

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM KUVVETİ ETKİSİNDEKİ**  
**BETONARME BİNALARDA YAPISAL**  
**DÜZENSİZLİKLERİN İRDELENMESİ VE**  
**LİNEER OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİNİN**  
**UYGULANMASI**

**Sibel ARGÜZ DÖKER**

**Ocak, 2010**

**İZMİR**

**DEPREM KUVVETİ ETKİSİNDEKİ  
BETONARME BİNALARDA YAPISAL  
DÜZENSİZLİKLERİN İRDELENMESİ VE  
LİNEER OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİNİN  
UYGULANMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı**

**Sibel ARGÜZ DÖKER**

**Ocak, 2010  
İZMİR**



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, tezimi yönlendiren ve beni her zaman destekleyen değerli danışman hocam, DEÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Yıldırım ERTUTAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, Yüksek Lisans Tez çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan Araş.Gör.Özgür BOZDAĞ'a, İnşaat Mühendisi Levent TÜRKBEN'e, Araş.Gör. Sadık Can GİRGIN'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince anlayışından ötürü müdürüm Sayın İnş.Müh. Ragıp Ünal Saygın' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman arkamda oldukları için canım aileme ve canım eşime minnet ve şükranlarımı sunarım.

Sibel ARGÜZ DÖKER

# DEPREM KUVVETİ ETKİSİNDEKİ BETONARME BİNALARDA YAPISAL DÜZENSİZLİKLERİN İRDELENMESİ VE LİNEER OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

## ÖZ

Bu çalışma kapsamında 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde yer alan yapısal düzensizlikler (burulma düzensizliği, döşeme süreksizlikleri, planda çıkıntılar bulunması, komşu katlar arası dayanım düzensizliği, komşu katlar arası rijitlik düzensizliği, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği) dikkate alınarak, farklı zemin sınıfları için yapının taban burulma momenti değerleri hesaplanmış, ve irdelenmiştir.

Çalışmada ayrıca, güçlendirilmiş mevcut bir binanın, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi ile yapısal kapasiteyi esas alan ve yapıların performans seviyesinin belirlenmesinde kullanılan Deplasman Katsayıları Yöntemi ile deprem etkileri altında performans seviyeleri belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Yapısal düzensizlikler, Deplasman Katsayıları Yöntemi, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi, performans noktası, performans seviyesi.

# INVESTIGATING STRUCTURAL IRREGULARITIES AND NONLINEAR ANALYSIS IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

## ABSTRACT

In this study, structural irregularities are observed which cause to capacity exhaust and collapse of multistory systems under lateral earthquake loads when design of this systems. For this purpose, it is studied on total base torsional moment for all soil type using torsional irregularity, floor discontinuities, projections in plan, adjacent story strength irregularity (weak story), adjacent story stiffness irregularity (soft story).

In addition this, it is examined to determine the performance levels of structural systems under earthquake effects by using Displacement Coefficients Method placed in FEMA 356. Performance level of structure designed on Z1, Z2, Z3, and Z4 soil type. The results are given with graphics and tables about the performance level of structure designed in accordance with using soil type.

**Keywords:** Structural irregularities, Nonlinear static pushover analysis, Displacement Coefficients Method, capacity curve, performance level

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	i
TEŞEKKÜR .....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT .....	v
<b>BÖLÜM BİR - GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	1
<b>BÖLÜM İKİ - YAPISAL DÜZENSİZLİKLER.....</b>	<b>3</b>
2.1 A1 – Burulma Düzensizliği .....	3
2.1.1 Ek Dış Merkezlik.....	4
2.2 A2 – Döşeme Süreksizlikleri.....	6
2.2.1 Döşemeleri Rijit Diyafram Olarak Çalışan Yapılar .....	7
2.2.2 Döşemeleri Rijit Diyafram Olarak Çalışmayan Yapılar.....	8
2.3 A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması.....	8
2.4 B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği .....	9
2.5 B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği.....	10
2.6 B3 Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarındaki Süreksizlik Düzensizliği.....	11
<b>BÖLÜM ÜÇ - BETONARME YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ.....</b>	<b>14</b>
3.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Hesabı.....	14
3.2 Çözümün Sağlanması İçin Gerekli Koşullar .....	15

