulanabilen analiz yöntemidir. Bu sebeple günümüzde dahi inşaat mühendisliği yönetmelik ve şartnamelerinde dikkate alınan temel yöntemdir. Yapıya uygulanan statik bir yükün yapı elemanları arasında rijitlikleri oranında dağıtılması esasına dayanır. Bu işlem günümüzdeki bilgisayar teknolojisi ile çok büyük yapılarda dahi önemli bir zorluk teşkil etmez.

Yapı elemanları düşey yükler altında kullanılabilirlik gereği elastik kalacak biçimde tasarlandığı için özellikle düşey yükler altında oldukça güvenilir sonuçlar verir. Eşdeğer statik deprem yükü kullanılarak yapının deprem etkisi altında davranışının değerlendirilmesinde de kullanılır. Fakat yapının kapasitesinin zorlanacağı deprem gibi yüklemeler altında gerek dinamik yükün statik olarak uygulanmasıyla yüklemenin yaklaşıklık içermesi gerekse de yapı elemanlarında akmalar meydana geleceğinden gerçekten oldukça uzaklaşılabilir.

#### 4.2.2 Dinamik Analiz

Mühendislerce tasarlanan yapıları asıl zorlayan kritik yükler deprem ve rüzgar gibi dinamik karakterdeki yüklerdir. Bu sebeple bu yüklerin doğasına uygun biçimde yapı davranışına yansıtılması dinamik analiz ile yapılabilir. Dinamik analiz Denklem 4.1'de gösterilen herhangi bir dinamik kitabında bulunabilecek hareket denkleminin çözülmesi ile yapılır (Tedesco, 1998 ve Chopra, 2000).

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{x}_g \quad (4.1)$$

$m$  = Kütle matrisi,  $c$  = Sönüm matrisi,  $x$  = Kütleinin yere göre yerdeğiştirmesi,  $k$  = Rijitlik matrisi,  $\ddot{x}_g$  = Deprem yer ivmesidir.

Yapıda bulunan her bir düğümün ilk deplasman, hız ve ivme değerleri bilindiğinde ivme kaydı küçük zaman dilimleri için nümerik olarak integre edilerek her bir zaman dilimi sonundaki deplasman, hız ve ivme değerleri bulunur. Bu işlem tekrar edilerek tüm ivme kaydı için yapıda meydana gelen etkiler düğümlerin deplasman, hız ve ivme değerleri kullanılarak hesaplanabilir.

Bu yöntem doğrusal statik analizde depremin eşdeğer statik bir yük olarak tanımlanmasıyla meydana gelen yaklaşıklığı ortadan kaldırdığından daha gerçekçi bir analize imkan vermektedir. Yapılarda çeşitli depremlerde meydana gelecek elastik taleplerin belirlenmesinde kullanılabilir.

### 4.3 Doğrusal Ötesi Analiz Yöntemleri

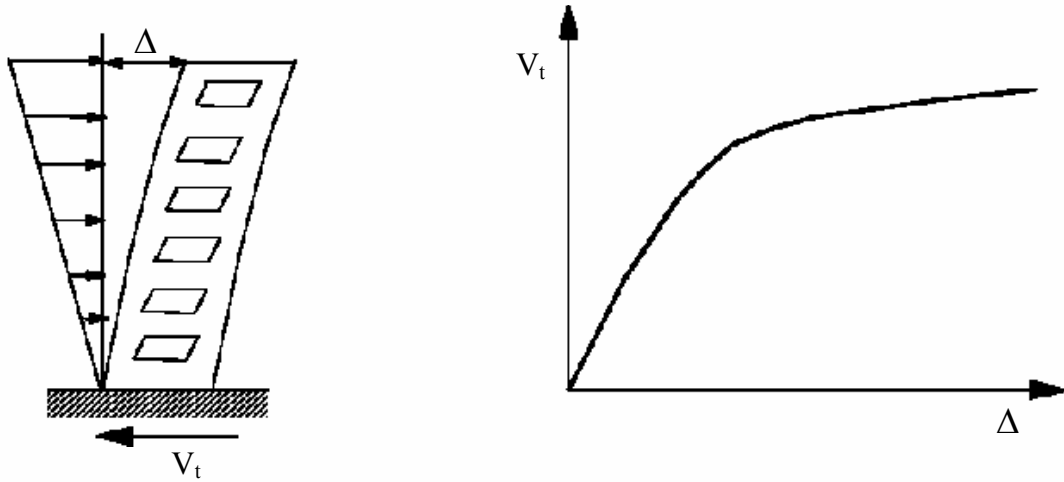
Yapılar kullanım süreleri boyunca üzerlerine gelebilecek tüm yükler altında elastik kalacak şekilde tasarlanmazlar. Bu sebeple doğrusal analiz yöntemlerinin içerdiği doğrusal elastik eleman kabulü gerçek hayatta özellikle deprem etkisi altında pek olası değildir. Bu nedenle yapının dayanım ve deformasyon kapasitesi, kritik yüklemelerin yapı elemanları arasında nasıl paylaşılacağı gibi akmadan sonra gerçekleşebilecek olayların incelenmesi ancak doğrusal ötesi analiz yöntemleriyle mümkündür. Kısaca taleple ilgili değerlendirmeler doğrusal yöntemlerle bir derece yapılabilirken kapasite ile ilgili değerlendirmeler doğrusal ötesi yöntemlerle yapılabilir.

#### 4.3.1 Doğrusal Ötesi Statik Analiz

Artımsal İtme analizi olarak da tanımlanan bu analiz türü son yıllarda inşaat mühendisliğinde oldukça önem kazanmış bir konudur. Elemanların dayanım özelliklerinin dikkate alındığı bu yöntem yapı elemanları aktıktan sonra yapı

davranışının değerlendirilmesinde yeterince gerçekçi ve kullanılabilir ölçüde pratik bir metot olarak kabul edilmektedir.

Bu analizde temel olarak şu adımlar yer almaktadır : Öncelikle deprem sırasında yapıda var olduğu kabul edilen düşey yükler yapıya etkilir. Belirlenen yük deseni ile yapı ittirilmeye başlanır. Bu itme işlemi sırasında herhangi bir elemanda akma durumu meydana gelirse mafsallanmış olan bölgeden eleman iki parçaya bölünerek bu nokta düğüm haline getirilir. Bu düğüm elemanın dönme rijitliğini yansıtan bir dönme redörü konularak analize devam edilir. Analiz belirli bir deplasman değerine veya yapı stabilitesini kaybedene kadar devam edilir. Analizin her bir safhasında taban kesmesi ( $V_t$ ) ve belirlenen bir yerdeğiştirme değeri (genellikle çatı ötelenmesi) ( $\Delta$ ) kaydedilir. Böylelikle Şekil 4.1'dekine benzer bir grafik elde edilir.



Şekil 4.1 : İtme şekli ve tipik taban kesmesi-çatı ötelenmesi grafiği

Bu taban kesme kuvveti-çatı ötelenmesi grafiği yapı performansının anlaşılması bakımından oldukça faydalı bilgiler sunar. Bunun yanında doğrusal ötesi statik analiz ile doğrusal analiz ile elde edilemeyen şu bilgilerin de sağlanabileceği söylenebilir (Krawinkler ve Seneviratna, 1998):

- Gevrek elemanlar üzerindeki gerçekçi kuvvet talepleri



- Doğrusal ötesi ötelenme göstererek enerji sönümleyen elemanlar üzerindeki deplasman talepleri
- Bazı elemanların dayanım kayıplarının sistem davranışı üzerindeki etkileri
- Deplasman talebinin yüksek olduğu, detaylandırmada dikkat edilmesi gereken bölgeler
- Doğrusal ötesi davranış bölgesinde yapının dinamik karakterini etkileyebilecek planda ve düşeyde dayanım süreksizlikleri
- Dayanım veya rijitlik düzensizlikleri ve  $P-\Delta$  etkilerinin belirlenmesinde kullanılacak olan katlar arası ötelenmelerin belirlenmesi
- Yapı sisteminin, analiz boyunca sistem üzerindeki yükleri temele aktarabilmesini sağlayacak yeterli bir yük yoluna sahip olup olmadığı

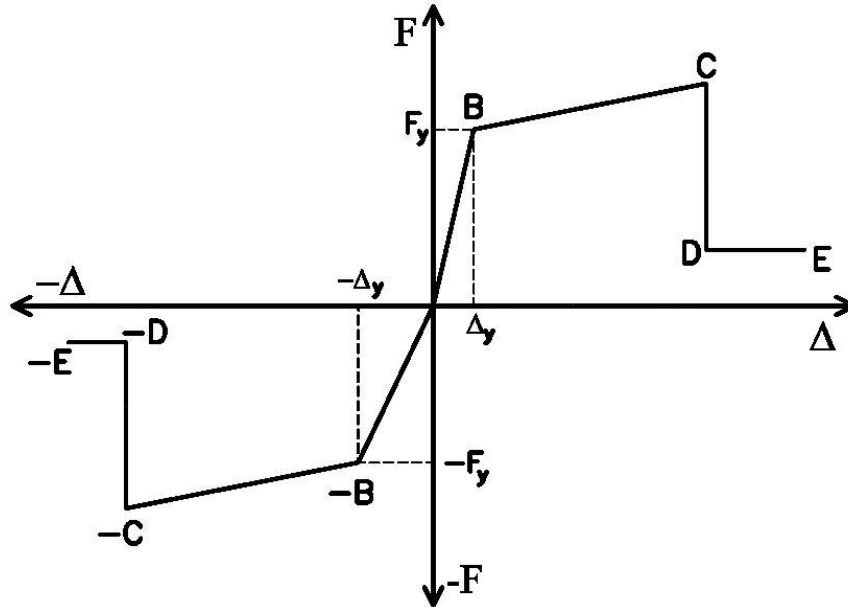
#### 4.3.2 Doğrusal Ötesi Dinamik Analiz

Doğrusal ötesi dinamik analiz en karmaşık ve gelişmiş analiz türüdür. Statik analizde bulunan dinamik yükün statik olarak ifade edilme durumu bu tür analizde bulunmaz. Verilen yükleme durumu için en gerçekçi davranış şeklini yansıtır. Fakat kullanılması oldukça zordur. Çok büyük hesap gücü ve zamana ihtiyaç duyar, ayrıca üretilen çok büyük miktardaki verinin derlenip değerlendirilmesi en az analizin gerçekleştirilmesi kadar zordur.

Uygulanması aynı doğrusal dinamik analiz gibidir. Fakat herhangi bir elemanın dayanım veya rijitlik özelliklerinde bir değişiklik olması durumunda sistem rijitlik matrisi ve eleman üzerindeki yük buna göre değiştirilerek analize devam edilir.

#### 4.4 Plastik Mafsall

Doğrusal ötesi analizlerin farkının elemanların kapasitelerinin dikkate alınması olduğunu belirtmiştik. Bu elemanlar üzerinde tanımlanan plastik mafsallar yoluyla gerçekleştirilmektedir. Mafsallaşmanın oluşacağı beklenen noktalar üzerinde tanımlanan plastik mafsallar yardımıyla elemanın o noktasının deformasyon-dayanım ilişkisi tanımlanmış olmaktadır. SAP2000, ETABS gibi programlarda bu tanımlama Şekil 4.2’de görülene benzer idealleştirilmiş dayanım-deformasyon eğrileri ile yapılmaktadır.



Şekil 4.2 : İdealleştirilmiş dayanım-deformasyon eğrisi

Şekilde de görüldüğü gibi bu eğrilerin tanımlanması için 8 noktaya ihtiyaç vardır. Eleman pozitif ve negatif deplasmanda aynı özellikleri taşıyorsa eğri simetrik hale gelmekte ve 4 noktanın tanımlanmış olması yeterli olmaktadır. Eksenel yük, kesme ve eğilme plastik mafsalları aynı prensipler ile tanımlanmaktadır.

Analiz aşamalarında herhangi bir plastik mafsalda  $F_y$  dayanım değerine ulaşıldığında elemanın akma olayı gerçekleşmiş olmakta ve eleman rijitliği bu mafsallara dikkate alınarak değiştirilmektedir. Bu noktadan sonra plastik mafsallardaki kuvvet

deformasyona bağlı olarak tanımlanan şekilde değişmektedir. Deplasman değeri C noktasıyla tanımlanan değere ulaşınca plastik mafsallarda göçme konumuna ulaşmakta ve üzerindeki kuvvet tanımlanan ölçüde azaltılmaktadır. Nihai olarak deformasyon değeri E noktasına ulaşınca mafsallarda dayanımını tamamen kaybederek hiç kuvvet taşıyamamaktadır.

Bu şekilde doğrusal analizde olduğu gibi elemanlar üzerinde taşıyamayacağı yükler oluşmamakta, bir elemanın kapasitesine ulaşmasıyla geri kalan yük etkileri diğer elemanlara aktarılmakta ve sistem bazında uyum analizlerde dikkate alınabilmektedir. Ayrıca kapasitesini doldurarak göçen elemanların sistem davranışına etkisi ve yapının hangi deformasyon değerinde stabilitesini kaybedeceği de hesaplanabilmektedir. Tanımlanan plastik mafsallar ile doğrusal ötesi analizler bir çok bakımdan doğrusal analizlerden daha avantajlı konuma gelmektedir.

## BEŞİNCİ BÖLÜM TASARIM VE MODELLEME

### 5. TASARIM VE MODELLEME

#### 5.1 Hazırlanan Modeller

Çalışma kapsamında incelenecek olan yapısal düzensizliklerin değerlendirilmesi amacıyla hiçbir düzensizliği olmayan 2 adet bina kullanılmıştır. Bu referans binalar yapı ve zemin özellikleri bakımından sık rastlanan betonarme binaları temsil etmesi için Z3 zemin sınıfı üzerinde, 4 ve 7 katlı olarak seçilmiştir. Referans binalar 1975 Afet Yönetmeliği esas alınarak tasarlanmıştır.

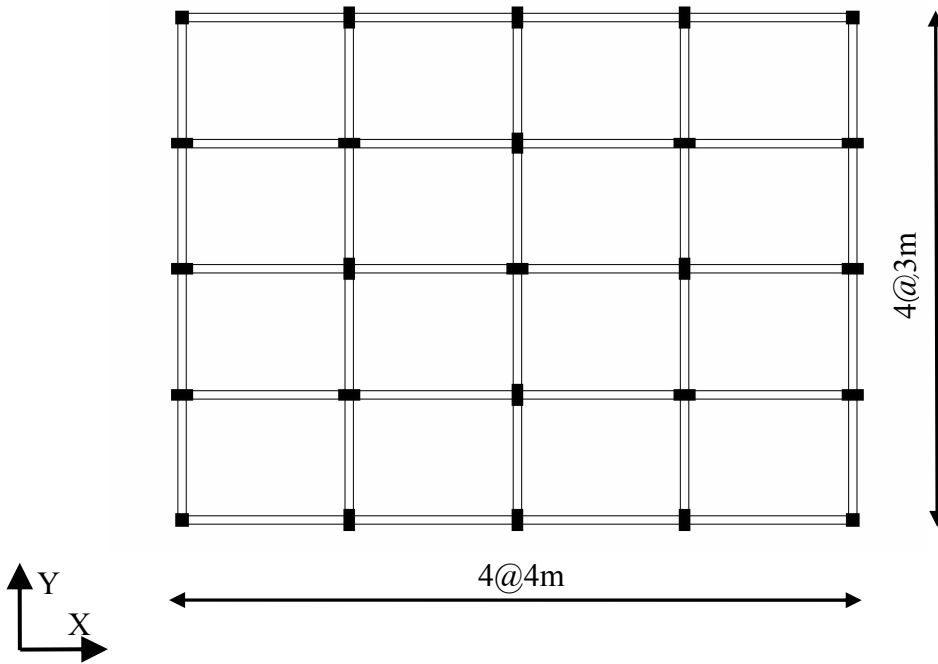
Daha sonra bu referans binalar belirtilen düzensizliklerin pratikte rastlanabilecek hallerine sahip olacak şekilde değişikliğe uğratarak tekrar modellenmiştir. Düzensiz binalar için tekrar tasarım yapılmamış referans binanın eleman kesit ve donatıları kullanılmıştır. Düzensizliğe sahip yapıların referans yapılarla kapasite ve istem farklılıkları incelenerek düzensizliklerin ne gibi olumsuzluklara yol açtığı belirlenmiştir. Hazırlanan her bir bina 10 cm ve 20 cm olmak üzere iki farklı etriye aralığı için de modellenerek etriye aralığının yapı davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Analizlerde SAP2000 programı kullanılmıştır.

#### 5.1.1 Referans Binalar

4 ve 7 katlı referans binalar için Şekil 5.1’de görüldüğü gibi uzun yönde (x-yönü) 4 m, kısa yönde (y-yönü) 3 m açıklığa sahip 4’er akstan oluşan 16 m x12 m boyutunda 192 m<sup>2</sup> kat alana sahip bir kat planı belirlenmiştir. Bu kat planına sahip 4 ve 7 katlı

binalar Türkiye yapı stokunda hala ağırlıklı bir yeri olması nedeniyle 1975 Afet Yönetmeliği'ne göre tasarlanmıştır.

Yapıda döşeme kalınlığı 12 cm alınmış, normal katların fayans kaplı olduğu varsayılarak gerekli tesviye betonu ve diğer malzemeler ile birlikte  $0.470 \text{ t/m}^2$  ölü ağırlık hesaplanmıştır. Çatı katında tesviye betonu öngörülmemekle birlikte yalıtım ve ahşap çatı örtüsü ile  $0.450 \text{ t/m}^2$  ölü ağırlık hesaplanmıştır. Çatı kat hariç diğer tüm kirişlerin üstünde dolgu duvar olduğu varsayılmış ve bu yük kirişlere düzgün yayılı yük olarak etkilmiştir. Diğer yüklemeler TS 498'e göre tanımlanmıştır. Yapıda bulunan döşemeler modellere dahil edilmemiş, bunun yerine kendi ağırlıkları ve üzerlerindeki yükler kirişlere yayılı yük olarak atanmış ve her kat seviyesinde rijit diyaframlar tanımlanmıştır. Yapının başlıca tasarım kriterleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Referans 4 ve 7 katlı binaların plan görünümü

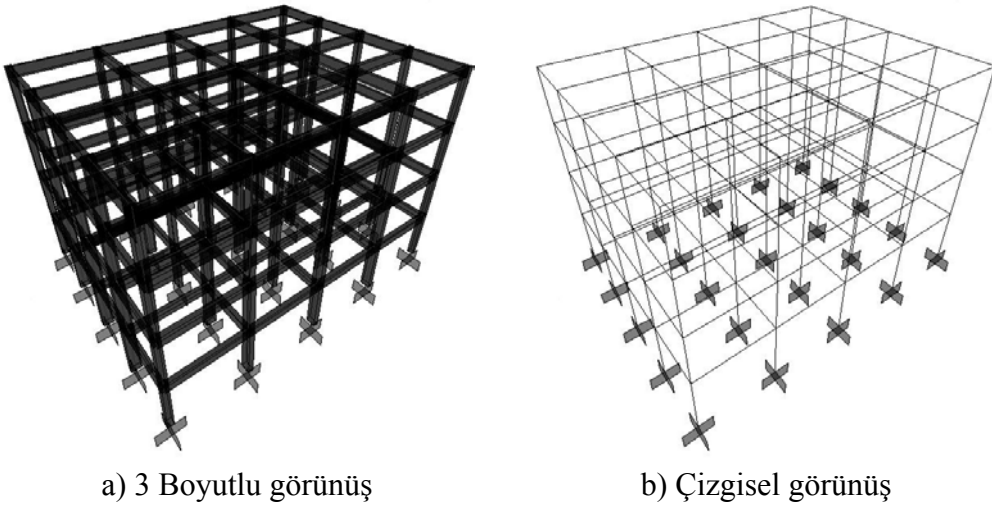
Referans binaların tasarımında davranışı etkileyebilecek tüm diğer faktörlerin minimize edilebilmesi amacıyla dikkat edilen bir başka husus ise binanın x ve y yönünde simetrik olmasıdır. Ayrıca yapı kolonlarının uzun boyutlarının çoğunlukla aynı yönde olması nedeniyle yapının her diğer deprem doğrultusunda zayıflık göstermemesi

için kolon yerleşiminde her iki tarafta uzun boyuta sahip kolonların dengeli sayıda olmasına dikkat edilmiştir.

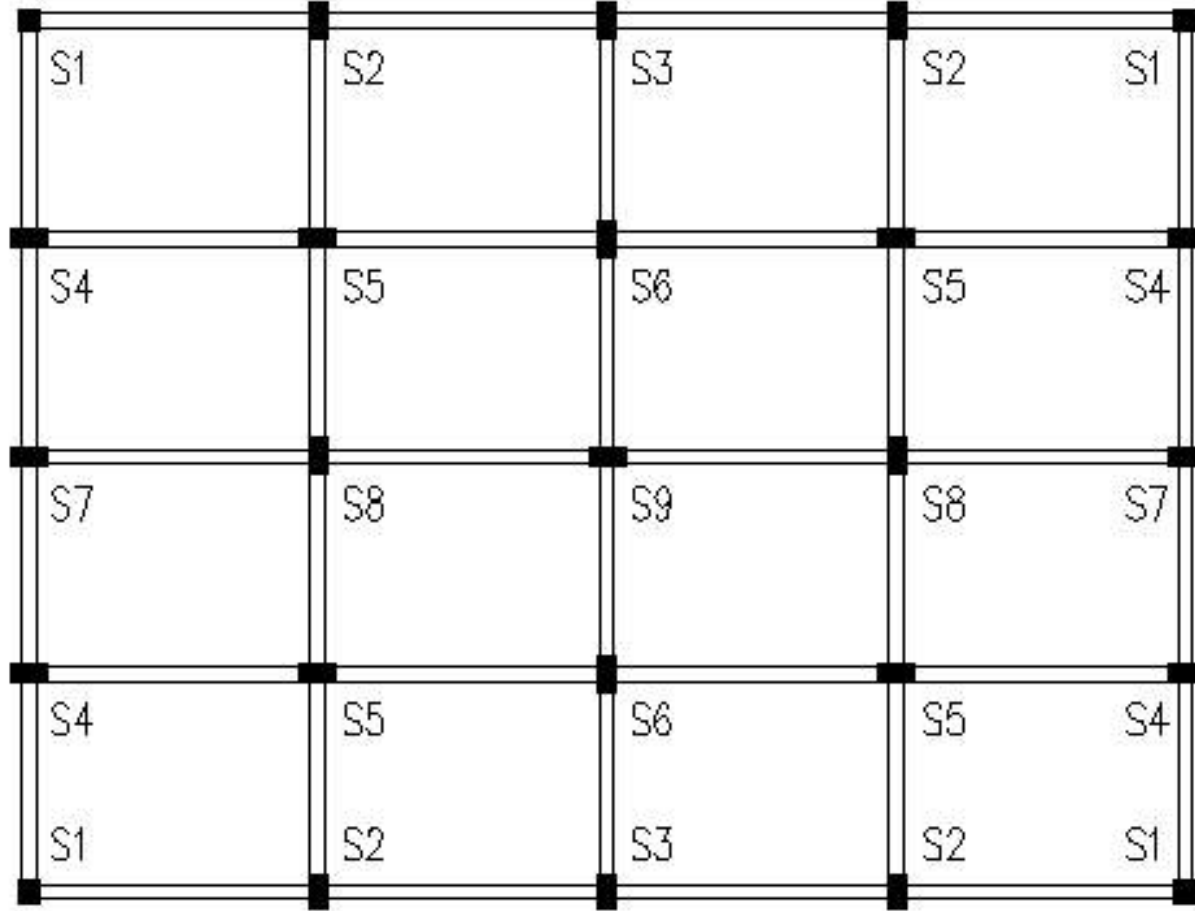
Çizelge 5.1 : Referans binaların tasarım kriterleri

Özellik Türü	Özellik	Değer
Yönetmelik		1975
Geometrik Özellikler	X-Boyut	16 m
	Y-Boyut	12 m
	Kat Yüksekliği	2.8 m
Malzeme Özellikleri	Beton Sınıfı	BS 16
	Çelik Sınıfı	S220 (BÇI)
Yük Tanımları	Hareketli Yük (Normal Kat)	0.200 t/m <sup>2</sup>
	Hareketli Yük (Çatı Kat)	0.150 t/m <sup>2</sup>
	Ölü Yük (Normal Kat)	0.470 t/m <sup>2</sup>
	Ölü Yük (Çatı Kat)	0.450 t/m <sup>2</sup>
	Duvar Yükü	0.600 t/m
	Hareketli Yük Azaltma Katsayısı (n)	0.3
Zemin Özellikleri	Yerel Zemin Sınıfı	Z3
Deprem Bölgesi	1. Derece	0.4g

Referans binalarda eski yapılarda oldukça sık görülen üst katlara çıkıldıkça kolon boyutlarının küçültülmesi durumu dikkate alınmıştır. Bu sebeple tasarım yapılırken üst katlara doğru kolonlar küçültülmüş ve tasarım kriterlerini sağlayan en küçük kolon boyutlarının (tipik ölçülerin dışına çıkmadan) kullanılmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 5.2 : 4 katlı referans binanın üç boyutlu ve çizgisel görünüşü



Şekil 5.3 : Referans binalar plan görünüşü ve kolon isimlendirmesi

Tüm bu tasarım işlemleri sonucunda kolon donatı ve boyutları 4 katlı binalar için Çizelge 5.2 ve 7 katlı binalar için Çizelge 5.3'te verilen şekildedir. Kolon isimlendirmesi için Şekil 5.3'e bakılabilir. Binalar x ve y yönlerinde simetrik olduğu için 25 kolondan yalnız 9 tanesinin bilgileri verilecektir. 4 katlı binalarda 20x50 cm, 7 katlı binalarda 25x60 cm ebatlarında kirişler kullanılmıştır.

Çizelge 5.2 : 4 katlı referans bina kolon bilgileri

Kat	Kolon	X-Boyut	Y-Boyut	Donatı	
				Başlık	Gövde
Zemin Kat	S1	30	30	2x3 $\phi$ 14	-
	S2, S3	25	50	2x4 $\phi$ 16	2x1 $\phi$ 14
	S4, S5, S7, S9	50	25	2x4 $\phi$ 14	2x1 $\phi$ 14
	S6	25	50	2x4 $\phi$ 14	2x1 $\phi$ 14
	S8	25	50	2x4 $\phi$ 14	2x1 $\phi$ 14
1. Normal Kat	S1	30	30	2x3 $\phi$ 14	-
	S2, S3, S6, S8	25	50	2x4 $\phi$ 14	2x1 $\phi$ 14
	S4, S5, S7, S9	50	25	2x4 $\phi$ 14	2x1 $\phi$ 14
2. Normal Kat	S1	30	30	2x3 $\phi$ 14	-
	S2, S3, S6, S8	25	40	2x4 $\phi$ 14	-
	S4, S5, S7, S9	40	25	2x4 $\phi$ 14	-
3. Normal Kat	S1	30	30	2x3 $\phi$ 14	-
	S2, S3, S6, S8	25	40	2x4 $\phi$ 14	-
	S4, S5, S7, S9	40	25	2x4 $\phi$ 14	-



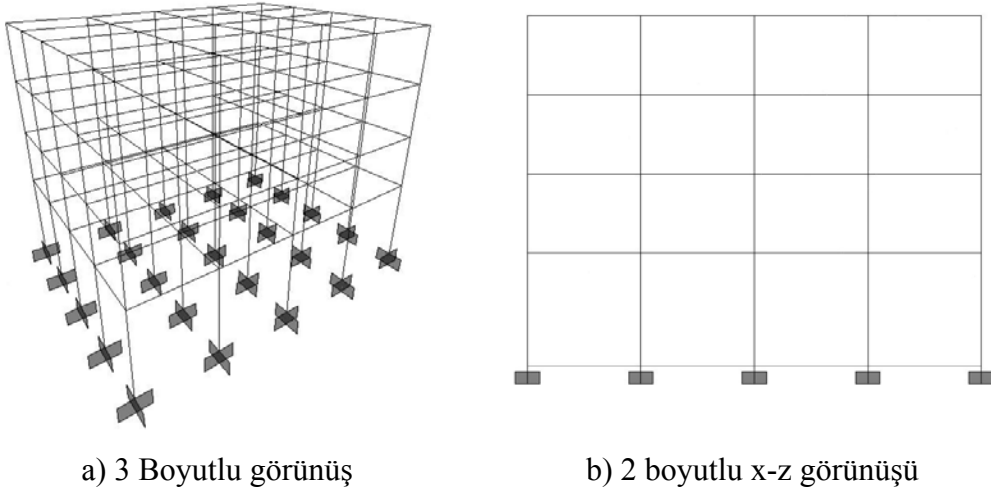
Çizelge 5.3 : 7 katlı referans bina kolon bilgileri

Kat	Kolon	X-Boyut	Y-Boyut	Donatı	
				Başlık	Gövde
Zemin Kat	S1	40	40	2x5φ14	2x1φ14
	S2, S3	30	60	2x6φ16	2x1φ14
	S4	60	30	2x6φ16	2x1φ14
	S5, S9	60	30	2x4φ16	2x1φ14
	S6, S8	30	60	2x4φ16	2x1φ14
	S7	60	30	2x5φ16	2x1φ14
1. Normal Kat	S1	40	40	2x5φ14	2x1φ14
	S2, S3	30	60	2x6φ16	2x1φ14
	S4	60	30	2x6φ16	2x1φ14
	S5	60	30	2x4φ16	2x1φ14
	S6, S8	30	60	2x4φ16	2x1φ14
	S7	60	30	2x5φ16	2x1φ14
	S9	60	30	2x4φ16	2x1φ14
2. Normal Kat	S1	40	40	2x5φ14	2x1φ14
	S2, S3, S6, S8	30	60	2x4φ14	2x2φ14
	S4, S7, S9	60	30	2x4φ14	2x2φ14
	S5	60	30	2x4φ14	2x3φ14
3. Normal Kat	S1	35	35	2x3φ14	2x1φ14
	S2	25	50	2x3φ14	2x2φ14
	S3	25	50	2x4φ14	2x1φ14
	S4, S7	50	25	2x3φ14	2x2φ14
	S5	50	25	2x4φ16	2x2φ14
	S6, S8	25	50	2x4φ16	2x1φ14
	S9	50	25	2x4φ14	2x2φ14
4. Normal Kat	S1	35	35	2x3φ14	2x1φ14
	S2, S3, S6, S8	25	50	2x4φ14	2x1φ14
	S4, S7	50	25	2x3φ14	2x2φ14
	S5	50	25	2x4φ14	2x2φ14
	S9	50	25	2x4φ14	2x1φ14
5. Normal Kat	S1	30	30	2x3φ14	-
	S2, S3	25	40	2x3φ14	2x1φ14
	S4, S5, S7, S9	40	25	2x3φ14	2x1φ14
	S6, S8	25	40	2x4φ14	-
6. Normal Kat	S1	30	30	2x3φ14	-
	S2, S3, S6, S8	25	40	2x4φ14	-
	S4, S5, S7, S9	40	25	2x4φ14	-

### 5.1.2 Yumuşak Kat

Yurdumuzda ve dünyada yumuşak kat düzensizliği genellikle çeşitli nedenlerle zemin katın gerekli rijitliğe sahip olmaması sonucu oluşmaktadır. Binaların diğer katlarında da yumuşak kat oluşması mümkün olsa da bu sık rastlanan bir durum değildir ve hızlı değerlendirme metodlarında dikkate alınması mümkün değildir. Bu sebeple tez kapsamında zemin katta yumuşak kat davranışı ele alınmıştır.

Yumuşak kat davranışının incelenmesi için tasarlanan 4 ve 7 katlı referans binaların zemin kat yüksekliği Şekil 5.4'te görüldüğü gibi 2.8 m den 4 m ye çıkarılmıştır. Bu şekilde yapı tekrar modellenerek analize tabi tutulmuştur.

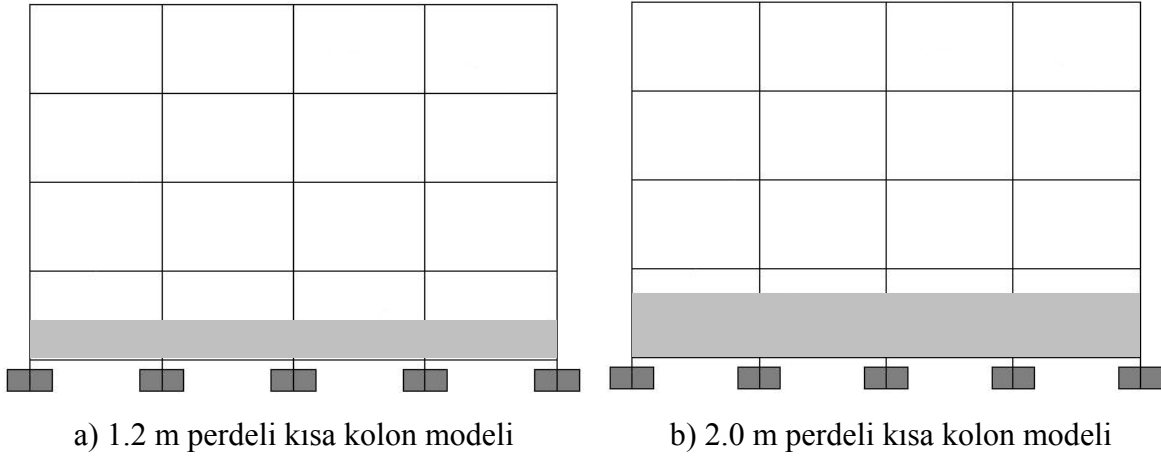


Şekil 5.4 : 4 katlı yumuşak katlı binanın üç ve iki boyutlu görünüşü

### 5.1.3 Kısa Kolon

Kısa kolon modelleri için ülkemizde zemin katta sıklıkla rastlanabilen yarım perde uygulaması dikkate alınmıştır. Zemin katın bir bölümünün yer seviyesinin altında olması veya başka nedenlerle yapılan yarım perdeler kolonların net boyunun kısalmasına ve kısa kolon oluşumuna neden olabilmektedir.

Hazırlanan modellerde 4 katlı bina için 1.2 m yükseklikte perde, zemin katta binanın tüm çevresi boyunca yerleştirilmiştir. Hazırlanan 4 katlı diğer modelde ise Şekil 5.5'te görüldüğü gibi 30 cm bant pencere kiriş altında bırakılacak şekilde perde yüksekliği 2 m olarak değiştirilmiştir. 7 katlı bina için ise yalnız 30 cm bant pencere oluşturacak şekilde 1.9 m yüksekliğinde yarım perde bina etrafında modellenmiştir.

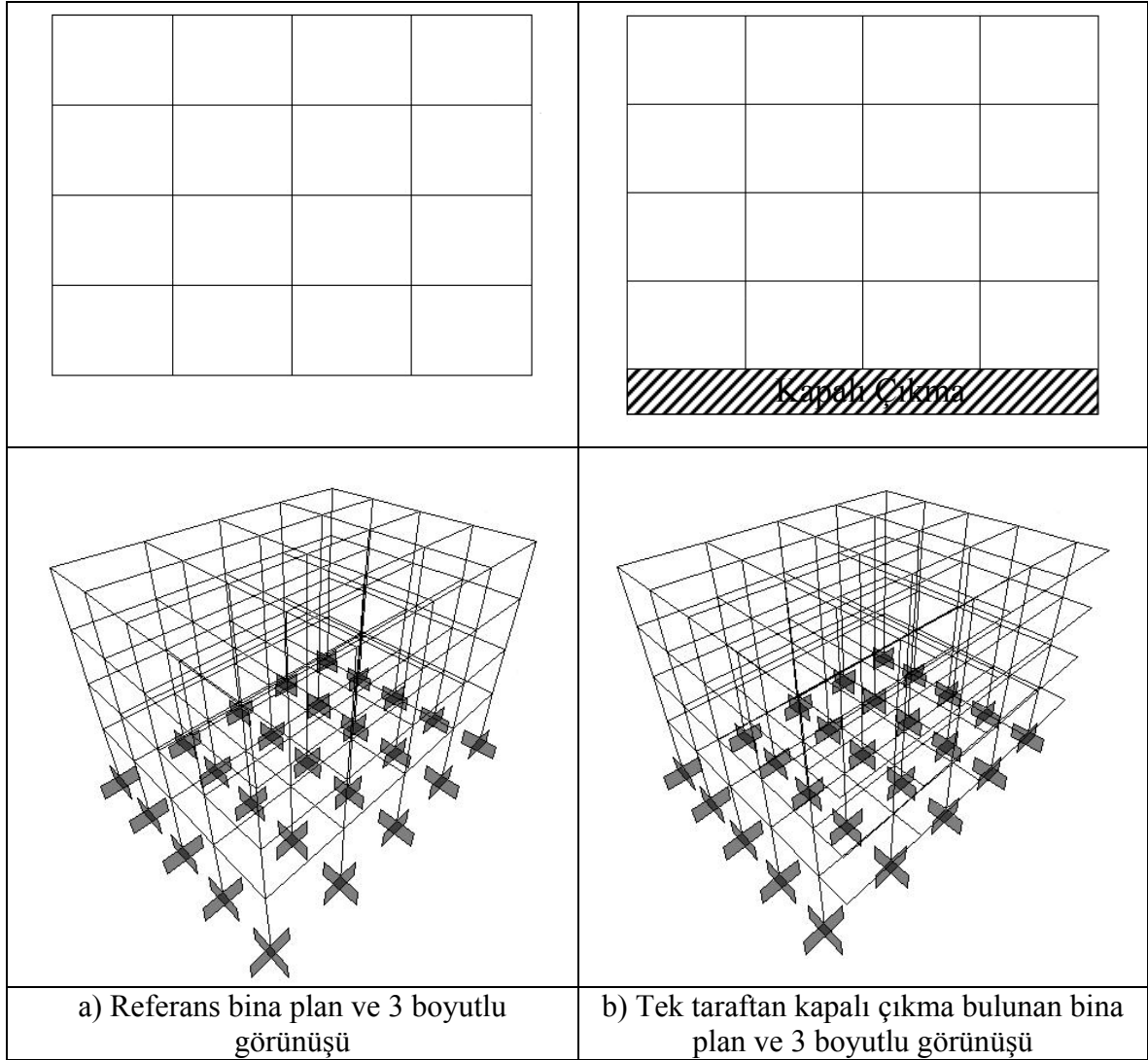


Şekil 5.5 : 4 katlı kısa kolon modelleri

### 5.1.4 Tek Taraftan Kapalı Çıkma

Yurdumuzda imar mevzuatı ilk normal kat alanının zemin kat alanından fazla olmasına izin vermekte ve böylelikle binalarda en dış kolon aksının dışına taşılarak çıkmalar meydana getirilmesi adeta özendirilmektedir. Ancak bu durumun binaların deprem davranışı açısından olumsuzluklar meydana getirdiği bilinmektedir.