3.3	Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri .....	16
3.4	Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altında Doğrusal Olmayan Davranışı.....	17
3.4.1	Plastik Mafsalsal Hipotezi .....	19
3.4.2	Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi .....	20
<b>BÖLÜM DÖRT - DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ARTIMSAL İTME ANALİZİ YÖNTEMLERİ .....</b>		<b>21</b>
4.1	Deplasman Katsayıları Yöntemi.....	21
4.2	Kapasite Spektrumu Yöntemi.....	26
<b>BÖLÜM BEŞ - YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>		<b>35</b>
5.1	Binalardan Bilgi Toplanması.....	35
5.2	Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgelerinin 2007 Deprem Yönetmeliğine Göre Tanımı.....	36
5.2.1	Yapı Elemanlarının Kırılma Türleri .....	37
5.2.2	Kesit Hasar Sınırları .....	37
5.2.3	Kesit Hasar Bölgeleri.....	37
5.3	Bina Deprem Performans Seviyeleri .....	38
5.3.1	Hemen Kullanım Durumu (HK).....	38
5.3.2	Can Güvenliği Durumu (CG) .....	38
5.3.3	Göçmenin Önlenmesi Durumu (GÖ) .....	39
5.3.4	Göçme Durumu .....	39
5.3.5	Görel Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması .....	40
5.4	Binalar İçin Hedeflenen Deprem Performans Düzeyleri.....	40
5.5	TDY 2007' da Yer Alan Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesi İçin Kullanılan Hesap Yöntemleri .....	41
5.5.1	TDY 2007' da Yer Alan Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri 42	
5.5.1.1	Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi .....	42



5.5.1.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi .....	43
5.5.1.3 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi .....	43
5.6 Yapıların Deprem Performanslarının Doğrusal Olmayan Statik Artımsal İtme Analizi Yöntemleri İle Belirlenmesi.....	43
5.6.1 Performans Hedefi.....	45
5.6.2 Performans Seviyeleri.....	45
5.6.2.1 Taşıyıcı Elemanlar İçin Performans Seviyeleri .....	45
5.6.2.2 Taşıyıcı Olmayan Elemanlar İçin Performans Seviyeleri.....	47
5.6.3 Bina Performans Seviyeleri.....	48
5.6.4 Deprem Hareketi.....	50
5.6.5 Yapısal Kapasite .....	50
<b>BÖLÜM ALTI - UYGULAMALAR .....</b>	<b>52</b>
6.1 Giriş .....	52
6.2 Etabs Nonlinear Analiz Bilgisayar Programı .....	52
6.3 Uygulama 1.....	53
6.3.1 Yapı Spektrum Grafiğinin Belirlenmesi.....	53
6.3.2 İncelenen Yapıların Genel Özellikleri.....	55
6.3.3 Düzensizlik Durumlarının İncelenmesi .....	57
6.3.3.1 A1 – Burulma Düzensizliği Olması Hali İrdeleme .....	57
6.3.3.2 A2 – Döşeme Süreksizlikleri Olması Hali İrdeleme.....	58
6.3.3.3 A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması Hali İrdeleme .....	59
6.3.3.4 B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Olması Hali İrdeleme .....	60
6.3.3.5 B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) Olması Hali İrdeleme .....	61
6.3.3.6 B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği Hali İrdeleme.....	62
6.3.4 1999 Düzce Deprem Kayıtları Kullanılarak Hesaplanan Toplam Taban Burulma Momentleri .....	63
6.4 Uygulama 2.....	65

6.4.1 Seçilen Betonarme Perde Sistemli Yapı Özellikleri.....	65
6.4.2 Seçilen Betonarme Sekiz Katlı Perde Sistemli Yapının Kalıp Planı ve 3D Modeli .....	66
6.4.3 Yapının Kiriş ve Kolon Elemanlarının Donatı Alanları .....	69
6.4.4 Seçilen Yapı İçin Performans Hedefinin Tanımlanması .....	69
6.4.5 Seçilen Betonarme Sekiz Katlı Perde Sistemli Yapının Deprem Hesabında Dikkate Alınan Değerler.....	70
6.4.6 Deplasman Katsayıları Yöntemi İle Yapıların Performans Noktasının Belirlenmesi.....	71
6.4.7 Yapının Kolon Kiriş Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi.....	73
6.4.7.1 Yapının Kiriş Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi.....	73
6.4.7.2 Yapının Kolon Taban Kesme Kuvvetleri-Kesme Kuvvet Kapasiteleri.....	79
6.4.7.3 Yapının Kat Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi.....	83
6.4.7.4 Yapının İki Ucu Mafsallaşan Kolonlarının Kat Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi.....	83
6.4.8 Yapının Deprem Performans Düzeyinin Belirlenmesi.....	87
<b>BÖLÜM YEDİ - SONUÇLAR .....</b>	<b>89</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>92</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>95</b>

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yakın geçmişte ülkemizde meydana gelen depremlerin sonrasında yapılan yoğun incelemeler ve araştırmalar, deprem bölgelerinde inşa edilen binaların önemli bir bölümünün yeterli deprem güvenliğine sahip olmadıklarını ve bu yetersizliğin,

- a) Bilimsel esaslara ve yönetmeliklere uygun olmayan hatalı tasarımdan,
- b) Malzeme ve beton kalitesinin yeterli olmamasından,
- c) Projeye, yönetmeliklere ve temel mühendislik prensiplerine uygun olmayan kusurlu yapımdan kaynaklandığını göstermektedir.

Olası yeni depremlerde daha önce görülen olumsuz sonuçların meydana gelmemesi için, çeşitli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemler iki grupta toplanabilir:

- a) Deprem bölgelerinde yeni yapılacak binaların, tasarım ve yapım aşamalarında, yapıların bilimsel esaslara, mühendislik prensiplerine ve yönetmeliklere uygun olarak inşa edilmesini sağlamak.
- b) Deprem riski yüksek olan bölgelerdeki mevcut yapıların deprem güvenliklerini belirlemek ve yeterli güvenliğe sahip olmayan yapıları güçlendirmek.

Bu çalışma kapsamında, yukarıda sözü edilen saptamalar kapsamında önlemler almak için yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin düzenlenmesi ve yapısal düzensizlikler konuları (burulma düzensizliği, döşeme süreksizlikleri, planda çıkıntılar bulunması

komşu katlar arası dayanım düzensizliği, komşu katlar arası rijitlik düzensizliği, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği) incelenmiş, mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilen doğrusal olmayan statik artımsal itme analiz yöntemlerinden bir tanesi olan *Deplasman Katsayıları Yöntemi* açıklanmış ve örnek yapıya uygulanmıştır.

Çalışma 7 bölümden ibaret olup, 1. Giriş bölümünden sonra 2. bölümde Yapısal düzensizlik türleri anlatılmış, 3.bölümde betonarme yapıların lineer olmayan analizi, 4. bölümde doğrusal olmayan statik itme analizi, 5. bölümde yapı sistemlerinin deprem performanslarının değerlendirilmesi anlatılmış, 6. bölümde iki adet uygulama yapılarak 7.bölümdede bu uygulamaların sonuçları sunulmuştur.

Tez çalışması kapsamında, betonarme yapıların performans değerlendirmesini yapmak üzere, mevcut dört katlı betonarme bir yapı, *ETABS (Extended 3D Analysis of Building Systems)* bilgisayar programı ile modellenmiştir.

## BÖLÜM İKİ

### YAPISAL DÜZENSİZLİKLER

#### 2.1 A1 – Burulma Düzensizliği

A1 düzensizliği, TDY'nin 2.3.2. maddesine göre birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden *Burulma Düzensizliği Katsayısı*  $\eta_{bi}$ 'nin 1,2' den büyük olması durumu olarak tanımlanmıştır. Görelî kat ötelemelerinin hesabı,  $\pm$  %5 ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak yapılır. Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda,

$$(\Delta_i)_{ort} = 1/2[(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}] \quad (2.1)$$

$$(\Delta_i)_{max} = (d_i)_{max} - (d_{i-1})_{max} \quad (2.1a)$$

$$(\Delta_i)_{min} = (d_i)_{min} - (d_{i-1})_{min} \quad (2.1b)$$

$$(\Delta_i)_{ort} = [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}] / 2 \quad (2.1c)$$