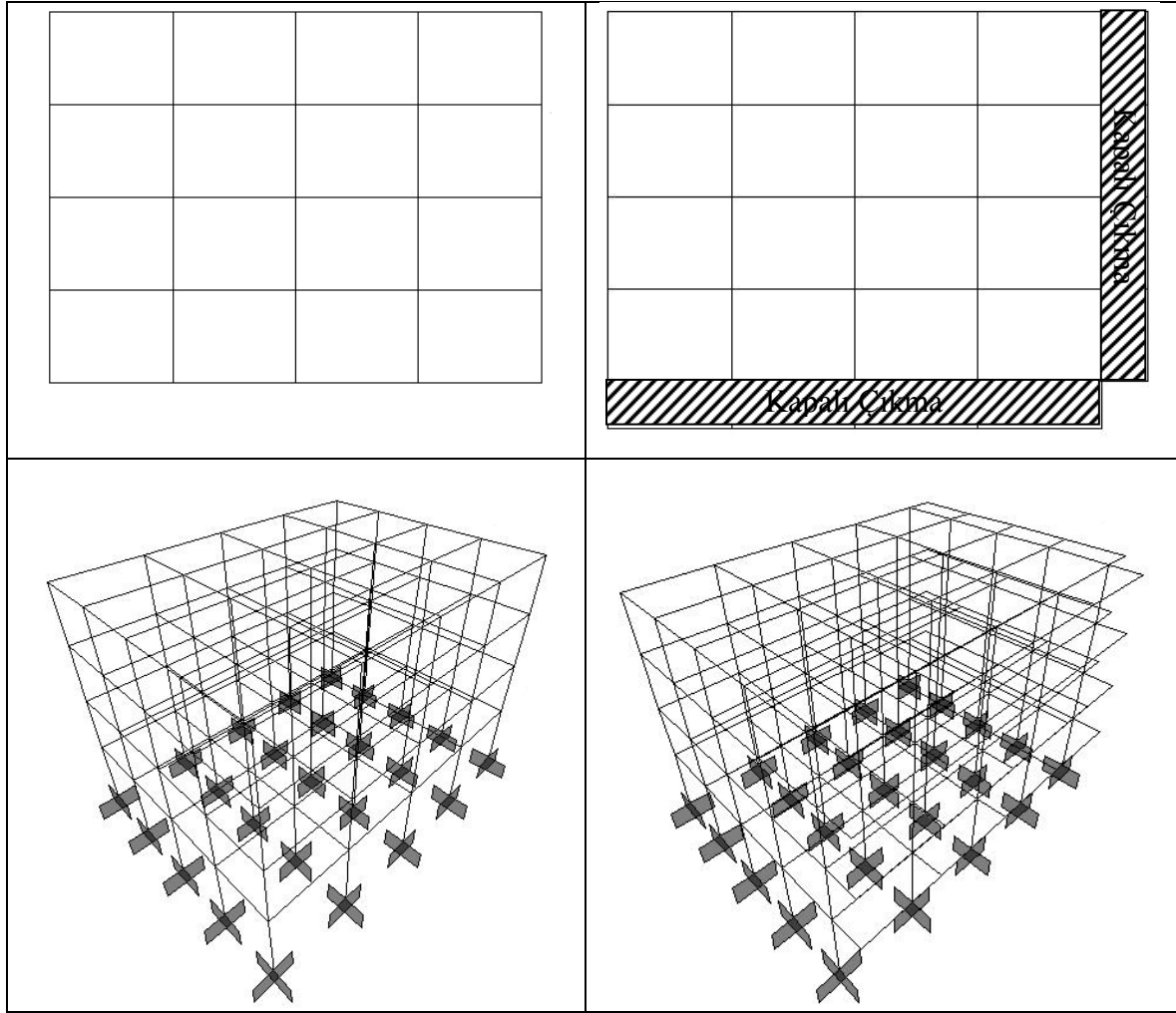
Yapının tek tarafından kapalı çıkmanın davranışa etkisinin araştırılması için hazırlanan modeller referans binalara x-yönüne dik doğrultuda 1.5 m derinliğinde bir bölüm eklenmesi ile oluşturulmuştur. Bu bölüm kolonların bulunduğu aksta bulunan eski kiriş kaldırılmadan döşemenin 1.5 m uzatılması ve bu döşeme parçasının diğer üç tarafının da kirişlerle çevrilmesi ile meydana getirilmiştir. Bu durum Şekil 5.6'da görülmektedir. Duvar yükü kolon aksındaki kirişlerden kaldırılarak yeni tanımlanan en dış aks kirişleri üzerine etkilmiştir.



Şekil 5.6 : 4 katlı referans bina ve tek taraftan kapalı çıkma modelleri

### 5.1.5 İki Taraftan Kapalı Çıkma

Kapalı çıkmlar binanın tek bir tarafından yapılabileceği gibi daha fazla yönde de olabilir. Tez kapsamında bunlardan ağırlık merkezini en olumsuz şekilde etkileme ihtimali bulunan çapraz iki yönde çıkma yapılması durumu ele alınmıştır. Bu durumun modellenebilmesi için tek taraftan kapalı çıkma modelinde uygulanan işlemler referans binaya y-yönüne dik olarak da 1.5 m derinliğinde bir çıkma eklenmesi ile iki yönde uygulanmıştır. Bu durum Şekil 5.7’de görülmektedir.



a) Referans bina plan ve 3 boyutlu görünüşü

b) İki taraftan kapalı çıkma bulunan bina plan ve 3 boyutlu görünüşü

Şekil 5.7 : 4 katlı referans bina ve iki taraftan kapalı çıkma modelleri

### 5.1.6 Bina Modellerinin Özellikleri

Hazırlanan 4 ve 7 katlı modellere ait bilgiler sırasıyla Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'te verilmiştir. Çizelgede yer alan  $W_{\text{sisimik}}$  ifadesi ölü ağırlığın tamamı ve hareketli ağırlığın %30 luk (G+n.Q) bölümünü ifade etmektedir ve deprem anında yapıda öngörülen ağırlığı temsil etmektedir. T binanın birinci doğal titreşim periyodunu, H bina yüksekliğini ifade etmektedir. Çizelgelerde görülen model adları bu noktadan sonra açıklama bölümünde gösterilen modeli temsil edecek şekilde kullanılacaktır. Model adının ilk iki harfi katsayısını, diğer harfler ise düzensizliği ifade etmektedir.

Çizelge 5.4 : Hazırlanan 4 katlı modellere ait bilgiler

No	Model Adı	Açıklama	$W_{sismik}$ (ton)	T (s)	H (m)
1	K4dyok	4 katlı referans bina modeli	862	0.57	11.2
2	K4dyk	4 katlı yumuşak kat modeli	866	0.71	12.4
3	K4dkk	4 katlı kısa kolon modeli ( $h_{perde} = 1.2$ m)	885	0.51	11.2
4	K4dkk2	4 katlı kısa kolon modeli ( $h_{perde} = 2.0$ m)	897	0.47	11.2
5	K4dkc1	4 katlı tek taraftan kapalı çıkma modeli	948	0.63	11.2
6	K4dkc2	4 katlı iki taraftan kapalı çıkma modeli	1017	0.68	11.2

Çizelge 5.5 : Hazırlanan 7 katlı modellere ait bilgiler

No	Model Adı	Açıklama	$W_{sismik}$ (ton)	T (s)	H (m)
1	K7dyok	7 katlı referans bina modeli	1723	0.78	19.6
2	K7dyk	7 katlı yumuşak kat modeli	1730	0.88	20.8
3	K7dkk2	7 katlı kısa kolon modeli ( $h_{perde} = 1.9$ m)	1758	0.72	19.6
4	K7dkc1	7 katlı tek taraftan kapalı çıkma modeli	1898	0.87	19.6
5	K7dkc2	7 katlı iki taraftan kapalı çıkma modeli	2040	0.94	19.6

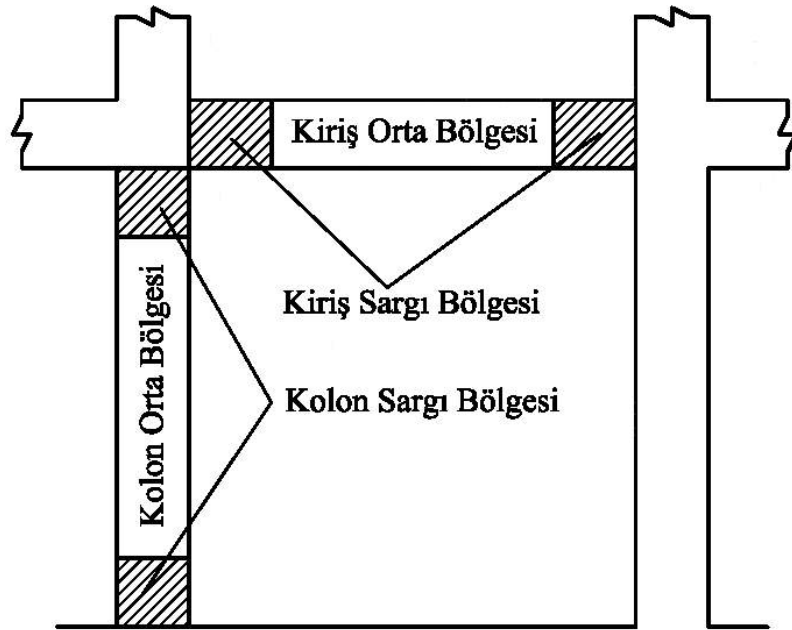
## 5.2 Doğrusal Ötesi Modelleme

Doğrusal ötesi yöntemlerde eleman kapasitelerinin de hesaba dahil edilmesi için eleman dayanım ve deformasyonları arasında bir ilişkinin tanımlanması gereklidir. Tez çalışmasında bu işlem elemanların doğrusal ötesi davranış göstermesi beklenen

bölgelerine tanımlanan plastik mafsallar yoluyla gerçekleştirilmiştir. Elemanların kesme ve eğilme altında hasar görebileceği öngörülerek her eleman için kesme ve eğilme mafsalları tanımlanmıştır.

### 5.2.1 Mafsal Bölgeleri

Betonarme elemanlarda en büyük kesit tesirlerine uç bölgeler maruz kalmaktadır. Bu nedenle hasar ve doğrusal ötesi davranış bu bölgelerde görülmektedir. Bu sebeple plastik mafsallar, yönetmeliğimizde (AY-98) etriye sıklaştırması yapılması şartı bulunmasından dolayı sargı bölgesi olarak da adlandırılan bu bölgelerde tanımlanmaktadır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 : Kolon ve kiriş elemanlarda sargılama bölgeleri

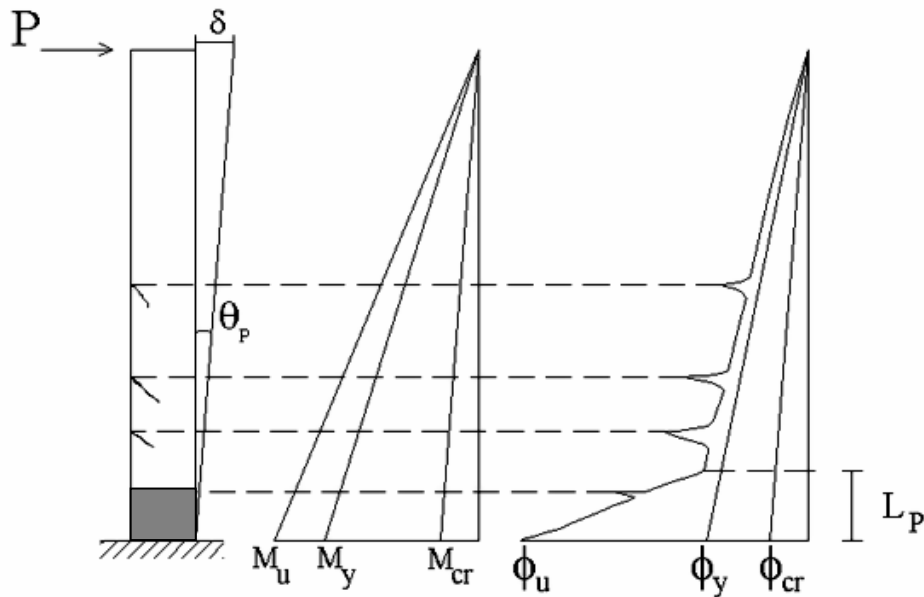
Plastik mafsalların tanımlanmasında sözü edilen etriye aralıkları bu bölgeler için göz önüne alınmaktadır. Betonarme elemanların orta bölgelerinin elastik kalacağı varsayıldığından bu bölgelerde bulunan yanal donatı miktarının analizlerde önemi

yoktur. Bu bölgelerde hasar beklenmesi durumunda bu noktalara da plastik mafsalları tanımlanmalıdır.

### 5.2.2 Eğilme Mafsalı

Betonarme bir yapıda eleman bazında üç tür göçme durumu mümkündür: aksel yük altında ezilme, kesme kırılması ve eğilme hasarı. Bunlardan yalnız eğilme davranışında belirli bir süneklikten bahsetmek mümkündür. Bu sebeple betonarme binalar eğilme davranışı altında göçmek üzere tasarlanırlar. Aksel yük ve kesme hasarları için de plastik mafsalları tanımlanabilmesine rağmen tek başına “plastik mafsalları” dendiğinde “eğilme plastik mafsalları” anlaşılmaktadır. Bu nedenle bina davranışı üzerinde büyük etkisi olan eğilme mafsalları nasıl tanımlandığı oldukça önemlidir. Eğilme mafsalları nasıl tanımlanacağını anlaşılmaması için betonarme bir elemanda eğilme hasarının nasıl oluştuğu incelenmelidir.

#### 5.2.2.1 Eğrilik Yoğunlaşması



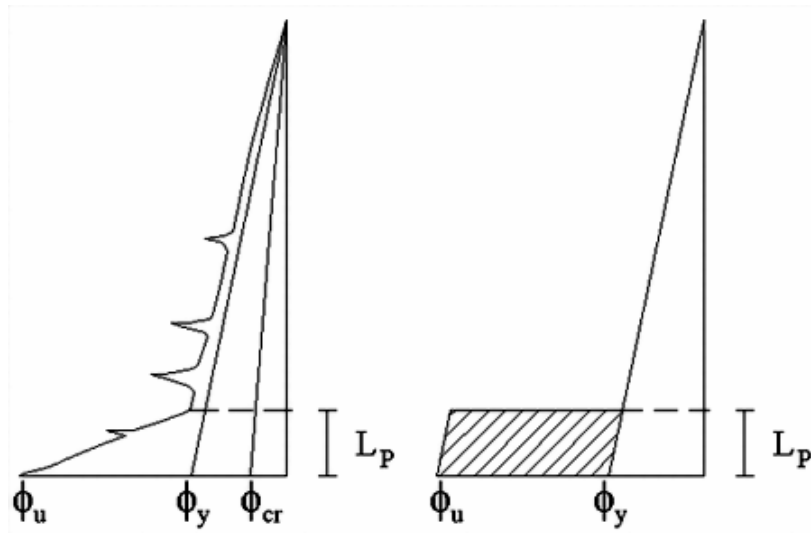
Şekil 5.9 : Eğilme altında bir betonarme elemanın moment ve eğrilik diyagramı



Şekil 5.9'daki çekme donatısına sahip şekildeki konsol kolonda P yükünün sıfırdan yavaş yavaş artırıldığını düşünelim. P yükü arttıkça mesnet momenti ara noktalarda doğrusal değişerek artar. Mesnetten başlayarak kesitlerde moment  $M_{cr}$  (çatlama momenti) değerine ulaştıkça kolon belirli noktalarda çatlamaya başlar. Kesitin çatladığı yerlerde kesit yüksekliği azaldığından kesit eylemsizlik momenti (I) azalır.  $\phi = M/EI$  olduğundan I değerinin azalmasıyla eğrilikte bir sıçrama meydana gelir. Bu durum mesnette  $M_y$  (akma momenti) değerine ulaşılan kadar sürer.  $M_y$  değerinden sonra  $M_u$  (nihai moment) değerine ulaşılan kadar momentteki artış büyük çatlamalara ve eğrilik artışlarına neden olur ve böylece kesit göçme konumuna ulaşır.

Göçmeden hemen önce akmanın gerçekleştiği kesitte plastikleşme uzunluğu veya 'plastik mafsal boyu' ( $L_p$ ) denilen bir mesafe içerisinde bir eğrilik yoğunlaşması olur. Bu yoğunlaşma yüzünden kolon mesnet bölgesinde bir mafsaldeki dönmeye benzer bir şekilde bir  $\theta_p$  açısı ile dönmüş gibi gözükür. Bu yüzden bu olay 'plastik mafsal' adını alır. Bu mafsalın normal mafsalın tek farkı dönmenin sıfır moment ile değil sabit sayılabilecek bir moment altında olmasıdır.

### 5.2.2.2 Eğrilik-Dönme İlişkisi



Şekil 5.10 : Eğrilik diyagramının idealleştirilmesi

Sözü edilen eğrilik yoğunlaşması olayı Şekil 5.10'da görülen idealleştirilmiş eğrilik grafiğiyle gösterilebilir. Grafik plastik mafsalsal bölgesine kadar eğrilik moment diyagramı gibi doğrusal olarak artarken, plastik mafsalsal bölgesinde ani olarak artış gösterir. Grafikteki taranmamış alan akma anına kadar, taralı kısım ise akmadan sonra plastik mafsalsalda oluşan eğrilik değerlerini gösterir.

Moment yükü kesit üzerinde eğilme deformasyonuna yol açarken eleman üzerindeki etkisi dönme deformasyonu şeklindedir. Eğilme plastik mafsalsalının dayanım-deformasyon bağıntısı karşılığı moment-dönme bağıntısıdır. Bu nedenle her bir eleman için moment-eğrilik ilişkisinin moment-dönme ilişkisine çevrilmesi gereklidir. Elemanın plastik mafsalsalın başı ve sonu arasındaki dönme miktarı eğilmenin Denklem 5.1a'da görüldüğü gibi plastik mafsalsal boyunca integre edilmesi ile bulunabilir. Fakat eğrilik değerinin Şekil 5.10'da görülen idealleştirmede olduğu gibi plastik mafsalsal boyunca sabit kaldığını kabul edersek dönme değeri Denklem 5.1b'de olduğu gibi eğrilik değerinin plastik mafsalsal boyuna çarpımına eşittir.

$$\theta = \int_0^{L_p} \phi(x) dx \quad (5.1a)$$

$$\theta = \phi \cdot L_p \quad (5.1b)$$

$\theta$  = Dönme değeri,  $\phi$  = Eğrilik değeri,  $L_p$  = Plastik mafsalsal boyudur.

### 5.2.2.3 Plastik Mafsalsal Boyu

Süneklik üzerinde önemli etkisi olan plastik mafsalsal boyu elemanın çeşitli özelliklerine bağlı olarak değişir. Bunlar :

- Mafsalsal ve moment sıfır noktası arası mesafe
- Boyuna donatının kenetlenme dayanımı ve boyuna donatıda çözülme olup olmaması

- Mafsals boyunca aktarılan kesme kuvveti
- Kesit üzerindeki aksenal yük
- Enine donatı ile orantılı olan sargı etkisi
- Betonun kabul edilebilir nihai birim deformasyonu
- Boyuna donatı çapı, tip ve mekanik özellikleri

Plastik mafsal boyu için literatürde çeşitli bağıntılar mevcuttur (Park ve Paulay, 1975; Priestley ve diğ., 1996; Fardis ve Biskinis, 2003). Tez çalışmasında bunlardan Priestly ve diğ. tarafından önerilen ve ATC 32 (1996) dokümanında da yer alan Denklem 5.2’de verilen bağıntı kullanılmıştır. Denklemde yer alan  $L_0$  mesafesi için yaklaşık olarak eleman net uzunluğunun yarısı kullanılmıştır.

$$L_p = 0.08L_0 + 0.022f_{ye}d_{bl} \geq 0.044f_{ye}d_{bl} \quad (\text{MPa, mm}) \quad (5.2)$$

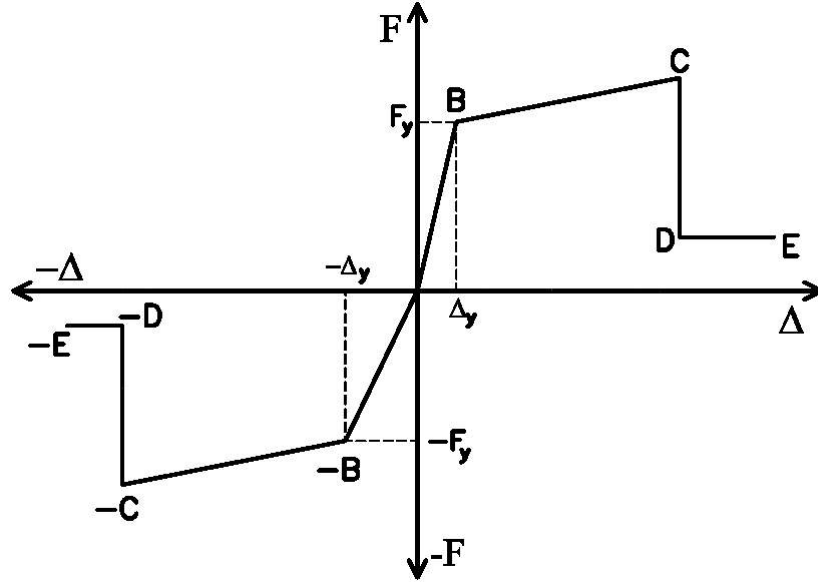
$L_0$  = Plastik mafsal moment sıfır noktası arası mesafe,  $f_{ye}$  = Donatı akma dayanımı,  $d_{bl}$  = Boyuna donatı çapıdır.

#### 5.2.2.4 Eğilme Mafsalı Kriterleri

Moment-eğrilikten moment-dönme ilişkisine nasıl geçildiği belirlendikten sonra plastik mafsalın tanımlanabilmesi için kritik eğrilik değerlerinin bilinmesi gereklidir. Kritik eğrilik değerleri tez çalışmasında kullanılan yazılımın Şekil 5.11’de görülen moment-dönme ilişkisini belirlemek için kullandığı 4 noktanın (B, C, D, E) değerleridir. A orjin (0,0) noktasıdır.

“B” noktası, kesitin akma konumuna ulaştığı nokta olup, bu noktadan sonra doğrusal ötesi davranış hakim olmaya başlamaktadır. “B”-“C” noktaları arasında kesit kapasitesini korur veya pekleşirken, “C” noktasında göçme konumuna ulaşmaktadır. Bu noktadan sonra kapasitede belli bir oranda düşme meydana gelir ve “D” noktasına

ulaşılır. “C”-“D” arasındaki kapasite kaybı için çeşitli kaynaklarda belirli oranlar verilmektedir. Bu çalışmada “D” noktasındaki dayanım değeri FEMA 356 ve ATC 40 dokümanlarında öngörüldüğü gibi akma dayanımının % 20’si olarak belirlenmiştir. “D”-“E” arasında düşen kapasitenin bir müddet daha korunduğu ve “E” noktasında kapasitenin tamamen kaybedilerek sıfır olduğu varsayılmaktadır.



Şekil 5.11 : İdealleştirilmiş dayanım-deformasyon eğrisi

B noktası Denklem 5.3’te tanımlandığı gibi kesitte bulunan çekme donatısının ilk aktığı andaki eğrilik değerinin, en dış beton lifinde basınç deformasyonunun 0.003 olduğu andaki moment dayanımı olan nominal moment dayanımının çekme donatısının aktığı noktadaki moment dayanımına oranı ile çarpılmasıyla bulunur. B noktasının dönme değerinin kullanılan yazılım yönüyle herhangi bir önemi yoktur çünkü yazılım kesitin akıp akmama durumunu moment dayanımına göre belirlemektedir.

$$\phi_y = \frac{M_n}{M_s} \phi_s \quad (5.3)$$

$\phi_y$  = Akma eğriliği,  $M_n$  = Nominal moment kapasitesi,  $M_s$  = Çekme donatısının aktığı noktadaki moment dayanımı,  $\phi_s$  = Kesitte bulunan çekme donatısının ilk aktığı andaki eğrilik değeridir.

Diğer noktalar için kesitin zorlanmasına bağlı olarak çeşitli kriterler kullanılabilir. Bu çalışmada Çizelge 5.6’da verilen kriterler ışığında C, D ve E noktaları tanımlanmıştır. D noktası eğrilik değeri C noktası ile aynı öngörüldüğünden ayrıca bir kriter belirlenmemiştir.

Çizelge 5.6 : Moment-eğrilik ilişkisinin tanımlanmasında kullanılan kriterler

Sıra	Kriter	İlişki	“C” noktası	“E” noktası
1	$\epsilon_{cc}$	<	$0.7\epsilon_{cu}$	$\epsilon_{cu}$
2	$\epsilon_{cc}$	<	0.02	0.03
3	$M_{max}$	>	0.7	0.6
4	$\epsilon_{su}$	<	$0.09 (0.5\epsilon_{su})$	$0.18 (\epsilon_{su})$

Göz önüne alınan ilk iki kriter beton basınç deformasyonu ( $\epsilon_{cc}$ ) ile ilgili olup, bu kritere göre C noktasında en üst çekirdek beton basınç deformasyon değeri  $0.7\epsilon_{cu}$  değerini ve “E” noktası için ise  $\epsilon_{cu}$  değerini geçemez. Burada  $\epsilon_{cu}$  ifadesi Priestley ve diğ. tarafından en üst çekirdek beton lifi şekil değiştirme değerinin hesaplanması için önerilen, Denklem 5.4’te verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır (Priestly ve diğ., 1996).

$$\epsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4\rho_s f_{yh} \epsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (5.4)$$

$\epsilon_{cu}$  = En üst çekirdek beton lifi için izin verilen maksimum şekil değiştirme değeri,  
 $\rho_s$  = Hacimsel yanal donatı oranı,  $f_{yh}$  = Donatı akma dayanımı,  $\epsilon_{su}$  = Donatı kopma uzaması ve  $f_{cc}$  = Sargılı beton basınç dayanımıdır.

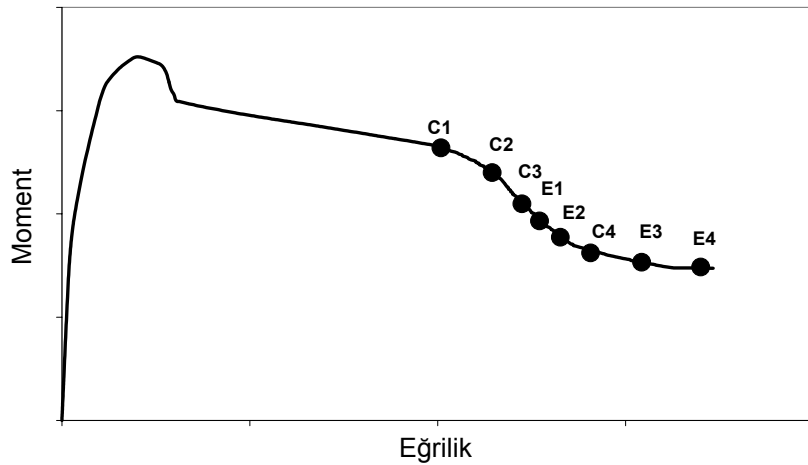
Diğer basınç deformasyonu ( $\epsilon_{cc}$ ) kriterine göre “C” noktasında, en üst çekirdek beton lifi hiçbir şekilde 0.02’den büyük olamaz. “E” noktasında da, 0.03 değerini aşamaz.

“C” noktasında kesit, taşıyabileceği maksimum moment kapasitesinin %30’undan fazlasını kaybetmiş olmamalıdır. Bu değer “E” noktasında %40’dan fazla olmamalıdır.

Kolon ve kiriş elemanlarda “C” noktasında en alt çekme donatısında maksimum şekil değiştirme kapasitesinin %50’sine ( $0.5 \cdot \epsilon_{su}$ ) kadar deformasyon yapmasına izin verilmiştir (Priestley, 2000). Herhangi bir donatının kopması ( $\epsilon_s = \epsilon_{su}$ ) “E” noktası olarak kabul edilmiştir.

### 5.2.2.5 Kolon Eğilme Mafsalı

Kolon eğilme mafsallarının tanımlanması için öncelikle deprem sırasında üzerinde oluşması beklenen aksel yük seviyesi altında ve öngörülen etriye aralığı için kolon kesitinin moment-eğrilik diyagramı elde edilir. Daha sonra Şekil 5.12’de görüldüğü gibi “C” ve “E” noktası kriterleri moment-eğrilik diyagramı üzerinde işaretlenerek en kritik olanlar (en küçük eğrilik değerine karşılık gelenler) belirlenir. Bu değerler kullanılarak bölüm 5.2.2.2’de açıklandığı şekilde idealleştirilmiş moment-dönme bağıntısı belirlenmiş olur. Bu işlem kolonun her iki doğrultusu için tekrarlanır.



Şekil 5.12 : Kriterlerin moment-eğrilik grafiği üzerinde belirtilmesi

### 5.2.2.6 Kiriş Eğilme Mafsalı

Aynı şekilde kiriş kesitleri için de kolon kesitleri gibi yukarıda anlatılan şekilde moment-eğrilik ilişkisinden belirtilen kriterler kullanılarak moment-dönme bağıntısı hesaplanmıştır. Bu işlem esnasında kiriş kesitleri üzerinde aksel yük sıfır alınmıştır. Fakat kiriş kesitlerinin donatı yerleşimi kolonlar gibi simetrik olmadığından pozitif ve negatif moment altında basınç ve çekme donatıları yer değiştireceğinden simetrik bir moment-dönme ilişkisi yoktur. Bu nedenle her bir kiriş kesiti için pozitif ve negatif yönde yukarıdaki işlem tekrarlanmaktadır.

### 5.2.2.7 Kullanılan Malzeme Modelleri

Kolon ve kiriş kesitlerinin moment-eğrilik grafiğinin belirlenmesi için beton ve donatı birim-deformasyon dayanım modelleri kullanılması gereklidir.

Bu çalışmada kolon ve kirişlerin etriye dışında kalan bölümleri için Denklem 5.5'te verilen bağıntılar kullanılmıştır.

$$\sigma_c = f_c \left[ \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad \varepsilon_c \leq \varepsilon_{co} \quad (5.5a)$$

$$\sigma_c = f_c \left[ 1 - 0.5 \left( \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{co}}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{co}} \right) \right] \quad \varepsilon_c < \varepsilon_{co} \leq \varepsilon_{cu} \quad (5.5b)$$

$$\sigma_c = 0 \quad \varepsilon_c > \varepsilon_{cu} \quad (5.5c)$$

$\sigma_c$  = Beton basınç gerilmesi,  $\varepsilon_c$  = Beton birim basınç kısılması,  $\varepsilon_{co}$  = Betonun maksimum basınç dayanımına ulaştığı birim kısılma değeri (Bu çalışmada 0.002 olarak alınmıştır.) ve  $\varepsilon_{cu}$  = Betonun göçme birim kısılma değeridir. (Bu çalışmada 0.004 olarak alınmıştır.)

Kesitlerin etriye içinde kalan bölümünün sargılı beton davranışı modeli olarak Geliştirilmiş Kent ve Park sargı modeli kullanılmıştır (Scott ve diğ., 1982). Bu modelde sargı etkisinin dikkate alınması için enine donatının yani etriye ve kancaların hacimsel oranına bağlı olarak bir  $K$  katsayısı hesaplanmaktadır. Bu katsayı ile hem beton dayanımı hem de betonun maksimum gerilme değerine ulaştığı kabul edilen 0.002 deformasyon değeri çarpılarak yeni maksimum noktası belirlenmektedir. Ayrıca bu modelde deformasyon değeri ne olursa olsun gerilme hiçbir zaman dayanımın %20 sinin altına düşmemektedir. Kullanılan modele ait bağıntılar Denklem 5.6-5.8 ile verilmektedir.

$$\sigma_c = Kf_c \left[ \frac{2\varepsilon_c}{K\varepsilon_{co}} - \left( \frac{\varepsilon_c}{K\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad \varepsilon_c \leq K\varepsilon_{co} \quad (5.6a)$$

$$\sigma_c = Kf_c [1 - Z(\varepsilon_c - K\varepsilon_{co})] \geq 0.2Kf_c \quad \varepsilon_c > K\varepsilon_{co} \quad (5.6b)$$

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{sh}}{f_c} \quad (5.7)$$

$$Z = \frac{0.5}{\frac{3 + 0.29f_c}{145f_c - 1000} + \frac{3}{4} \rho_s \sqrt{\frac{h^l}{s_h}} - 0.002K} \quad (5.8)$$

$h^l$  = Sargılı çekirdek betonu eni

$s_h$  = Etriye aralığı

Çalışmada hazırlanan bütün modellerde donatı çeliği olarak S220 kullanılmıştır. Kullanılan donatı çeliğinin elastisite modülü  $2 \times 10^5$  MPa, akma dayanımı 220 MPa, kopma dayanımı 330 MPa, akma uzaması 0.0011, pekleşmenin başladığı birim uzama 0.1 ve kopma uzaması 0.18 olarak kabul edilmiştir (TS 500).



Elemanların doğrusal ötesi modellenmesinde malzeme faktörleri “1” olarak kullanılmıştır.

### 5.2.3 Kesme Mafsalı

Özellikle etriye aralığı 20 cm olarak hazırlanan modellerde ve kısa kolon davranışının modellenmesinde elemanların kesme dayanımlarının dikkate alınması oldukça önemlidir. Bu sebeple hazırlanan modellerde her bir eleman için kesme mafsalları da tanımlanmıştır. Yapılan kesme mafsalı tanımlarında elemanların kesme dayanımları malzeme faktörleri 1 alınarak TS 500’e göre hesaplanmıştır. Kesme davranışı için herhangi bir süneklik öngörülmemiş eleman üzerine gelen kesme kuvveti kesme dayanımı değerine ulaşır ulaşmaz elemanların göçeceği kabulü yapılmıştır.

### 5.2.4 Tanımlanan Mafsalların Atanması

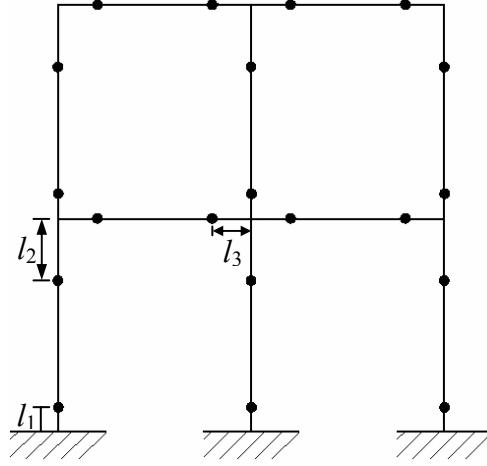
Bu çalışmada yığılı plastik bölge kabulü yapılmış,  $L_p$  uzunluğu boyunca oluşan mafsal plastikleşme bölgesinin ortasında tek bir nokta olarak modellenmiştir. Bu nedenle tanımlanan her bir mafsal elemanların mafsallaşması beklenen uç noktalarına Şekil 5.13’te gösterilen ve Denklem 5.9’da tanımlanan uzaklığa yerleştirilmiştir.

$$l_1 = \frac{L_p}{2} \quad (5.9a)$$

$$l_2 = H_{kiriş} + \frac{L_p}{2} \quad (5.9b)$$

$$l_3 = \frac{H_{kolon}}{2} + \frac{L_p}{2} \quad (5.9c)$$

$H_{kiriş}$  = Kiriş yüksekliği ve  $H_{kolon}$  = Kolonun, üzerine mafsal atanan kirişe dik boyutudur.



Şekil 5.13 : Mafsalların eleman üzerine atanması

### 5.2.5 İtme Şekli

Uygulanan Artımsal İtme Analizlerinde “Modal Yük Deseni” kullanılmıştır. Modal yük deseni binaların Artımsal İtme Analizi uygulanan yönlerinde en kritik mod şekli kullanılarak hesaplanmıştır. Binanın her bir katına etki ettirilecek kuvvet Denklem 5.10’da olduğu gibi her katın kütesinin sözü edilen moda ait yerdeğiştirme değeri ile çarpılmasıyla bulunur. Bu işlem tüm katlar için gerçekleştirildikten sonra taban kesmesi hesaplanan  $F_i$  değerleri oranında katlar arasında dağıtılır.

$$F_i = m_i \times \varphi_i \quad (5.10)$$

$m_i$  = i’nci katın kütlesi

$\varphi_i$  = i’nci kat için modal yerdeğiştirme değeri

Kapalı çıkmaya sahip olmayan modeller simetrik kat planına sahip olduğundan modeller simetri merkezlerinden itilmiştir. Simetrik olmayan tek ve iki yönden çıkmaya sahip olan yapıların her kat için kütle merkezleri hesaplanarak, yapılar bu noktalardan itilmiştir. Artımsal itme analizlerinde P- $\Delta$  etkileri dikkate alınmıştır.

### 5.3 Zaman Tanım Alanında Analiz

Tez kapsamında referans yapıların, tek ve iki yönden kapalı çıkmaya sahip binaların 4 ve 7 katlı modellerine deprem talepleri farklılıklarının incelenmesi için zaman tanım alanında dinamik analiz uygulanmıştır. Uygulanan 16 farklı depreme ait ivme kaydı için analiz modellerinde yapıların doğrusal ötesi davranışını bir derece yansıtabilmesi ve artımsal itme analizi ile uyumlu bir tanımlama yapılabilmesi amacıyla çatlamış kesit rijitlikleri dikkate alınmıştır.

Bu amaçla FEMA 356'da önerildiği gibi kolon rijitlikleri 0.7 katsayısı ile giriş rijitlikleri ise 0.5 katsayısı ile çarpılmıştır.

Analizler FEMA 307 (1998) dokümanında yer alan yüzlerce depremin karakteristik özelliklerini yansıtmak amacıyla belirlenmiş olan ivme kayıtları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İvme kayıtları sınıfları FEMA 307 dokümanından alınmıştır. Analizlerde kullanılan depremler Çizelge 5.7'de verilmiştir.

İvme kayıtları yapı davranışı üzerindeki etkileri bakımından üç gruba ayrılmıştır: İleri Atımlı (Forward Directivity), Uzun Süreli (Long Duration), Kısa Süreli (Short Duration).

İleri atımlı ivme kayıtları göreceli olarak büyük hız pulse etkileri taşımaktadır. Bu tür ivme kayıtları bazı kaynaklarda “yakın kaynak” (Near Field) pulse etkileri taşıyan depremler olarak yer almaktadır (Sommerville ve diğ., 1997). Bu tür ivme kayıtları için fay doğrultusuna dike en yakın bileşkeler kullanılmıştır.

Kısa süreli ve uzun süreli terimlerinden kasıt yapıların doğrusal ötesi bölgede kalma süreleridir. Bu süre yapı periyoduna, göreceli dayanımına ve kullanılan kuvvet-deplasman modeline bağlı olduğundan bu şekilde ivme kayıtlarının çok kesin biçimde sınıflandırılması mümkün değildir. Bu ayırım genel kabuller çerçevesinde yapılmıştır. Genel olarak 7'den daha büyük depremler uzun süreli daha küçük depremler kısa süreli özellikler taşıyan ivme kayıtları üretmektedir.

Bu noktadan sonra depremler çizelgede verilen kısaltma ile anılacaktır.

Çizelge 5.7 : Zaman tanım alanında analizler için kullanılan ivme kayıtlarının ait olduğu depremler

Sıra	Tip	Kısaltma	Yer	Tarih	Büyükük	Kaydedilen Yer	Bileşke (°)	Maksimum Yer İvmesi (g)	Uzaklık (km)	Karakteristik Periyot (s)
1	İleri Atımlı	IV79BRWY	Imperial Valley	15.10.1979	6.6	Brawley	315°	0.221	43	0.35
2		LN92LUCN	Landers	28.06.1982	7.5	Lucerna	250°	0.733	42	0.20
3		LP89SARA	Loma Prieta	17.10.1989	7.1	Saratoga	360°	0.504	28	0.40
4		NR94NWHL	Northridge	17.01.1994	6.7	Newhall	360°	0.589	19	0.80
5		NR94SYLH	Northridge	17.01.1994	6.7	Sylmar	090°	0.604	15	0.90
6	Uzun Süreli	CH85LLEO	Central Chile	03.03.1985	7.8	Llolleo	010°	0.711	60	0.30
7		CH85VALP	Central Chile	03.03.1985	7.8	Santa Maria	070°	0.176	26	0.55
8		IV40ELCN	Imperial Valley	18.05.1940	6.3	ElCentro	180°	0.348	12	0.65
9		LN92JOSH	Landers	28.06.1982	7.5	Joshua Tree	360°	0.274	15	1.30
10		MX85SCT1	Michoacan	19.09.1985	8.1	SCT1	270°	0.171	376	2.00
11		TB78TABS	Tabas	16.09.1978	7.4	Tabas	344°	0.937	<3	0.80
12	Kısa Süreli	IV79ARR7	Imperial Valley	15.10.1979	6.6	Array	140°	0.333	27	1.20
13		LP89CORR	Loma Prieta	17.10.1989	7.1	Corralitos	90°	0.478	8	0.85
14		NR94CENT	Northridge	17.01.1994	6.7	Century City	360°	0.221	19	1.00
15		SP88GUKA	Spitak	07.12.1988	6.9	Gukasyan	360°	0.207	57	0.55
16		WN87MWLN	Whittier Narrows	01.10.1987	6.1	Mount Wilson	90°	0.175	18	0.20

## ALTINCI BÖLÜM ANALİZ SONUÇLARI

### 6. ANALİZ SONUÇLARI

#### 6.1 Artımsal İtme Analizi

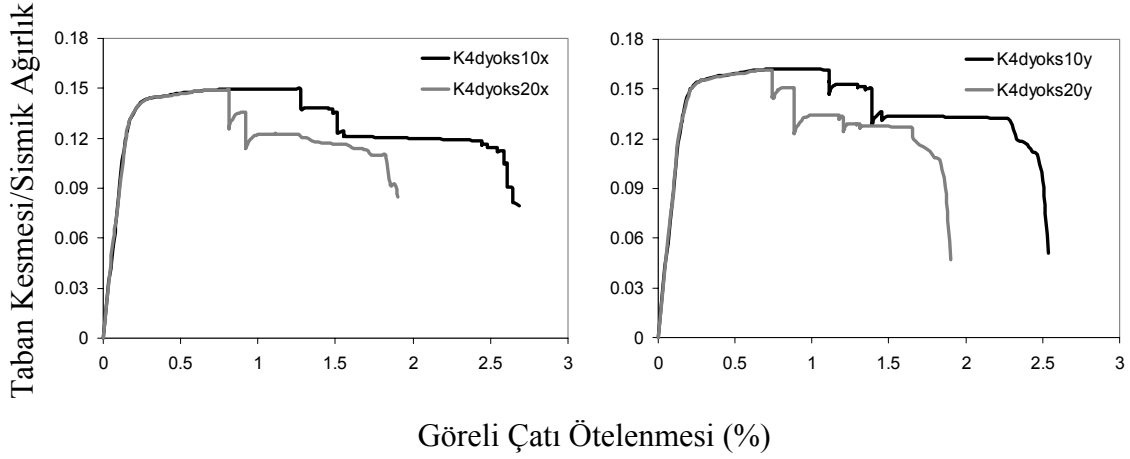
4 ve 7 katlı binaların değişik düzensizlikleri yansıtacak şekilde 10 cm ve 20 cm etriye aralıkları için hazırlanan modellerine Artımsal İtme Analizi uygulanmıştır. Yapılan analizler neticesinde bina kapasiteleri üzerinde yapılan gözlemler bu bölümde anlatılacaktır. Bölüm 5’te verilen model isimlendirmesine ek olarak model adlarında “s” ifadesinden sonra yer alan “10” ve “20” gösterimleri binanın modellenmesinde kullanılan etriye aralığını santimetre cinsinden ifade etmektedir.