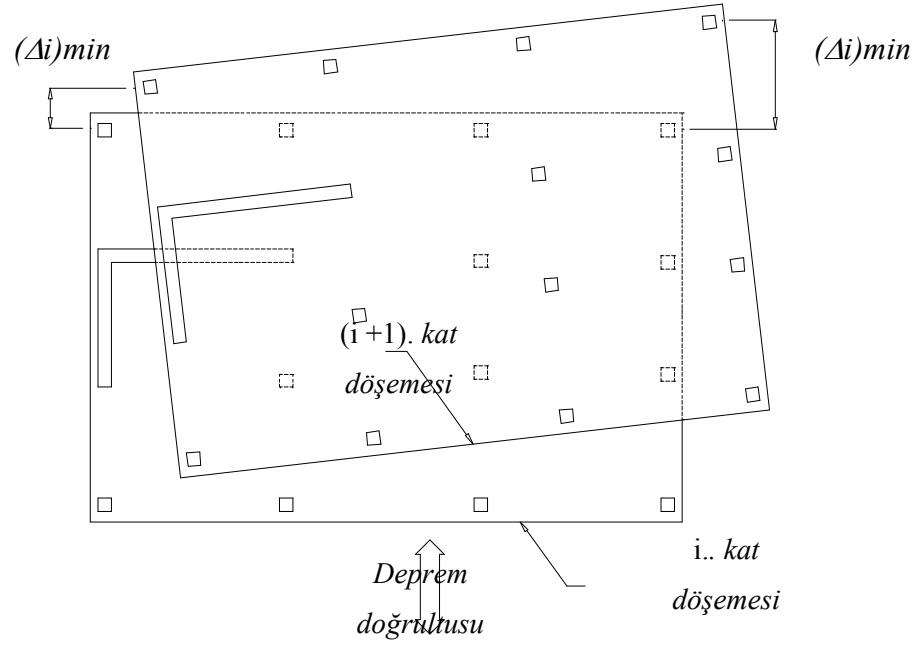
Burulma düzensizliği katsayısı :

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} \quad (2.2)$$

Bağıntılarda, kat deplasmanları  $d_i$  ve görelî kat ötelemeleri  $\Delta_i$  ile gösterilmiştir.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} > 1.2 \quad (2.3)$$

Olması halinde, burulma düzensizliği söz konusu olmaktadır.



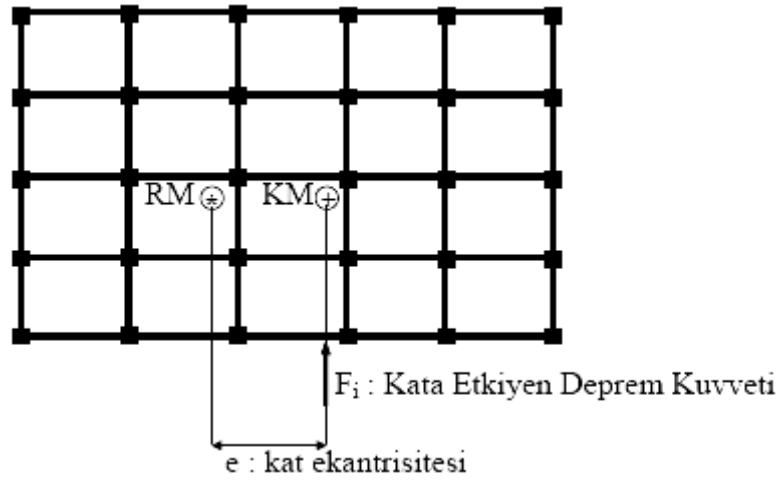
Şekil 2.1 A1- Burulma düzensizliği (TDY,2007)

### 2.1.1 Ek Dış Merkezlik

Binanın kat döşemesi, kolonları, kirişleri, bölme duvarları ağırlıkları ile diğer sabit yüklerin yanı sıra kat içinde düzgün yayılı kabul edilen hareketli yük ve diğer yükler hesaba katılarak x ve y eksenlerine göre sistemin kütle merkezi hesaplanır. Yapıya etkiyen deprem kuvveti bileşkesi bu noktadan geçer.

Deprem kuvveti etkisi altındaki düşey taşıyıcılarda oluşan kesme kuvvetlerinin her bir kat için iki doğrultuda hesaplanan bileşkesinin kesim noktası o kata ait rijitlik merkezi olarak tanımlanır. Rijitlik merkezi her kat için aynı ise sistemin gerçek bir dönme eksenine sahiptir. Ancak bütün katlar için ortak bir dönme eksenine yoksa kat rijitlik merkezlerine ait koordinatların dış yüklerle göre ağırlıklı ortalamaları alınarak tek bir dönme eksenine oluşturulur.