##### 6.1.1 Referans Binalar

4 katlı referans bina 10 ve 20 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri Şekil 6.1’de verilmiştir. Göreli çatı ötelenmesi binanın çatı deplasmanının yüksekliğine bölünmesi ile elde edilen birimsiz değeri yüzde cinsinden ifade etmektedir. Binanın x ve y yönü kapasite eğrileri incelendiğinde binanın her iki yönde de benzer davranış gösterdiği görülebilir. Bu sebeple referans binalar tasarlanırken herhangi bir yönün zayıf kalarak referans alınan binalarda bir zayıflığa neden olunmasının engellenmesi amacına ulaşıldığı söylenebilir.

Binanın her iki yönde ağırlığının % 15’i seviyesinde bir yatay yüke karşı koyabildiği görülmüştür. 1975 Afet Yönetmeliğine göre bina,c ağırlığının % 10’u mertebesinde bir yatay yük için tasarlanmıştır. Analiz yapılırken malzeme faktörlerinin 1 olarak

kullanıldığı ve pekleşmeli çelik davranışı göz önüne alındığı düşünülürse doğrusal kabuller ile yapılan tasarım ve doğrusal ötesi analizin akma dayanımı konusunda örtüştüğü söylenebilir.



a) x yönü kapasite eğrileri

b) y yönü kapasite eğrileri

Şekil 6.1 : 4 katlı referans bina 10 ve 20 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri

Şekil 6.1'de görülen 10 ve 20 cm etriye aralığı için hazırlanmış olan modellerin kapasite eğrileri incelendiğinde iki yönde de etriye aralığının akma dayanımı üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı görülmektedir. Fakat yanal donatı miktarının deplasman kapasitesi üzerindeki etkisi oldukça belirgindir.

x yönünde 20 cm etriye aralığına sahip modelde ilk kapasite kaybı bina yüksekliğinin % 0.81'i kadar deplasman yaptığıında olurken, 10 cm'lik modelde bu değer % 1.28 olarak gerçekleşmektedir. Etriye aralığının 10 cm'ye düşürülmesi bina deplasman kapasitesini 1.5 kattan fazla arttırmıştır.

y yönünde ise 20 cm etriye aralığına sahip modelde ilk kapasite kaybı bina yüksekliğinin % 0.74'ü kadar deplasman yaptığıında olurken, 10 cm'lik modelde % 1.11 değerinde gerçekleşmektedir. Etriye aralığının 10 cm'ye düşürülmesi ile bina deplasman kapasitesi yine 1.5 kat arttırmıştır.

Bu çalışmada sünekliklerinin karşılaştırılması için binaların itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrilerinin altında kalan alan kullanılacaktır. Bu alan deplasman ve

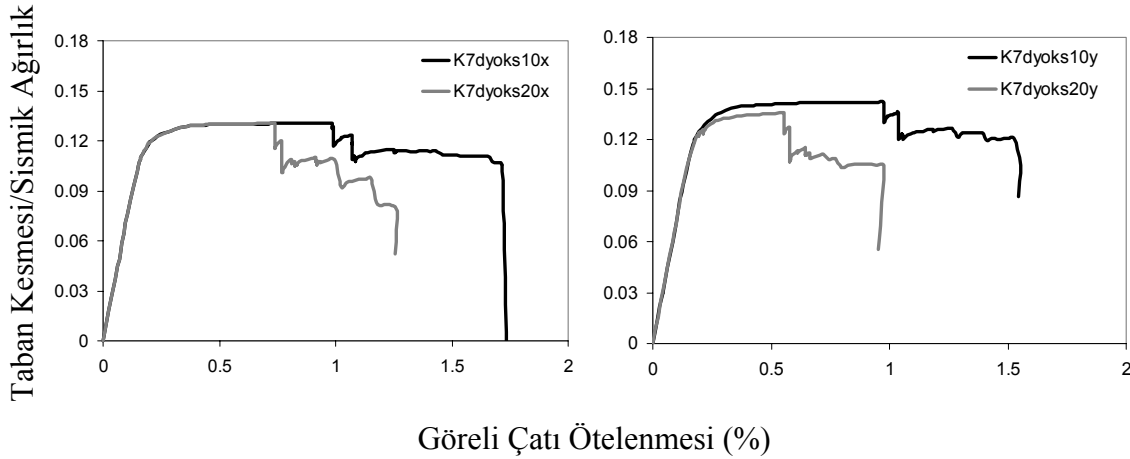
dayanımın çarpımı ile oluşturulan bir enerji ifadesidir. Yapıların depremde yıkılmaması ancak deprem tarafından yapıya yüklenen enerjinin tüketilebilmesi ile gerçekleşebilir. Bu sebeple enerji sönüm kapasitesi yapıların güvenlik düzeyleri ile doğrudan ilgilidir. Enerji sönüm kapasitelerinin hesabında binaların yatay dayanımının sismik ağırlığına, deplasman değerinin de bina yüksekliğine bölünmüş olduğu birimsiz eğriler kullanılacaktır. Bu şekilde elde edilen birimsiz enerji değeri ile farklı ağırlık ve yükseklikteki yapıların karşılaştırılması mümkün olacaktır. Bu noktadan sonra yukarıda anlatılan şekilde hesaplanan bu değer için “birim enerji” ifadesi kullanılacaktır.

Çizelge 6.1 : 4 katlı referans bina “Birim Enerji” değerleri

No	Model Adı	Yön	s (cm)	$W_{\text{sismik}}$ (ton)	H (m)	Birim Enerji
1	K4dyok	X	10	862	11.2	0.345
2			20	862	11.2	0.234
3		Y	10	862	11.2	0.352
4			20	862	11.2	0.250

4 katlı referans bina “Birim Enerji” değerleri Çizelge 6.1’de görülmektedir. K4dyoks10 modeli x yönünde 0.345, y yönünde 0.352 birim enerji değerine sahiptir. K4dyoks20 modeli ise x yönünde 0.234, y yönünde 0.250 birim enerji değerine sahiptir. Bu değerlere göre etriye aralığının 20 cm’ye çıkarılmasıyla referans binanın enerji sönüm kapasitesi x yönünde % 68 ve y yönünde % 71’ine düşmüştür. Yanal donatının enerji sönüm kapasitesi üzerindeki etkisi açık olarak görülmektedir.

7 katlı referans bina 10 ve 20 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri Şekil 6.2’de verilmiştir. 4 katlı binada etriye aralığının akma dayanımı üzerinde herhangi bir etkisi olmamış iken 7 katlı binanın y yönünde 20 cm etriye aralıklı modelin akma dayanımında az da olsa bir düşüş gözlenmektedir. Bunun nedeni 7 katlı modelde iki dış aks kirişinin yüksek donatı oranları nedeniyle Artımsal itme analizinin erken safhalarında hasar almasıdır. Kirişlere bağlı kolonların aldığı moment miktarı da moment dengesi gereği bir düşüş gösterdiğinden bina akma dayanımında bir azalma meydana gelmektedir. Bu durum diğer 7 katlı modellerin hemen hepsinde de aynı şekilde mevcuttur.



a) x yönü kapasite eğrileri

b) y yönü kapasite eğrileri

Şekil 6.2 : 7 katlı referans bina 10 ve 20 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri

7 katlı binada da aynı 4 katlı binada olduğu gibi yanıl donatı miktarının deplasman kapasitesi üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. x yönünde 10 cm etriye aralığına sahip modelde ilk kapasite kaybı bina yüksekliğinin % 0.98'i deplasman seviyesinde yaşanırken 20 cm için bu değer % 0.74 seviyesindedir. Etriye aralığının 10 cm'ye düşürülmesi ile deplasman kapasitesi % 32 artmıştır. y yönünde ise bu değerler sırası ile % 0.98, % 0.55 ve % 78'dir.

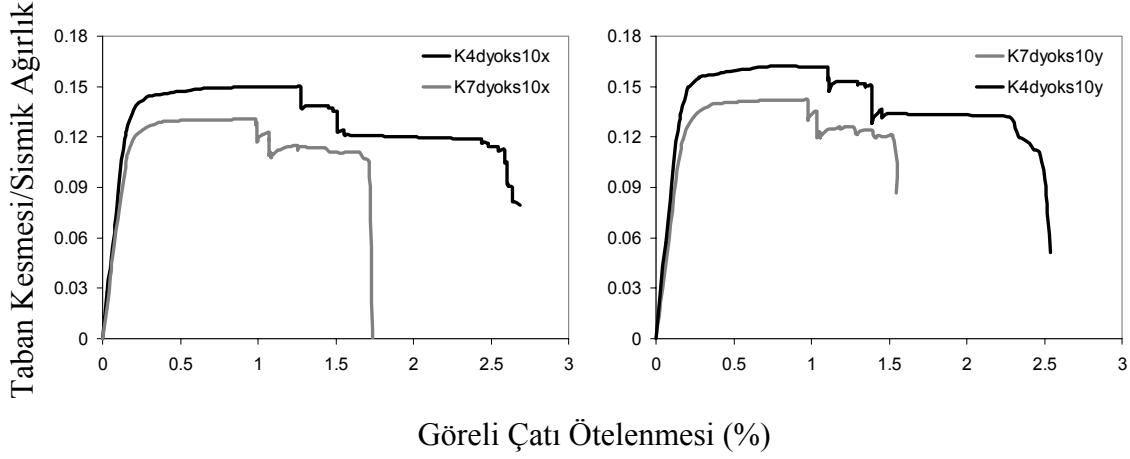
Çizelge 6.2 : 7 katlı referans bina "Birim Enerji" değerleri

No	Model Adı	Yön	s (cm)	W <sub>sismik</sub> (ton)	H (m)	Birim Enerji
1	K7dyok	X	10	1723	19.6	0.198
2			20	1723	19.6	0.135
3		Y	10	1723	19.6	0.194
4			20	1723	19.6	0.107

7 katlı referans bina "Birim Enerji" değerleri Çizelge 6.2'de verilmiştir. K7dyoks10 modeli birim enerji değeri x yönünde 0.198, y yönünde 0.194 olarak gerçekleşmiştir. K7dyoks20 modeli değerleri ise x yönünde 0.136, y yönünde 0.107'dir. buna göre etriye aralığı 20 cm olan 7 katlı referans 10 cm etriye aralığına sahip binanın x yönünde % 69 y yönünde % 55 enerji sönüm kapasitesine sahiptir.



Özet olarak eğer yapıda akma dayanımına ulaşılmadan önce göçme konumuna gelecek kadar gevrek elemanlar bulunmuyor ise yanal donatı miktarının bina dayanımı üzerinde belirleyici bir etkisi olmamasına rağmen deplasman kapasitesini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir.



a) x yönü kapasite eğrileri

b) y yönü kapasite eğrileri

Şekil 6.3 : 4 ve 7 katlı referans bina 10 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri

4 ve 7 katlı referans binaların kapasite eğrilerinin birlikte görüldüğü Şekil 6.3'e bakıldığında göze çarpan ilk husus 4 katlı binanın her iki yönde de 7 katlı binadan daha yüksek bir dayanım/ağırlık oranına sahip olduğudur. Bu bulgu Türkiye'de mevcut binalar hakkında araştırmalar yapan diğer akademisyenlerce öne sürülen "kat sayısı ve kapasitenin ters orantılı olarak değiştiği" bulgusu ile örtüşmektedir (Özcebe, 2004). Anlaşılan odur ki bu durum tasarım aşamasından başlamaktadır.

Ek olarak 7 katlı bina 4 katlı binaya göre oldukça düşük bir deplasman sünekliğine sahiptir. Bu beklenen bir durumdur. Katsayısının artması bina yetersizliklerini daha belirgin hale getirmekte ve  $P-\Delta$  etkilerinin de daha yüksek olması ile yapı daha çabuk göçme konumuna ulaşmaktadır.

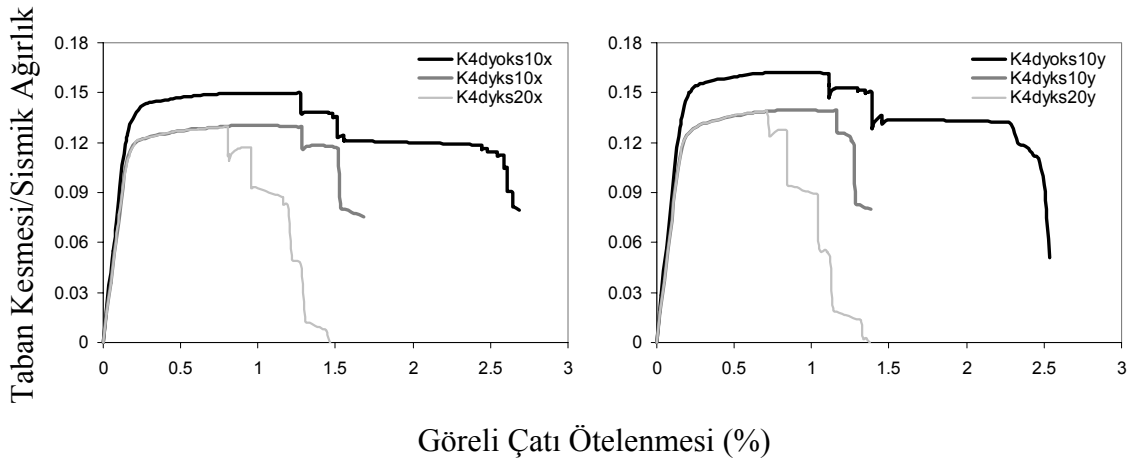
10 cm etriye aralığı modelleri göz önüne alındığında 7 katlı bina 4 katlı binanın x yönünde % 57, y yönünde % 55 enerji sönüm kapasitesine sahiptir. 20 cm etriye aralığına sahip modeller için bu değerler sırasıyla % 58 ve % 43 olarak belirlenmiştir.

### 6.1.2 Yumuşak Kat

4 katlı yumuşak katlı bina 10 ve 20 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri Şekil 6.4'te verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi yumuşak katlı model olan K4dyks10 ve K4dyks20 modellerinin akma dayanımı referans bina olan K4dyoks10 modeline göre daha düşüktür. Referans bina x yönü yanal dayanım/ağırlık oranı 0.15 civarında iken yumuşak katlı yapıda bu oran ortalama 0.13 tür. y yönünde bu oranlar sırasıyla 0.16 ve 0.14 tür. Bunun başlıca nedeni her iki binanın da göçme mekanizmasının oluştuğu zemin katın yumuşak kat modelinde daha yüksek olmasıdır. Aynı moment kapasitesine sahip iki kolondan net boyu daha uzun olan statik denge kuralları gereği daha küçük kesme kuvvetleri altında moment kapasitesine ulaşacaktır. Bu sebeple yumuşak kat modelinin yatay yük taşıma kapasitesinin düşmesi kaçınılmazdır. Bu düşüş kolonların net boyları ile orantılı olarak gerçekleşmektedir. Ayrıca rijitlik azalmasının da kolonların net boyu ile orantılı olarak gerçekleştiği söylenebilir.

Bu orantı nedeniyle bazı hızlı değerlendirme metotlarında olduğu gibi zemin kat yüksekliğinin normal kat yüksekliğine oranının yumuşak kat davranışının yansıtılmasında kullanılabilir parametrelerden biri olarak alınmasının uygun olacağı söylenilebilir (Özcebe, 2004).

Yumuşak kata sahip K4dyks10 modeli referans binaya ait K4dyoks10 modeline göre ilk kapasite kaybını x yönünde hemen hemen aynı deplasman seviyesinde hatta y yönünde daha büyük deplasman seviyelerinde yaşamıştır. Bunun nedeni kullanılan plastik mafsal boyu bağıntısının (Denklemler 5.2) plastik mafsal moment sıfır noktası arası mesafeye dolayısıyla eleman net uzunluğuna bağlı olmasıdır. Yumuşak kat modelinde daha uzun olan zemin kat kolonları daha büyük  $L_p$  değerine sahip olmakta ve böylelikle daha büyük dönme değerlerine ulaşabilmektedir. Fakat deplasman değerleri arttığında yumuşak kat mekanizmasında enerjinin tek bir katta yoğunlaşması olgusu kendini hissettirmeye başlamaktadır. Kapasite eğrileri incelenecek olursa, daha büyük deplasman değerleri altında yumuşak kat modellerinin yatay yük taşıma kapasiteleri hızla düşerken referans yapı kapasite eğrisi bir müddet yatay devam ederek yatay yük taşıma kapasitesini korumuş olduğu görülür.



a) x yönü kapasite eğrileri

b) y yönü kapasite eğrileri

Şekil 6.4 : 4 katlı yumuşak katlı bina 10 ve 20 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri

4 katlı yumuşak kat modeli “Birim Enerji” değerleri Çizelge 6.3’te verilmiştir. K4dyks10 ve K4dyks20 modellerinin kapasite eğrileri incelendiğinde etriye aralığının enerji sönüm kapasitesi üzerindeki etkisi bir kez daha açıkça görülmektedir. K4dyks10 modelinin x yönünde birim enerji değeri 0.193 iken K4dyks20 modelinin 0.136’dır. y yönünde ise bu değerler sırası ile 0.169 ve 0.126’dır.