Birbirine dik doğrultuda uygulanan deprem kuvvetleri, kat içinde tek bir nokta olarak hesaplanan kütle merkezine etki eder. Kütle merkezi ile rijitlik merkezi çakışıyor ise kat içinde dışmerkezlilik oluşmaz. Bunu sonucu olarak,  $e = 0$ ,  $M_b = 0$  olur ve katta dönme hareketi oluşmaz. Eğer katta kütle merkezi ile rijitlik merkezi çakışmıyorsa, söz konusu kata etkiyen burulma momenti  $M_b$  ve katta rijit kütle dönmesi, ortaya çıkar. Doğal olarak deprem yükü altında birbirine dik iki yönde  $e_x$  ve  $e_y$  dışmerkezlilik mesafeleri oluşur.



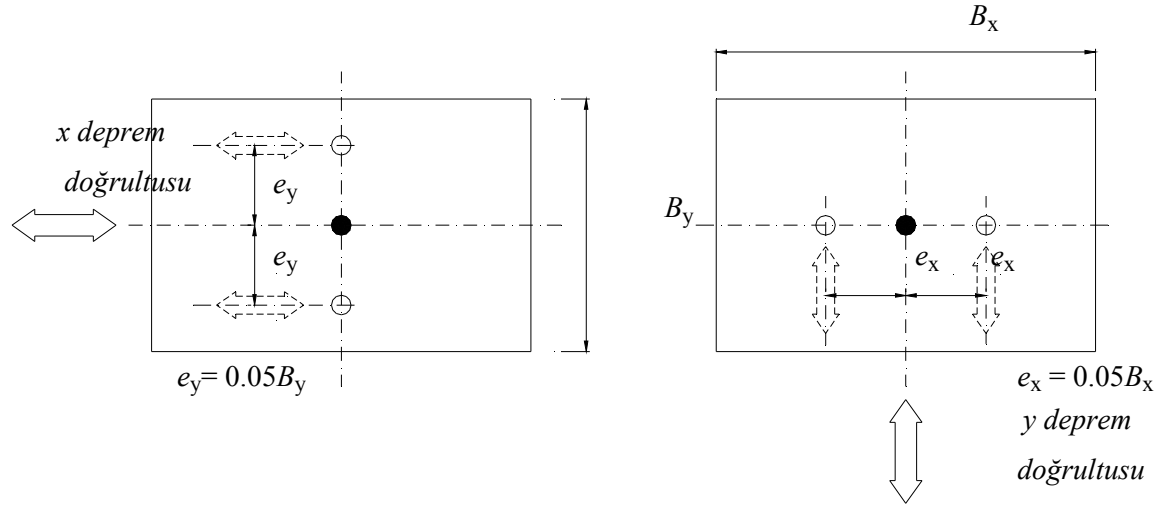
Şekil 2.2 Kat rijitlik ve kütle merkezi (Atımtay,2000)

TDY' nin 2.7.3.1. maddesine göre her katta belirlenen eşdeğer deprem yükü kat kütle merkezine ve ayrıca ek dışmerkezlilik etkisinin hesaba katılabilmesi amacı ile kaydırılmış kütle merkezlerine tekil yatay yükler olarak uygulanır. Kaydırılmış kütle merkezleri, gerçek kütle merkezinin gözönüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun %5' i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalardır.

TDY' nin 2.7.3.3. maddesine göre yapıda *A1-Burulma Düzensizliği*'nin bulunması ve  $1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$  olması durumunda, bu kata uygulanan %5 ek dışmerkezlilik, her iki deprem doğrultusu için  $D_i$  katsayısı ile çarpılarak büyütülür.

$$D_i = \left( \frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 \quad (2.4)$$

$\eta_{bi} > 2$  olması halinde sistemde dinamik analiz yapılır.



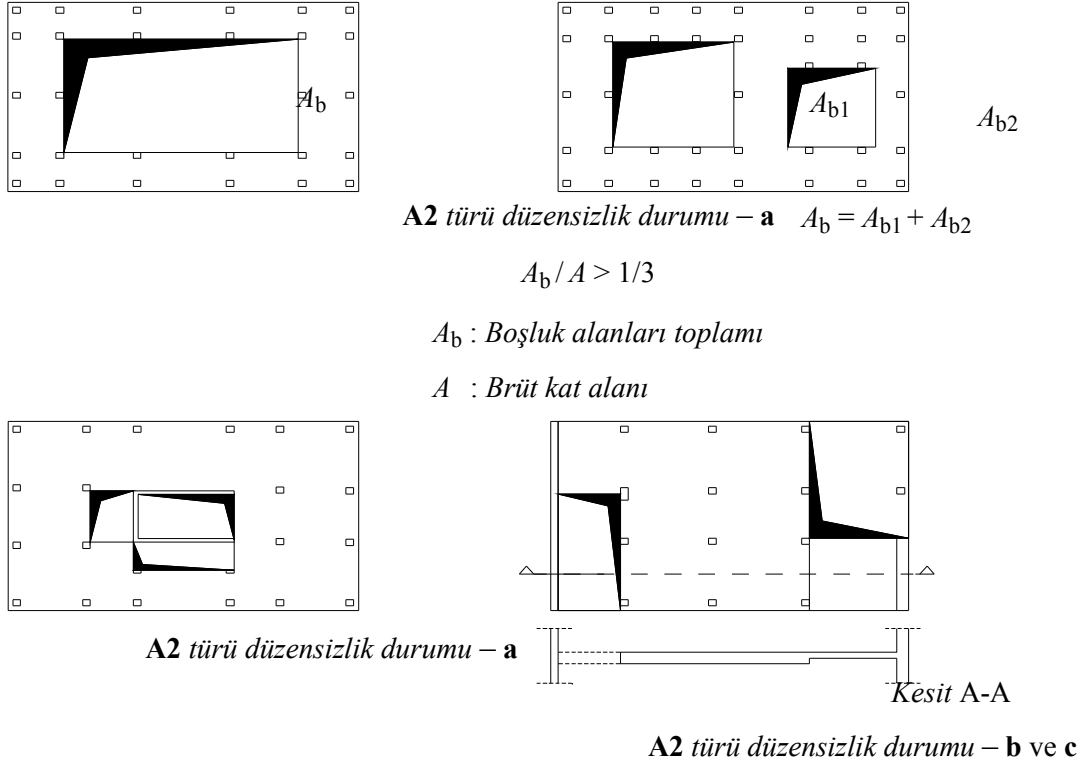
Şekil 2.3 Kaydırılmış kütle merkezi (TDY,2007)

## 2.2 A2 – Döşeme Süreksizlikleri

A2–Döşeme Süreksizliği, TDY' in 2.3.2. maddesine göre, herhangi bir kattaki döşemede;

- Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanlarının toplamının kat brüt alanının 1/3 'ünden fazla olması
- Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması
- Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu olarak tanımlanmıştır.





Şekil 2.4 A2- Döşeme süreksizlikleri (TDY,2007)

### 2.2.1 Döşemeleri Rijit Diyafram Olarak Çalışan Yapılar

TDY' nin 2.3.2.2. maddesinde A2 türü düzensizliklerin bulunduğu binalarda, 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde, deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiğinin hesapla doğrulanması gerektiği ifade edilmektedir.

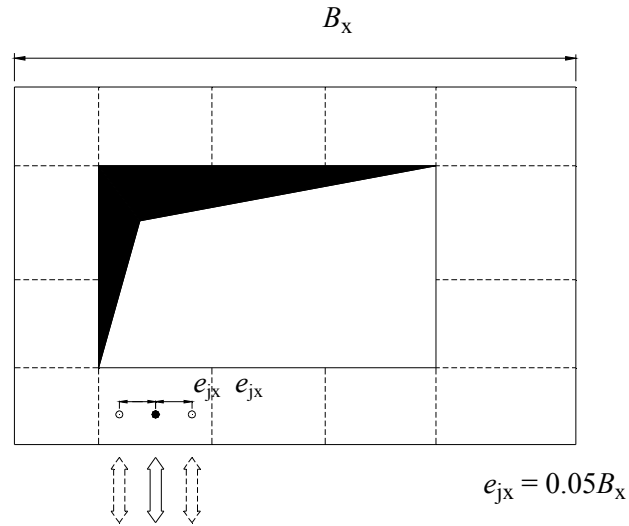
Kendi düzlemine paralel yükleme halinde, döşeme plağı, deprem yükü etkisi altında ihmal edilecek kadar küçük eğilme sehimi oluşturur; ancak bütün düşey taşıyıcıları beraber sürükleyerek ötelenmelerini sağlar. Başka bir deyişle, döşeme rijit kütle hareketi göstererek ötelenir. Döşemenin deprem yüklerini düşey taşıyıcılara aktarmasına diyafram görevi adı verilir. (Atımtay, 2000)

Etkin bir diyafram görevi için döşeme kendi düzlemi içinde etkiyen deprem yükü altında çok küçük sehim yapmalıdır. Bunun sağlanması için döşemenin düzlem içi

eğilme rijitliği büyük olmalıdır. Döşeme boşluklarının ise, bu rijitliği azalttığı açıktır. (Atımtay, 2000)