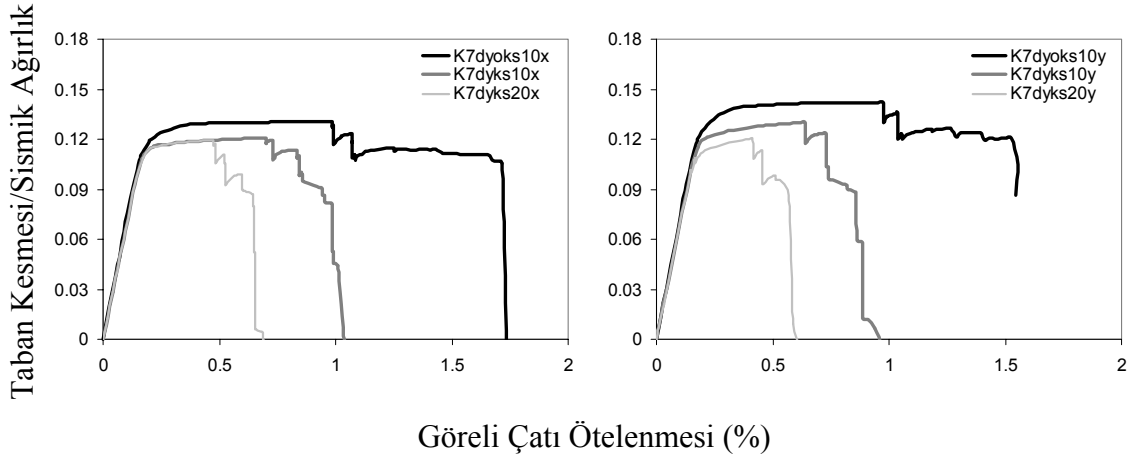
Çizelge 6.3 : 4 katlı yumuşak kat modeli “Birim Enerji” değerleri

No	Model Adı	Yön	s (cm)	$W_{sismik}$ (ton)	H (m)	Birim Enerji
5	K4dyk	X	10	866	12.4	0.193
6			20	866	12.4	0.136
7		Y	10	866	12.4	0.169
8			20	866	12.4	0.126

10 cm etriye aralığına sahip yumuşak kat modeli x yönünde referans binanın % 56’sı y yönünde de % 48 enerji sönüm kapasitesine sahiptir. Bu değerler 20 cm etriye aralıklı modelde x yönü için % 58 ve y yönü için % 50’dir.

Şekil 6.5 incelendiğinde 4 katlı bina için yapılan yorumların 7 katlı bina içinde geçerli olduğu görülecektir. Fakat yumuşak kat ile yaşanan kapasite kaybı 7 katlı binada

oransal olarak daha düşüktür. Referans bina x yönü yanal dayanım/ağırlık oranı 0.13, yumuşak katlı yapıda ortalama 0.12 dir. y yönünde bu oranlar sırasıyla 0.14 ve 0.13 tür.



a) x yönü kapasite eğrileri

b) y yönü kapasite eğrileri

Şekil 6.5 : 7 katlı yumuşak katlı bina 10 ve 20 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri

Bu durum 7 katlı binada daha fazla kat dolayısıyla enerjinin sönmüldüğü daha çok nokta olmasıyla açıklanabilir. Hem 4 katlı hem de 7 katlı binalarda referans binaya göre yalnız zemin katta değişikliğe gidilmiştir. Akma dayanımı doğası gereği doğrusal ötesi davranışın başlarında belirlenen bir değerdir. 4 ve 7 katlı yapılarda bina henüz küçük deplasman değerlerinde iken bir çok katta bir çok elemanda mafsallar oluşarak enerji tüketilmektedir. Bu sebeple 7 katlı binanın 4 katlı binaya göre daha fazla elemana sahip olması yanal ötelenmenin küçük değerlerinde zemin katın bina davranışı üzerinde daha az etkiye sahip olmasına yol açmaktadır. Tek bir katın aşırı derecede zayıf olduğu ve davranış üzerinde büyük etkisi olduğu yapılarda farkın daha az olacağı söylenebilir.

Fakat enerji kapasiteleri açısından durum farklılık göstermektedir. K7dyks10 modeli x yönünde 0.103 ve y yönünde 0.094 birim enerji değerine sahiptir. Bu değerlere göre K7dyks10 modelinin sönmü kapasitesi referans 7 katlı binanın x yönünde % 52'si y yönünde % 49'u seviyesindedir.

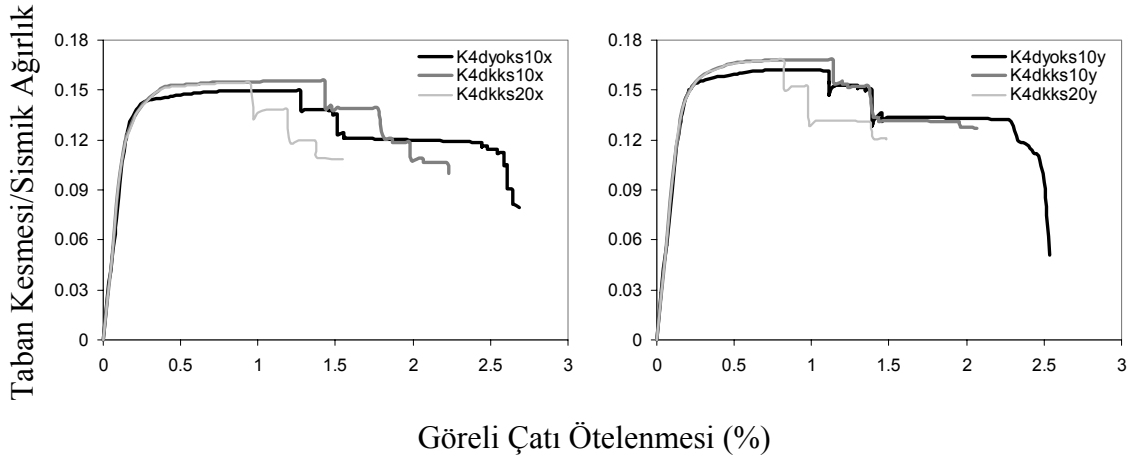
K7dyks20 modeli ise x yönünde 0.063 ve y yönünde 0.054 enerji sönmü kapasitesine sahiptir. Bu aynı etriye aralığına sahip referans binanın kapasitesinin % 46 ve % 51'ine denk gelmektedir. Bu değerler Çizelge 6.4'te özetlenmiştir.

Çizelge 6.4 : 7 katlı yumuşak kat modeli “Birim Enerji” değerleri

No	Model Adı	Yön	s (cm)	W <sub>sismik</sub> (ton)	H (m)	Birim Enerji
5	k7dyk	X	10	1730	20.8	0.103
6			20	1730	20.8	0.063
7		Y	10	1730	20.8	0.094
8			20	1730	20.8	0.054

### 6.1.3 Kısa Kolon

Tez kapsamında kısa kolon düzensizliğinin incelenmesi amacıyla 4 katlı iki farklı model hazırlanmıştır. Modellerden birinde bina çevresine 1.2 m yüksekliğinde yarım perde (K4dkk) diğerinde ise 30 cm bant pencere bırakılacak şekilde 2 m yüksekliğinde yarım perde (K4dkk2) yerleştirilmiştir. K4dkk modellerinde kolon net açıklığı 1.1 m ye düşmüştür.



a) x yönü kapasite eğrileri

b) y yönü kapasite eğrileri

Şekil 6.6 : 4 katlı K4dkk modelleri 10 ve 20 cm etriye aralığı için x ve y yönü kapasite eğrileri

Şekil 6.6 incelendiğinde K4dkks10 modelinin referans model olan K4dyoks10 modelinden daha sonra kapasite kaybına uğradığı görülmektedir. Yani kısa kolon

modelinden beklenen gevrek davranış gerçekleşmemiştir. K4dkks10 modelinde ve K4dkks20 modelinde kesme kırılmasına uğrayan herhangi bir kolonu yoktur.

Bu davranış bize kısa kolon tanımını bir kez daha hatırlatmıştır. Kısa kolon yalnız isminin söylediği gibi diğer kolonlara oranla kısa olan kolon değil, moment kapasitesine ulaşarak mafsallaşarak enerji sönümlemeye fırsat bulamadan kesme nedeniyle göçen kolondur. Bir başka deyişle K4dkk modelinde 1.1 m net açıklığa sahip olan kolonlar kısa kolon olabilecek kadar kısa değildirler. Ülkemiz koşullarında buna benzer bir durumda genellikle kısa kolon davranışı görülebilir fakat göz önüne alınan modelde etriye aralığının en olumsuz durumda 20 cm olarak göz önüne alındığı unutulmamalıdır. Türkiye gibi 30-35 cm hatta 50 cm etriye aralığına sahip kolonların bulunabildiği bir ülkede normal boyutta kolonların bile kesme yenilmesine uğramayacağı garanti değildir.

Model üzerinde daha detaylı inceleme yapıldığında bu durumun nedeni daha net açıklığa kavuşmaktadır. K4dkk modelinde boyu kısalan kolonların doğal olarak akma momentleri artmıştır. Artımsal İtme analizi uygulamasında yanal yük arttırılırken boyu kısaltılmış olan kolonlara bağlı olan kirişler aktığında ve uç momentleri sabit hale geldiğinde statik denge gereği kolon momentleri de sabit hale gelmektedir. Kolon uç momentlerinin sabit hale gelmesi kolonun almış olduğu kesme kuvvetinin de sabit hale gelmesi ve daha fazla artmaması anlamına gelmektedir. Bu durumda boyu diğer kolonlara oranla kısa kolonlarda “kısa kolon” davranışı görülmemektedir.

Zemin kat kolonlarında akmanın gecikmesi ve zemin katın daha kısa olmaları nedeniyle rijitleşen kolonlar nedeniyle daha az deplasman yapması sonucu göçme mekanizması bir üst kata taşınmış olmaktadır. Zemin kat ile aynı özelliklere sahip olan 1. Kat kolonları daha düşük eksenel yük sebebiyle daha geç göçme konumuna ulaşarak binanın daha geç kapasite kaybına uğramasına yol açmaktadırlar.

Bu örnek enerji tüketiminde çok büyük sorunlara yol açabilecek olan kısa kolon davranışının bazı hızlı değerlendirme metotlarında neden göreceli olarak düşük öneme sahip olduğunun anlaşılması bakımından önemlidir (Özcebe, 2004). Bu metotlar genellikle depremler sonucunda hasar alan binaların incelenmesi sonucu istatistiki yollarla hazırlanmaktadır. Örnekteki benzer şekilde boyu kısa kolonlar yalnız

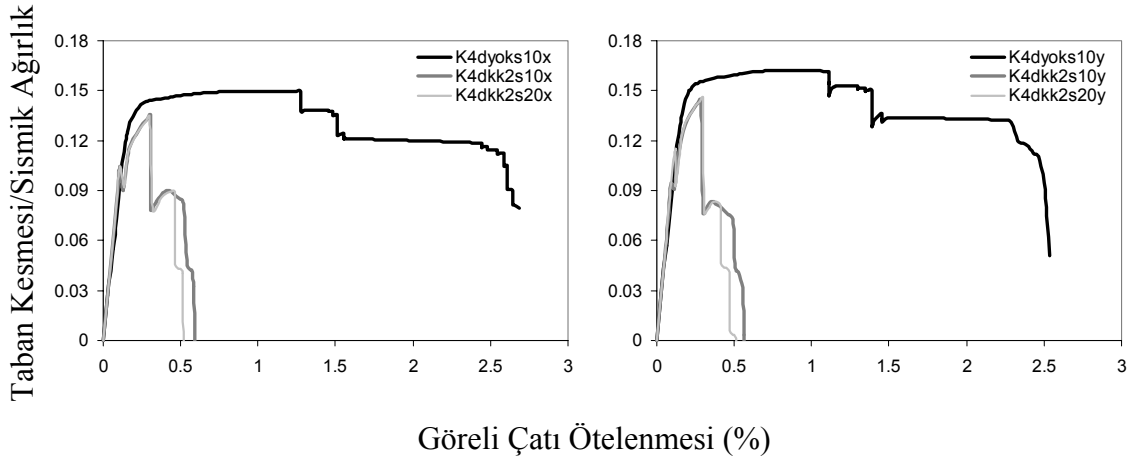
gözlemler sonucu “kısa kolon” olarak nitelendirilmektedir. Oysa bu kolonların hepsi kısa kolon davranışı göstermeyebilirler.

Bir kolonun kısa kolon olup olmadığı kesme ve moment kapasitesi oranının ve bağlı olduğu kirişin veya kirişlerin akma momentlerine bağlıdır. Bu değerler ise kolonun beton sınıfına, boyuna donatı ve yanal donatı miktarı ve kolonun bağlı olduğu kirişlerin boyuna donatı miktarına bağlıdır. Bu çeşit bilgilerin hızlı değerlendirme metotlarında kullanılması ise yöntemin doğasına aykırıdır. Bu nedenle bu metotlarda kısa kolon düzensizliğinin ele alınış şekli direkt olarak kısa kolon davranışının olup olmamasına değil böyle bir riskin bulunup bulunmaması ile ilgilidir. Bu bakımdan kısa kolonun göreceli olarak değerlendirmede daha az öneme sahip olması beklenen bir durumdur.

Şekil 6.7’de 4 katlı K4dkk2 modellerine ait kapasite eğrileri verilmiştir. Şekil incelendiğinde kolon net açıklıklarının 30 cm’ye indirilmesi ile gerçek kısa kolon davranışının ortaya çıktığı görülmektedir. Binaya uygulanan yanal yük arttırılmaya başlandığında net açıklıkları 30 cm’ye inmiş olan kolonlar büyüyen rijitlikleri sebebiyle daha kendilerine bağlı kirişler akmaya fırsat bulamadan dayanımlarından daha büyük kesme kuvvetlerini üzerlerine çekmişlerdir. Bu sebeple bina çevresindeki yarım perdenin net boylarını azalttığı 16 kolon oldukça düşük deplasman değerlerinde kesme kırılmasına uğrayarak göçmüşlerdir. 25 kolona sahip bir sistemde 16 kolonun kesme yenilmesine uğraması sonucu bina anında göçme konumuna gelmektedir. Kesme etkisiyle oluşan göçmenin ne derece süneklikten uzak olduğu şekilde açıkça görülmektedir. Kısa kolon davranışı görülen modellerde deplasman kapasitesinden söz etmek mümkün değildir.

K4dkk2s10 ve K4dkk2s20 modelleri kapasite eğrileri önemli bir farklılık arz etmemektedir. Bu durumun nedeni her iki modelde de kolonların alt ucunun sargılama bölgesi olarak görülmeyip 20 cm etriye aralığına sahip olduğunun varsayılmasıdır. Kolon boyunca sabit olan kesme kuvveti her iki durumda da kolonun göçmesine neden olmaktadır.

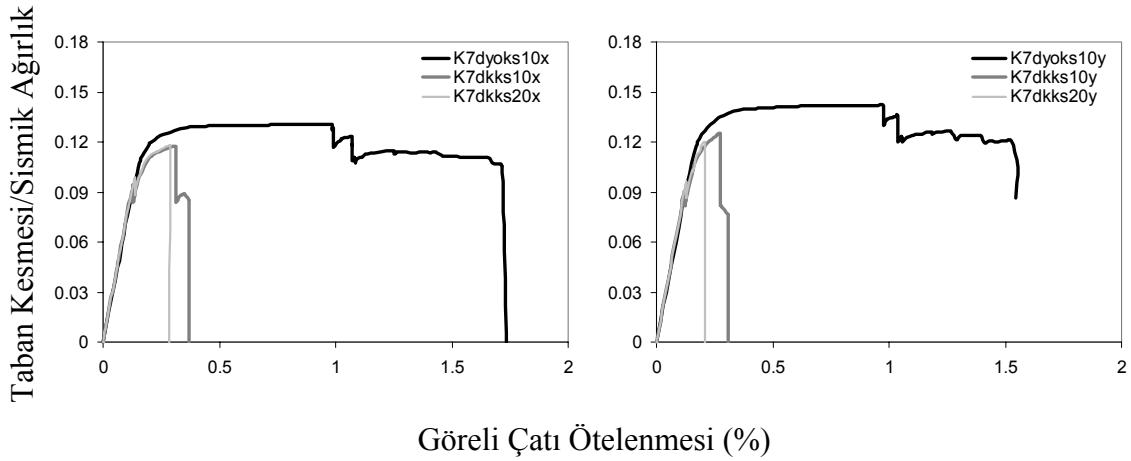
Şekil 6.8’de 7 katlı K4dkk modellerine ait kapasite eğrileri verilmiştir. Şekil incelendiğinde 4 katlı modeller için söylenenlerin 7 katlı model için de geçerli olduğu görülebilir.



a) x yönü kapasite eğrileri

b) y yönü kapasite eğrileri

Şekil 6.7 : 4 katlı K4dkk2 modelleri 10 ve 20 cm etriye için x ve y yönü kapasite eğrileri



a) x yönü kapasite eğrileri

b) y yönü kapasite eğrileri

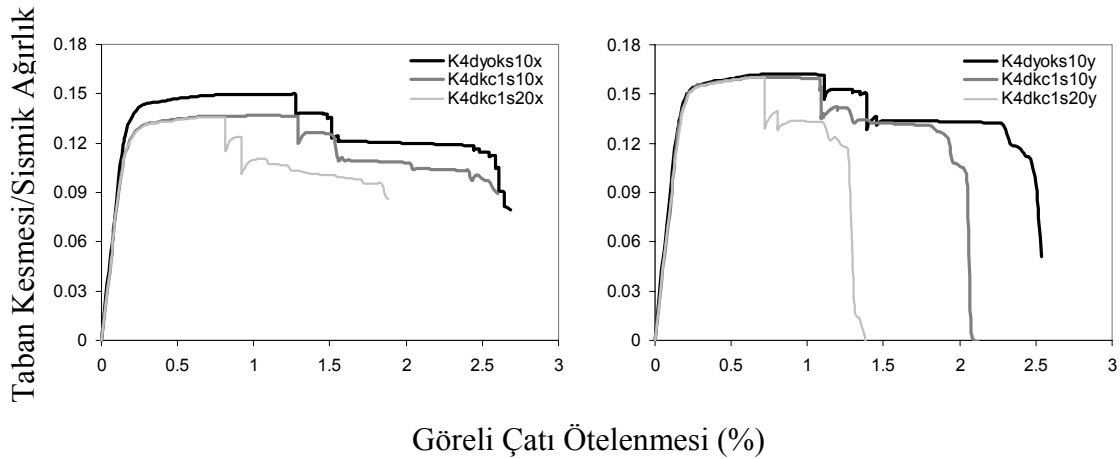
Şekil 6.8 : 7 katlı kısa kolon modelleri 10 ve 20 cm etriye için x ve y yönü kapasite eğrileri

#### 6.1.4 Tek Taraftan Kapalı Çıkma

Tek taraftan kapalı çıkma modelinde referans binanın x yönü en dış aksına 1.5 m kapalı çıkma eklendiği önceki bölümde belirtilmişti. Bu şekilde oluşturulan K4dkc1 modellerine ait kapasite eğrileri Şekil 6.9'da verilmiştir.



x yönü kapasite eğrileri incelendiğinde kapalı çıkmanın yatay dayanım/ağırlık oranını düşürdüğü görülmektedir. Bunun nedeni kapalı çıkmaya sahip yapının referans bina ile hemen hemen aynı akma dayanımına sahip olmasına rağmen daha ağır olmasıdır. Ayrıca deplasman kapasitesinin de referans bina ile aynı olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Şekil 5.3'te verilen kat planında görülen, kolonların duruş şeklidir. Kapalı çıkmanın eklendiği aksta bulunan 5 kolondan üçünün kısa yönü x yönünde diğer iki kolon ise kare köşe kolonlarıdır. Kare kolonlar boyutları ve üzerlerindeki eksenel yükün düşük olması nedeniyle (köşe kolon) bina moment kapasitesi üzerinde daha düşük katkıya sahiptir. Eklenen kapalı çıkma bölümü binanın eklendiği aks dışındaki kolonları üzerinde oldukça düşük bir eksenel yük farkı oluşturmuşlardır (< %4). Alan payı kabulüne uygun olarak neredeyse tüm ağırlıklarını buldukları akstaki kolonlar taşımaktadır.



a) x yönü kapasite eğrileri

b) y yönü kapasite eğrileri

Şekil 6.9 : 4 katlı tek taraftan kapalı çıkma modelleri 10 ve 20 cm etriye için x ve y yönü kapasite eğrileri

Betonarme bir kesitin yüksekliği azaldıkça eğrilik sünekliğinin arttığı bilinen bir gerçektir. Bu durumda 4 katlı yapıda bulunan 50x25 cm ebadında kolonların ince yönlerinin sünekliği uzun yönlerine oranla daha yüksektir. Kolonların ince yönlerinde moment kapasiteleri de daha düşüktür. Bu durumda bu kolonlar üzerindeki eksenel yük artışının x yönü bina kapasite eğrisi üzerinde sınırlı etkiye sahip olması anlaşılabilir bir durumdur. Bu hem 10 cm hem de 20 cm etriye aralığı için hazırlanan K4dkc1s10 ve K4kc1s20 modelleri için geçerlidir.