### 2.2.2 Döşemeleri Rijit Diyafram Olarak Çalışmayan Yapılar

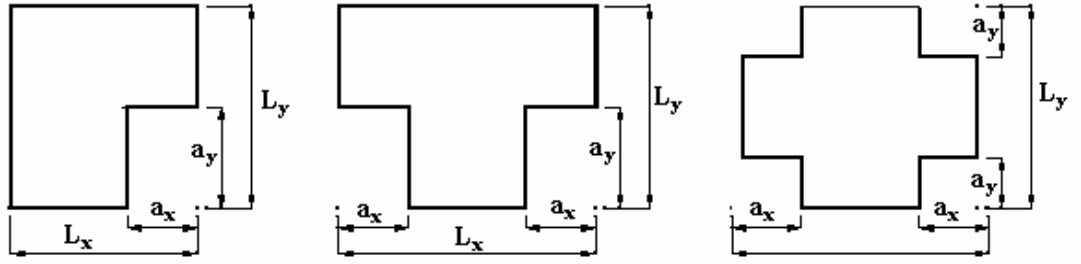
Kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarmadığı durumlarda yapının kat döşemesi rijit diyafram olarak çalışmamaktadır. Bu durumda her bir çerçevenin ötelenmesi farklı olur ve farklı ötelenmenin getirdiği farklı kesme kuvvetleri oluşur. Bu durumda TDY' nin 2.7.3.2. maddesindeki ek dışmerkezlilik etkisinin hesaba katılabilmesi için her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelerin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun  $\pm \%5'$  i kadar kaydırılır. (TDY,2007)



Şekil 2.5 Kaydırılmış kütle merkezi (TDY,2007)

### 2.3 A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması

TDY' in 2.3.2. maddesinde, bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımlarının birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının  $\%20'$ sinden daha büyük olması durumu olarak tanımlanmıştır.



A3 türü düzensizlik durumu:  
 $a_x > 0.2 L_x$  ve aynı zamanda  $a_y > 0.2 L_y$

Şekil 2.6 A3 – Planda çıkıntılar bulunması (TDY,2007)

TDY' in 2.3.2.2. maddesinde, 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde A3 türü düzensizliklerin bulunduğu binalarda, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini, düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiği hesapla doğrulanmalıdır.

## 2.4 B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği

TDY' nin 2.3.2. maddesine göre betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan *Dayanım Düzensizliği Katsayısı* ( $\eta_{ci}$ )' nin 0,80' den küçük olması durumu olarak tanımlanmıştır.

$$\eta_{ci} = (A_e)_i / (A_e)_{i+1} < 0,80 \quad (2.5)$$

Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı;

$$A_e = A_w + A_g + 0,15A_k \quad (2.5a)$$

Bu bağıntılarda,

$A_e$  : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı,

$A_w$  : Herhangi bir katta, kolon enkesit etkin gövde alanları toplamı,

$A_g$  : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı,

$A_k$  : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kagir dolgu duvarların alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı olarak tanımlanır.

TDY' te 2.3.2.4. maddesinde B1 türü düzensizliğinin bulunduğu binalarda, gözönüne alınan i. kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise,  $\eta_{ci}$ ' nin hesabında dolgu duvarları gözönüne alınmaz.  $0,60 < (\eta_{ci})_{\min} < 0,80$  aralığında taşıyıcı sistem davranış katsayısı,  $1,25(\eta_{ci})_{\min}$  değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanır. Ancak hiçbir zaman  $\eta_{ci} < 0,60$  olamaz. Aksi durumda, zayıf katın dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır. (TDY,2007)

## 2.5 B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği

TDY' in 2.3.2. 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*  $\eta_{ki}$ ' nin 1,5' dan fazla olması durumu olarak tanımlanır.