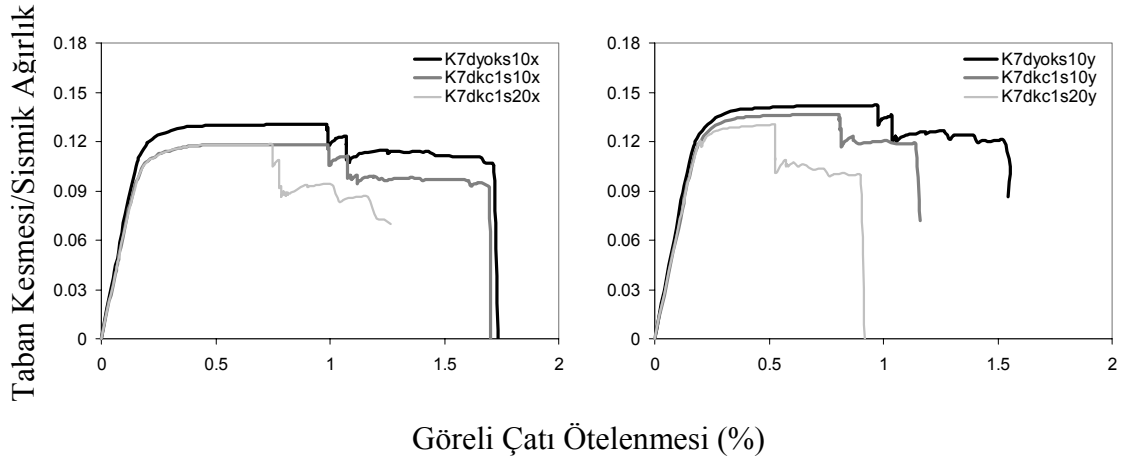
Y yönü kapasite eğrilerine bakıldığında ise sözü edilen kolonların uzun boyutlarının bu yönde olması nedeniyle kapalı çıkmanın etkisi fark edilmektedir. Kapalı çıkma modelinde aksenal yükü artan kolonların denge altı kolon olmaları nedeniyle y yönünde yatay yük dayanımını arttırmalarına rağmen bu artış ağırlık artışı ile aynı oranda olduğundan yatay yük dayanımı/ağırlık oranı değişmemiştir. Fakat kapalı çıkmanın enerji sönüm kapasitesi üzerindeki olumsuz etkisi görülmektedir. 4 katlı tek taraftan kapalı çıkma modeli “Birim Enerji” değerleri Çizelge 6.5’te verilmiştir. K4dkc1s10 modeli x yönünde 0.315 birim enerji değerine sahiptir. Bu değer aynı etriye aralığına sahip referans binanın % 91’ine tekabül etmektedir. K4dkc1s10 modelinin y yönünde sahip olduğu 0.283 birim enerji değeri ise referans binanın % 80’i mertebesindedir. K4dkc1s20 modeli ise x yönünde 0.209, y yönünde 0.173 birim enerji değerine sahiptir. Bu değer de aynı etriye aralığına sahip referans binanın sırasıyla % 89 ve % 69’una tekabül etmektedir.

Çizelge 6.5 : 4 katlı tek taraftan kapalı çıkma modeli “Birim Enerji” değerleri

No	Model Adı	Yön	s (cm)	W <sub>sismik</sub> (ton)	H (m)	Birim Enerji
17	K4dkc1	X	10	948	11.2	0.315
18			20	948	11.2	0.209
19		Y	10	948	11.2	0.283
20			20	948	11.2	0.173

Şekil 6.10’da verilen 7 katlı bina kapasite eğrilerine bakıldığında deplasman kapasiteleri için 4 katlı bina ile benzer özellikler taşıdığını söylemek mümkündür.

Fakat 7 katlı binada kapalı çıkmaların yanal dayanım/ağırlık oranı üzerindeki etkisinin daha olumsuz olduğunu söylemek mümkündür. Bina ağırlıkları aynı oranda artmış olmasına rağmen (aynı kat planı) daha fazla katta yapılan kapalı çıkmalar 7 katlı bina kolonları üzerinde 4 katlı binadan daha büyük aksenal yük artışlarına neden olmuştur. 7 katlı bina zemin kat kolonları da denge altı kolonlardır. Fakat etkileşim diyagramı dengeli kolon kırılması noktasına yaklaştıkça doğrusallıktan uzaklaşmaktadır. Bu nedenle denge noktasına daha yakın olan 7 katlı bina kolonlarında aksenal yük artışı ile kazanılan moment kapasitesi 4 katlı bina kolonlarından daha azdır.



a) x yönü kapasite eğrileri

b) y yönü kapasite eğrileri

Şekil 6.10 : 7 katlı tek taraftan kapalı çıkma modelleri 10 ve 20 cm etriye için x ve y yönü kapasite eğrileri

7 katlı tek taraftan kapalı çıkma modeli “Birim Enerji” değerleri Çizelge 6.6’da verilmiştir. K7kc1s10 modeli birim enerji değeri x yönünde 0.174, y yönünde 0.136’dır. Bu değerler referans binanın % 88 ve % 70’ine karşılık gelmektedir. K7dkc1s20 modeli x yönünde 0.122 ve y yönünde 0.093 birim enerji değerlerine sahiptir. Bu değerler 20 cm etriye aralığına sahip referans binanın x yönünde % 90 ve y yönünde % 87’si mertebesindedir.

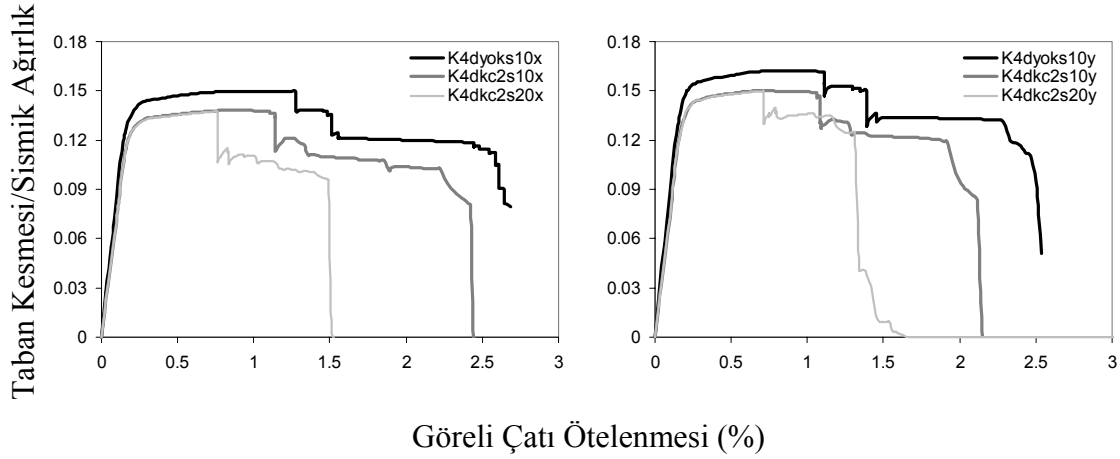
Çizelge 6.6 : 7 katlı tek taraftan kapalı çıkma modeli “Birim Enerji” değerleri

No	Model Adı	Yön	s (cm)	$W_{sismik}$ (ton)	H (m)	Birim Enerji
13	K7dkc1	X	10	1898	19.6	0.174
14			20	1898	19.6	0.121
15		Y	10	1898	19.6	0.136
16			20	1898	19.6	0.093

### 6.1.5 İki Taraftan Kapalı Çıkma

İki taraftan kapalı çıkma modelinde tek taraftan kapalı çıkma modeline ek olarak binanın y yönü en dış aksına 1.5 m kapalı çıkma eklendiği önceki bölümde belirtilmiştir.

Bu şekilde oluşturulan K4dkc2 modellerine ait kapasite eğrileri Şekil 6.11’de verilmiştir.



a) x yönü kapasite eğrileri

b) y yönü kapasite eğrileri

Şekil 6.11 : 4 katlı iki taraftan kapalı çıkma modelleri 10 ve 20 cm etriye için x ve y yönü kapasite eğrileri

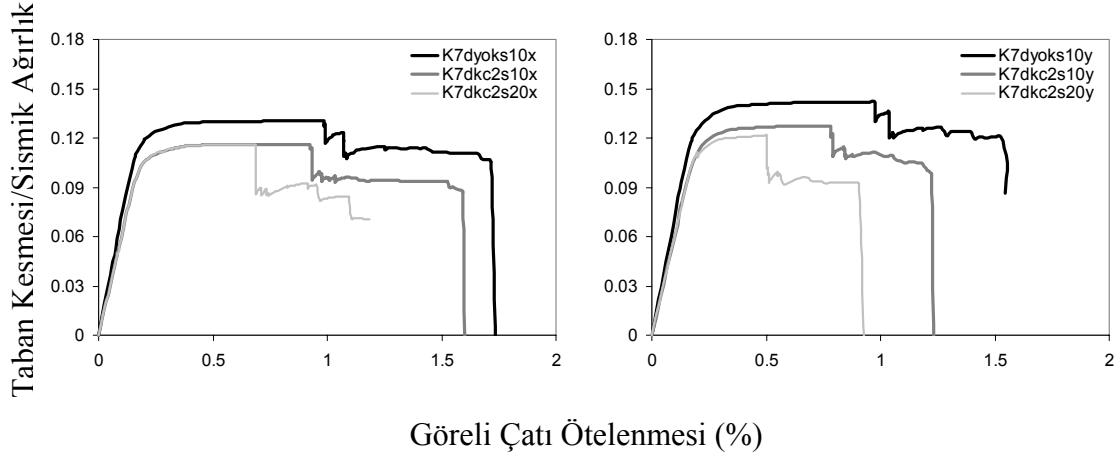
Şekil 6.11 incelendiğinde kapalı çıkmaların hem yatay yük dayanımı hem de deplasman kapasiteleri üzerindeki olumsuz etkisi görülmektedir. Kapalı çıkmalara sahip modellerin yatay yük/ağırlık oranı x yönünde 0.138’e y yönünde 0.150’ye düşmüştür.

Çizelge 6.7 : 4 katlı iki taraftan kapalı çıkma modeli “Birim Enerji” değerleri

No	Model Adı	Yön	s (cm)	$W_{sismik}$ (ton)	H (m)	Birim Enerji
21	K4dkc2	X	10	1017	11.2	0.278
22			20	1017	11.2	0.167
23		Y	10	1017	11.2	0.269
24			20	1017	11.2	0.177

4 katlı iki taraftan kapalı çıkma modeli “Birim Enerji” değerleri Çizelge 6.7’de verilmiştir. K4dkc2s10 modeli x yönünde 0.278, y yönünde 0.269 birim enerjiye sahiptir. Bu 10 cm etriye aralıklı referans binanın x yönünde % 81’ine y yönünde % 77’sine tekabül etmektedir. K4dkc2s20 modeli ise x yönünde 0.167 ve y yönünde 0.177

enerji kapasitesine sahiptir. Bu değerler 20 cm etriye aralıklı referans binanın her iki yönde % 71'ine denk gelmektedir.



a) x yönü kapasite eğrileri

b) y yönü kapasite eğrileri

Şekil 6.12 : 7 katlı iki taraftan kapalı çıkma modelleri 10 ve 20 cm etriye için x ve y yönü kapasite eğrileri

K7dkc2 modellerine ait kapasite eğrileri Şekil 6.12’de verilmiştir. İki taraftan kapalı çıkmaya sahip K7dkc2 modellerinin kapasite eğrileri üzerinde K7dkc1 modellerine benzer şekilde çıkmaların olumsuz etkileri görülmektedir.

Çizelge 6.8 : 7 katlı iki taraftan kapalı çıkma modeli “Birim Enerji” değerleri

No	Model Adı	Yön	s (cm)	$W_{sismik}$ (ton)	H (m)	Birim Enerji
17	k7dkc2	X	10	2040	19.6	0.158
18			20	2040	19.6	0.109
19		Y	10	2040	19.6	0.132
20			20	2040	19.6	0.086

7 katlı iki taraftan kapalı çıkma modeli “Birim Enerji” değerleri Çizelge 6.8’de verilmiştir. K7dkc2s10 modeli x yönünde 0.158, y yönünde 0.132 birim enerji değerine sahiptir. bu değerler 10 cm etriye aralığına sahip referans binanın % 80 ve % 68’i enerji sönüm oranına tekabül etmektedir. K7dkc2s20 modeli ise x yönünde 0.110, y yönünde 0.086 birim enerji ile aynı etriye aralığına sahip referans binanın her iki yönde % 81’i mertebesinde enerji sönüm kapasitesine sahiptir.

## 6.2 Zaman Tanım Alanında Analiz

Tek ve iki taraftan kapalı çıkma yapılan binalar için artımsal itme analizi ile yetinilmemiş bu yapıların deprem istemlerinin araştırılması için zaman tanım alanında doğrusal analiz de kullanılmıştır. Bu amaçla referans binalar ve bu yapılar Çizelge 5.7’de verilen depremlerin ivme kayıtları ile analize tabii tutulmuştur. Bu analizler sonucunda çıkmaya sahip yapılar ile referans binalar arasındaki deplasman talebi oranları belirlenmiştir. Bu sonuçlar Çizelge 6.9-6.12’de verilmiştir.

Çizelge 6.9 : 4 katlı modeller x yönü zaman tanım alanında analiz deplasman istemleri

İvme Kaydı	Deplasman			Oran	
	K4dyok (m)	K4dkc1 (m)	K4dkc2 (m)	K4dkc1	K4dkc2
CH85LLEO	0.167	0.207	0.204	1.24	1.23
CH85VALP	0.055	0.058	0.057	1.06	1.05
IV40ELCN	0.086	0.098	0.109	1.14	1.26
IV79ARR7	0.132	0.142	0.146	1.07	1.11
IV79BRWY	0.060	0.067	0.067	1.13	1.13
LN92JOSH	0.115	0.131	0.142	1.14	1.23
LN92LUCN	0.119	0.124	0.130	1.04	1.09
LP89CORR	0.226	0.270	0.265	1.20	1.17
LP89SARA	0.102	0.102	0.102	1.00	1.00
MX85SCT1	0.058	0.059	0.060	1.00	1.03
NR94CENT	0.077	0.079	0.078	1.03	1.01
NR94NWHL	0.346	0.346	0.339	1.00	0.98
NR94SYLH	0.133	0.222	0.230	1.67	1.73
SP88GUKA	0.028	0.036	0.035	1.29	1.25
TB78TABS	0.300	0.296	0.348	0.99	1.16
WN87MWLN	0.006	0.006	0.006	1.03	1.13
			Ortalama	<b>1.13</b>	<b>1.16</b>

Çizelge 6.9 - 6.12 incelendiğinde 16 depremin ortalaması alındığında çıkma yapılan binaların deplasman istemlerinin arttığı görülmektedir. Bazı depremlerde talebin referans binadan daha az olduğu durumlar mevcuttur fakat bu durum o depremin karakteristik özellikleri ile ilgilidir. Deprem periyodunun incelenen binaya yakın olduğu

ivme kayıtlarında rezonans nedeniyle deplasman istemi oldukça büyük olmaktadır. Fakat değişik depremlere ait ivme kayıtlarının ortalaması olan yönetmelik spektrumlarında olduğu gibi, ortalama değerler göz önüne alındığında daha ağır olan ve daha büyük periyoda sahip olan çikmal binaların deplasmanlarının artması beklenen bir durumdur.

Çizelge 6.10 : 4 katlı modeller y yönü zaman tanım alanında analiz deplasman istemleri

İvme Kaydı	Deplasman			Oran	
	K4dyok (m)	K4dkc1 (m)	K4dkc2 (m)	K4dkc1	K4dkc2
CH85LLEO	0.142	0.185	0.226	1.30	1.59
CH85VALP	0.050	0.057	0.063	1.15	1.26
IV40ELCN	0.089	0.085	0.103	0.95	1.15
IV79ARR7	0.125	0.138	0.148	1.11	1.19
IV79BRWY	0.058	0.061	0.067	1.05	1.14
LN92JOSH	0.104	0.123	0.137	1.18	1.31
LN92LUCN	0.109	0.124	0.136	1.14	1.24
LP89CORR	0.213	0.238	0.287	1.12	1.35
LP89SARA	0.103	0.100	0.113	0.98	1.10
MX85SCT1	0.057	0.061	0.065	1.07	1.15
NR94CENT	0.077	0.074	0.077	0.96	0.99
NR94NWHL	0.339	0.346	0.359	1.02	1.06
NR94SYLH	0.138	0.130	0.212	0.95	1.54
SP88GUKA	0.028	0.030	0.033	1.10	1.21
TB78TABS	0.242	0.333	0.379	1.38	1.57
WN87MWLN	0.005	0.006	0.007	1.14	1.32
			Ortalama	<b>1.10</b>	<b>1.26</b>

Çizelge 6.11 : 7 katlı modeller x yönü zaman tanım alanında analiz deplasman istemleri

İvme Kaydı	Deplasman			Oran	
	K7dyok (m)	K7dkc1 (m)	K7dkc2 (m)	K7dkc1	K7dkc2
CH85LLEO	0.207	0.226	0.231	1.09	1.11
CH85VALP	0.061	0.063	0.055	1.04	0.91
IV40ELCN	0.154	0.151	0.151	0.98	0.98
IV79ARR7	0.216	0.246	0.245	1.14	1.13
IV79BRWY	0.087	0.104	0.111	1.20	1.28
LN92JOSH	0.138	0.168	0.197	1.21	1.43
LN92LUCN	0.119	0.183	0.206	1.54	1.73
LP89CORR	0.200	0.198	0.188	0.99	0.94
LP89SARA	0.156	0.195	0.208	1.25	1.34
MX85SCT1	0.075	0.107	0.110	1.42	1.46
NR94CENT	0.144	0.150	0.162	1.04	1.12
NR94NWHL	0.386	0.502	0.514	1.30	1.33
NR94SYLH	0.208	0.212	0.191	1.02	0.92
SP88GUKA	0.071	0.075	0.077	1.04	1.08
TB78TABS	0.220	0.253	0.252	1.15	1.15
WN87MWLN	0.010	0.010	0.012	0.98	1.20
			Ortalama	<b>1.15</b>	<b>1.19</b>



Çizelge 6.12 : 7 katlı modeller y yönü zaman tanım alanında analiz deplasman istemleri

İvme Kaydı	Deplasman			Oran	
	K7dyok (m)	K7dkc1 (m)	K7dkc2 (m)	K7dkc1	K7dkc2
CH85LLEO	0.215	0.215	0.242	1.00	1.15
CH85VALP	0.069	0.057	0.064	0.83	0.93
IV40ELCN	0.157	0.155	0.183	0.99	1.16
IV79ARR7	0.207	0.232	0.249	1.12	1.20
IV79BRWY	0.085	0.093	0.110	1.09	1.30
LN92JOSH	0.151	0.140	0.189	0.93	1.26
LN92LUCN	0.104	0.137	0.202	1.32	1.94
LP89CORR	0.213	0.194	0.207	0.91	0.97
LP89SARA	0.153	0.161	0.205	1.05	1.34
MX85SCT1	0.070	0.081	0.108	1.14	1.54
NR94CENT	0.147	0.155	0.180	1.06	1.23
NR94NWHL	0.362	0.433	0.510	1.20	1.41
NR94SYLH	0.232	0.191	0.191	0.82	0.82
SP88GUKA	0.068	0.076	0.079	1.12	1.16
TB78TABS	0.215	0.243	0.278	1.13	1.29
WN87MWLN	0.010	0.012	0.014	1.18	1.40
			Ortalama	<b>1.06</b>	<b>1.26</b>

## YEDİNCİ BÖLÜM SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 7.1 Artımsal İtme Analizi Sonuçları

Hazırlanan toplam 22 bina modeline uygulanan 44 artımsal itme analizi sonucu bu yapıların kapasite eğrileri elde edilmiştir. Kapasite eğrilerinden bu yapıların enerji sönüm kapasitelerinin değerlendirilmesi amacıyla “birim enerji” değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler 4 katlı binalar için Çizelge 7.1’de ve 7 katlı binalar için Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelgede yer alan  $E/E_{ref1}$  ifadesi söz konusu binanın birim enerji değerinin 10 cm etriye aralığına sahip referans binaya oranını, alan  $E/E_{ref2}$  ifadesi ise söz konusu binanın birim enerji değerinin aynı etriye aralığına sahip referans binaya oranını göstermektedir. Bir başka deyişle  $E/E_{ref1}$  ifadesi hem belirtilen düzensizlikten hem de etriye aralığının büyük olmasından kaynaklanan olumsuzluğu birlikte yansıtmakta,  $E/E_{ref2}$  ifadesi yalnız belirtilen düzensizlikten kaynaklanan olumsuzluğu yansıtmaktadır.

Bu veriler ışığında binalarda bulunan çeşitli düzensizliklerin kapasiteye yansımaları hakkında önerilerde bulunulmaya çalışılacaktır. Bu amaçla bu düzensizliğe sahip olan yapıların enerji sönüm kapasitelerinin düzensizlik taşımayan yapıların ne kadarına sahip olduğunu belirten bir “düzensizlik katsayısı” önerilecektir. Bu katsayı deprem yüklemesinin ve yapı davranışının belirsizliğini dikkate alınarak 0.05’in katları olarak (0.83 yerine 0.85 gibi) belirtilecektir.

Çizelge 7.1 : 4 katlı modeller artımsal itme analizi sonuçları

No	Model Adı	Yön	s (cm)	W <sub>sismik</sub> (ton)	T (s)	H (m)	Birim Enerji	E/E <sub>ref1</sub>	E/E <sub>ref2</sub>
1	K4dyok	X	10	862	0.57	11.2	0.345	1.00	1.00
2			20	862		11.2	0.234	0.68	1.00
3		Y	10	862		11.2	0.352	1.00	1.00
4			20	862		11.2	0.250	0.71	1.00
5	K4dyk	X	10	866	0.71	12.4	0.193	0.56	0.56
6			20	866		12.4	0.136	0.39	0.58
7		Y	10	866		12.4	0.169	0.48	0.48
8			20	866		12.4	0.126	0.36	0.50
9	K4dkk	X	10	885	0.52	11.2	0.304	0.88	0.88
10			20	885		11.2	0.203	0.59	0.87
11		Y	10	885		11.2	0.300	0.85	0.85
12			20	885		11.2	0.208	0.59	0.83
13	K4dkk2	X	10	897	0.47	11.2	0.051	0.15	0.15
14			20	897		11.2	0.045	0.13	0.19
15		Y	10	897		11.2	0.048	0.14	0.14
16			20	897		11.2	0.043	0.12	0.17
17	K4dkc1	X	10	948	0.63	11.2	0.315	0.91	0.91
18			20	948		11.2	0.209	0.61	0.89
19		Y	10	948		11.2	0.283	0.80	0.80
20			20	948		11.2	0.173	0.49	0.69
21	K4dkc2	X	10	1017	0.68	11.2	0.278	0.81	0.81
22			20	1017		11.2	0.167	0.48	0.71
23		Y	10	1017		11.2	0.269	0.77	0.77
24			20	1017		11.2	0.177	0.50	0.71

Çizelge 7.2 : 7 katlı modeller artımsal itme analizi sonuçları

No	Model Adı	Yön	s (cm)	W <sub>sismik</sub> (ton)	T (s)	H (m)	Birim Enerji	E/E <sub>ref1</sub>	E/E <sub>ref2</sub>
1	K7dyok	X	10	1723	0.78	19.6	0.198	1.00	1.00
2			20	1723		19.6	0.135	0.69	1.00
3		Y	10	1723		19.6	0.194	1.00	1.00
4			20	1723		19.6	0.107	0.55	1.00
5	K7dyk	X	10	1730	0.88	20.8	0.103	0.52	0.52
6			20	1730		20.8	0.063	0.32	0.46
7		Y	10	1730		20.8	0.094	0.49	0.49
8			20	1730		20.8	0.054	0.28	0.51
9	K7dkk	X	10	1758	0.72	19.6	0.031	0.16	0.16
10			20	1758		19.6	0.024	0.12	0.17
11		Y	10	1758		19.6	0.026	0.13	0.13
12			20	1758		19.6	0.015	0.08	0.14
13	K7dkc1	X	10	1898	0.87	19.6	0.174	0.88	0.88
14			20	1898		19.6	0.121	0.61	0.90
15		Y	10	1898		19.6	0.136	0.70	0.70
16			20	1898		19.6	0.093	0.48	0.87
17	K7dkc2	X	10	2040	0.94	19.6	0.158	0.80	0.80
18			20	2040		19.6	0.109	0.55	0.81
19		Y	10	2040		19.6	0.132	0.68	0.68
20			20	2040		19.6	0.086	0.44	0.81

### 7.1.1 Etriye Aralığı

Yanal donatı miktarı sargı etkisi ile betonarme elemanlarda betonun davranışını büyük ölçüde etkileyerek eleman deformasyon kapasitesini arttırabilmektedir. Böylelikle kapasite eğrilerinde görüldüğü gibi eleman dayanımı değişmese de elemanın enerji sönüm kapasitesi artmaktadır. Bu da sistemin enerji sönüm kapasitesini arttırarak yapının deprem davranışını önemli ölçüde iyileştirebilmektedir.

Yapılan analizler neticesinde düzenli binalarda (referans binalar) etriye aralığının 10 cm'den 20 cm'ye çıkarılması yani hacimsel etriye oranının yarıya düşmesi ile sistem enerji sönüm kapasitesi çoğunlukla % 30 civarında azalmıştır. 7 katlı referans binanın yönünde bu azalma % 45'i bulmaktadır. Çizelge incelendiğinde yanal donatı miktarının

kötü olduğu sargılama bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamış sistemlerin enerji sönüm kapasitelerinin sargılama yapılmış sistemlerin 4 katlı binalar için 0.7 katı 7 katlı binalar için 0.60 katı olduğu söylenebilir.

### **7.1.2 Yumuşak Kat**

Yumuşak kat ülkemiz ve dünyada yapıların depremlerde hasar görmeleri ve yıkılmalarının en başta gelen nedenleri arasındadır. Bu çalışmada da enerji sönüm kapasitesinde en büyük olumsuzluğu oluşturan neden yumuşak kat düzensizliği olarak belirlenmiştir. Yumuşak kat, etkisi nedeniyle birim enerji değeri 4 katlı yapılarda ortalama olarak 0.53 katına, 7 katlı yapılarda ise 0.49 katına düşmüştür. Bu değerler göz önüne alındığında 4 katlı veya 4 kata yakın yapılarda yumuşak kat için düzensizlik katsayısı olarak 0.55 ve 7 katlı veya 7 kata yakın yapılarda 0.5 önerilmektedir.

Hem yumuşak katın bulunduğu hem de etriye aralığının uygun olmadığı yapılarda ise birim enerji değerinin 4 kat için ortalama 0.38 ve 7 kat için 0.30 katına düştüğü belirlenmiştir. Bu durumda bu iki düzensizliğinde mevcut olduğu 4 kat veya 4 kata yakın yapılarda 0.4, 7 kat veya 7 kata yakın yapılarda 0.3 düzensizlik katsayısı olarak önerilmektedir.

### **7.1.3 Kısa Kolon**

Yapısal düzensizlikler içinde genel bir yorum yapmanın en zor olduğu durum kısa kolondur. Çünkü kısa kolon sistem bazında bir düzensizlikten çok sistem içinde bir eleman üzerinde deprem istemlerinin yoğunlaşması durumudur. Bu nedenle kısa kolonun sistem içindeki yeri, sistemde kaç adet kolonun kısa kolon olduğu, bu elemanların düşey ve yatay yük dayanımına ne oranda katkı yaptığına göre bu düzensizliğin yapı davranışına etkisi değişir. Ayrıca 6.1.3'te açıklandığı gibi her boyu kısa kolon “kısa kolon davranışı” göstermeyebilir.

Fakat analizlerde incelenen tüm dış kolonların kısa kolon olduğu sistemlerde Şekil 6.7 ve 6.8'de görüldüğü gibi herhangi bir süreklilik ve enerji sönüm kapasitesinden söz etmek mümkün değildir. Birim enerji değerleri açısından bu yapıların referans binanın 0.12 katı değerlere sahip olduğu söylenebilir. Fakat ilk paragrafta da anlatılan nedenlerle bu çalışmada kısa kolon için herhangi bir düzensizlik katsayısı önerilmeyecek yalnız bina enerji sönüm kapasitesini onda birine düşürebileceğinin hatırlatılmasıyla yetinilecektir. Bu değerlendirmenin binaları inceleyen kısa kolon davranışı hakkında bilgi sahibi uzmanlarca yapılmasının en uygun yol olacağı söylenebilir.

#### **7.1.4 Tek Taraftan Kapalı Çıkma**

Kapalı çıkmaların, ağırlıklarını arttırarak ve rijitlik ve ağırlık merkezlerini birbirinden uzaklaştırarak binaların deprem davranışı üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğundan ikinci bölümde bahsedilmişti.

Analizler neticesinde 4 ve 7 katlı tek taraftan kapalı çıkmaya sahip binaların enerji sönüm kapasiteleri ortalama olarak referans binaların 0.84 katı olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple tek taraftan kapalı çıkmaların düzensizlik katsayısı olarak 0.85 değeri önerilmektedir.

Aynı zamanda etriye sıklaştırmasının yapılmamış olduğu binalarda bu değer 0.55 olarak önerilmektedir.

#### **7.1.5 İki Taraftan Kapalı Çıkma**

İki taraftan kapalı çıkma etkileri de tek taraftan kapalı çıkmaya benzer şekildedir. Bu düzensizliğe sahip binaların ortalama olarak referans binaların 0.76 katı enerji sönüm oranına sahip olduğu belirlenmiştir. İki taraftan kapalı çıkmaya sahip yapılar için düzensizlik katsayısı olarak etriye sıklaştırması yapılan binalar için 0.75 ve etriye sıklaştırmasının yapılmamış olduğu binalarda 0.50 olarak önerilmektedir.

### 7.1.6 Genel Değerlendirme

Önerilen değerler Çizelge 7.3'te toplu halde verilmektedir.

Çizelge 7.3 : Önerilen “düzensizlik katsayısı” değerleri

Düzensizlik	4 Katlı		7 Katlı	
	Sargılama		Sargılama	
	Var	Yok	Var	Yok
Etriye Sıklaştırması	1.00	0.70	1.00	0.60
Yumuşak Kat	0.55	0.40	0.50	0.30
Kısa Kolon	-	-	-	-
Tek Taraftan Çıkma	0.85	0.55	0.85	0.55
İki Taraftan Çıkma	0.75	0.50	0.75	0.50

### 7.2 Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçları

Tek ve iki taraftan kapalı çıkmalara sahip binaların deplasman istemlerinin referans bina istemine oranının belirlenmesi için Çizelge 5.7’de verilen gerçek depremlere ait 16 adet ivme kaydı kullanılarak 196 adet zaman tanım alanında analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizler neticesinde tek ve iki yönden çıkmaya sahip binaların deplasman istemlerinin referans binanın ortalama kaç katı olduğu Çizelge 7.4’te verilmiştir.

Çizelge 7.4 : Zaman tanım alanında analiz deplasman istemi oranları

		Tek Taraftan Çıkma	İki Taraftan Çıkma
4 Katlı	X	1.13	1.16
	Y	1.10	1.26
Ortalama		<b>1.11</b>	<b>1.21</b>
7 Katlı	X	1.15	1.19
	Y	1.06	1.26
Ortalama		<b>1.10</b>	<b>1.23</b>

Analizler neticesinde Çizelge 7.4'te verilen değerler göz önüne alınarak tek taraftan kapalı çıkmaya sahip 4 ve 7 katlı binalarda deprem isteminin düzenli binanın 1.10 katı olduğu söylenebilir. Aynı şekilde iki taraftan çıkmaya sahip 4 katlı yapılarda bu oran 1.20 ve 7 katlı yapılarda 1.25 olarak alınabilir.

### 7.3 Analiz Sonuçlarının Genel Değerlendirmesi

1. Etriye aralığı yapıların yatay dayanım değerlerini etkilemezken, deplasman ve enerji sönüm kapasiteleri üzerinde önemli etkisi vardır. Etriye aralığının 10 cm'den 20 cm'ye çıkarılması ile enerji sönüm kapasitesi 4 katlı düzenli yapıda % 30, 7 katlı düzenli yapıda % 40 azalmıştır.
2. Çalışma kapsamında ele alınan düzensizlikler içinde enerji sönüm kapasitesi üzerinde en olumsuz etkiye yumuşak kat düzensizliği sahiptir. Yumuşak kat enerji sönüm kapasitesinin 4 katlı yapılarda % 55'ine, 7 katlı yapılarda ise % 50'sine düşmesine yol açmıştır.
3. Her boyu kısa olan kolon "kısa kolon" davranışı göstermeyebilir. Kolonun bağlı olduğu kirişlerin moment kapasitesinin düşük olması kısa kolon davranışı oluşmasını engelleyebilir.
4. Bant pencere uygulaması oldukça tehlikelidir. Binanın tüm cephelerinde bant pencere uygulanması halinde enerji sönüm kapasitesinde % 90'lara varan düşüşlerle karşılaşılabilir.
5. Ağır kapalı çıkmalar bina davranışı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir.
6. Tek cepheden 1.5 m kapalı çıkma yapılması ile 4 ve 7 katlı yapıda enerji sönüm kapasitesinde % 15 azalma, deplasman taleplerinde ortalama % 10 artış görülmüştür.



7. Çapraz iki cepheden 1.5 m kapalı çıkma yapılması ile 4 ve 7 katlı yapıda enerji sönüm kapasitesinde % 25 azalma, deplasman taleplerinde ortalama % 22 artış yaşanmaktadır.

#### **7.4 Yapılabilecek Çalışmalar İle İlgili Öneriler**

Bu çalışmanın devamı olabilecek daha detaylı incelenmesinde fayda olabilecek bazı hususlar da vardır. Şu noktalar ileride yapılabilecek çalışmalarda incelenebilir :

1. İncelenen düzensizliklerin dinamik etkilerinin daha ayrıntılı incelenebilmesi için doğrusal ötesi dinamik analiz kullanılabilir. Tez kapsamında doğrusal dinamik analiz de kullanıldıysa da doğrusal ötesi dinamik analiz daha detaylı incelemeye olanak vermektedir.
2. Kat sayısı, plan şekli, eleman boyut ve yerleşimleri bakımından değişiklikler gösteren modeller ile incelenen model sayısı artırılarak belirtilen düzensizliklerin etkileri daha geniş bir şekilde araştırılabilir.
3. 1998 yönetmeliğine göre tasarlanan yapılar üzerinde düzensizlik etkileri incelenebilir.
4. Farklı beton dayanımlarına sahip modeller kullanılabilir.
5. Belirtilen düzensizlikleri farklı oranlarda taşıyan modeller incelenerek hangi oranda düzensizliğin, hangi oranda olumsuzluğa neden olduğu araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

Adalier K and Aydingun O., Structural engineering aspects of the June 27, 1998 Adana-Ceyhan (Turkey) earthquake, Engineering Structures, Vol 23:343–55, 2001.

An summary report of the January 17 1995 Kobe Earthquake, <http://www.eqe.com/publications/kobe/kobe.html>, 1995.

ATC-32, Improved Seismic Design Criteria for California Bridges: Provisional Recommendations, Applied Technology Council, California, 1996.

ATC-40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, Redwood City, California, 1996.

Aslankara, Y., İnel, M. ve Toprak, S., Kent Ölçeğinde Senaryo Depremde Oluşacak Bina Hasarlarının Tahmini, Kocaeli Deprem Sempozyumu, 2005.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 1975.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 1998.

Chopra, A. K., Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering (2nd Edition), Pearson Education, ISBN: 0130869732, 844 pages, September 11, 2000.

Doğangün A, Performance Of Reinforced Concrete Buildings During The May 1 2003 Bingöl Earthquake In Turkey, Engineering Structures, Vol 26:841-56, 2004.

ETABS, Computers and Structures, [www.csiberkeley.com](http://www.csiberkeley.com), California, USA, 2002.

Fardis, M.N. and Biskinis D.E., Deformation of RC Members as Controlled by Flexure or Shear, Proceedings of the International Symposium Honoring Shunsuke Otani on Performance-Based Engineering for Earthquake Resistant Reinforced Concrete Structures, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, 2003.

FEMA 154, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook, Federal Emergency Management Agency, Washington, 1998.

FEMA 307, Evaluation Of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, 1998.

FEMA 310, Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings—A Prestandard, prepared by the American Society of Civil Engineers for the Federal Emergency Management Agency, Washington D.C, 1998.

FEMA 356, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, 2000.

Goel R.K., Performance Of Buildings During The January 26, 2001 Bhuj Earthquake, [http://ceenve.ceng.calpoly.edu/goel/indian\\_eqk/index.html](http://ceenve.ceng.calpoly.edu/goel/indian_eqk/index.html), 2003.

Hassan, A.F. and Sozen, M.A., Seismic Vulnerability Assessment Of Lowrise Buildings In Regions With Infrequent Earthquakes, ACI Structural Journal; Vol 94(1):31–9, 1997.

HAZUS Earthquake Loss Estimation Methodology Technical Manual, National Institute of Building Sciences for Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington D.C, 1999.

İnel, M., Senel, S.M., Toprak, S., Kayhan, A.H. and Yilmaz, S., Building Damage Assessment of Urban Areas: A Case Study for Denizli, Turkey, 6th International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul, Turkey, 2004.

İzmir Deprem Senaryosu (2000), [www.koeri.boun.edu.tr](http://www.koeri.boun.edu.tr)

Krawinkler, H. and Seneviratna, G. D. P. K., Pros and Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation, *Engineering Structures*, Vol. 20, 452-464, 1998.

Özcebe, G., Deprem Güvenliğinin Saptanması İçin Yöntemler Geliştirilmesi, TÜBİTAK İÇTAG YMAÜ İ574 Numaralı Araştırma Projesi Sonuç Raporu, Ankara, 2004.

Park, R. and Paulay, T., *Reinforced Concrete Structures*, New York. John Wiley & Sons; 769 pp., 1975.

Priestley, M.J., Performance Based Seismic Design, Proc. 12 th World Conf. Earthquake Engineering, 2000.

Priestley, M.J.N., Seible, F. and Calvi G.M.S., *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, New York, John Wiley & Sons, 1996.

Santiago, P., Ramirez, J. and Sarria, A., Observations On The Behaviour Of Low-Rise Reinforced Concrete Buildings January 25 Colombia Earthquake, <http://nisee.berkeley.edu/lessons/colombia.pdf>, 2003.

SAP2000 Manual, Computers and Structures, [www.csiberkeley.com](http://www.csiberkeley.com), California, USA, 2003.

Scott, B.D., Park, R. and Priestley M.J.N., Stress-Strain Behavior of Concrete Confined by Overlapping Hoops at Low and High Strain Rates, *ACI Structural Journal*, Vol:76, pp. 13-27, 1982.

Sezen. H., Whittaker A.S., Elwood K.J. and Mosalam, K.M., Performance Of Reinforced Concrete Buildings During The August 17 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake, And Seismic Design Andconstruction Practice In Turkey, Engineering Structures, Vol 25:103–14, 2003.

Somerville, P.G., Smith, N.F., Graves, R.W. and Abrahamson, N.A., Modification of Empirical Strong Ground Motion Attenuation Relations to Include the Amplitude and Duration Effects of Rupture Directivity, Seismological Research Letters, Vol. 68, No. 1, 1997.

Sucuoglu, H. and Yazgan, U., Simple Survey Procedures For Seismic Risk Assessment In Urban Building Stocks, Earth And Environmental Sciences, Vol. 29:97–118, London, 2003.

Tedesco, J.W., McDougal, W. G. and Ross, C. A., Structural Dynamics : Theory and Applications, Pearson Education, 1st edition, ISBN: 0673980529, 816 p., 1998.

TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.

Watanabe, F., Behaviour of Reinforced Concrete Buildings During the Hougoken-Nanbu Earthquake, Cement an Concrete Composites, Vol 19:203-211, 1997,

Yakut, A., Preliminary Seismic Assessment Procedure for Existing RC Buildings, Engineering Structures, Article In Press, 2004.

Yoshimura K. and Kuroki M., Damage to Building Structures Caused by the 1999 Chi-chi Earthquake in Taiwan, <http://www.arch.oita-u.ac.jp/a-kou/taiwan1.pdf>, 2003.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı : Hayri Baytan ÖZMEN

Ana Adı : Gülistan

Baba Adı : Cafer

Doğum Yeri ve Tarihi : ISPARTA/ 09.01.1979

Lisans : Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2001

Yabancı Dil : İngilizce