Rijitlik düzensizliği katsayısı,

$$\eta_{ki} = (\Delta_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{(i+1)})_{\text{ort}} > 1,5 \quad (2.6)$$

$$(\Delta)_{\text{ort}} = [(\Delta_i)_{\text{max}} + (\Delta_i)_{\text{min}}] / 2 \quad (2.6a)$$

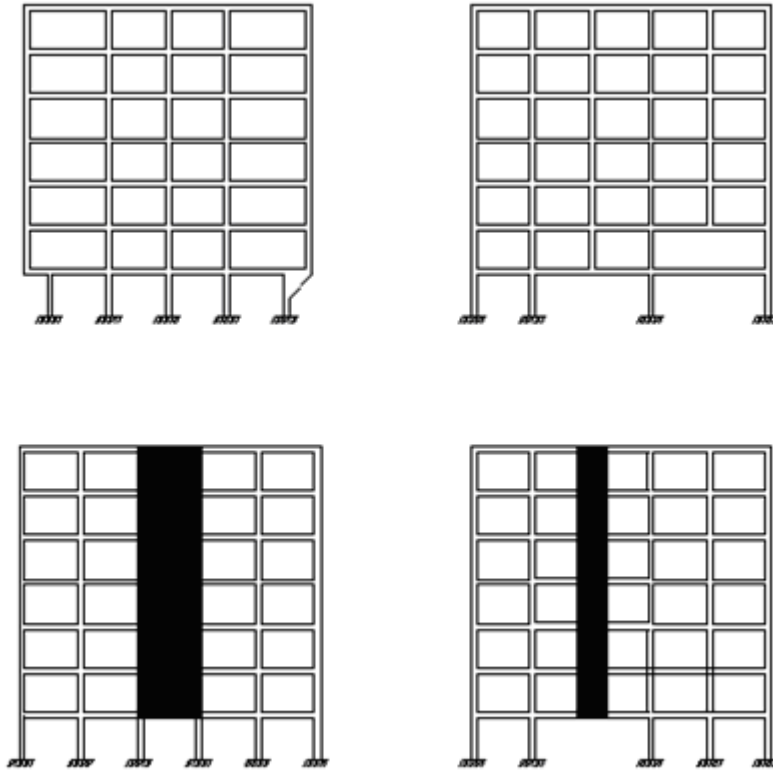
$$(\Delta_{i+1})_{\text{ort}} = [(\Delta_{(i+1)})_{\text{max}} + (\Delta_{(i+1)})_{\text{min}}] / 2 \quad (2.6b)$$

bağıntıları ile verilmiştir.

Hesaplarda eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulandığında toplam bina yüksekliğinin;  $25m < H_N < 60m$  olması durumunda *B2- Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği* kontrolü yapılmalıdır. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği katsayısının  $\eta_{ki} > 1,5$  ise dinamik analiz yapılır. Eğer  $\eta_{ki} < 1,5$  olması durumunda ise *A1- Burulma Düzensizliği* kontrolü yapılır ve burulma düzensizliği katsayısı  $\eta_{bi} \leq 2$  ise statik ;  $\eta_{bi} > 2$  ise dinamik analiz yapılarak yapı çözümlenir. (TDY,2007)

## 2.6 B3 Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarındaki Süreksizlik Düzensizliği

Deprem etkilerinin karşılanması, taşıyıcı sistemde, düzgün çerçeve sisteminin sağlanması, kolon ve perdelerden oluşan taşıyıcı elemanların bina yüksekliği boyunca sürekli devam etmesi, yapının davranışını önemli ölçüde etkiler. Bunlardaki süreksizlikler binada çerçeve oluşmasını önler. Depremi düşey bileşeninin yataydan daha küçük olması ve taşıyıcı sistemin boyutlandırılmasında düşey yüklerin etkili olması nedeniyle, depremin düşey bileşeni göz önüne alınmaz. Ancak düşey taşıyıcı elemanların süreksiz olması durumunda; depremin düşey bileşeni nedeniyle bu elemanlarda oluşan normal kuvvetler kirişlerde önemli eğilme etkileri meydana getirir. Ayrıca kolon ve perdelerdeki süreksizlikler mesnetlendikleri kirişlerde önemli yer değiştirmelere sebep olur. Bütün bu nedenlerle sistemde, düşey eleman süreksizliklerini oluşturmamak en uygun yoldur.



Şekil 2.7 B3 türü düzensizlik durumları.

Şekil 2.7’de örneklenen, B3 türü düzensizliğin bulunduğu binalara ilişkin koşullar aşağıda belirtilmiştir:

a. Bütün deprem bölgelerinde, kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

b. Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında artırılabacaktır .

c. Üst kattaki perdenin her iki ucundan altta kolonlara oturtulması durumunda, bu kolonlarda düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 artırılabacaktır. Bu tür düzensizliğin bulunduğu betonarme binalarda ayrıca kolon sarılma bölgesine konulan enine donatı, kolon orta bölgesinde de aynen devam ettirilecektir. Ayrıca bu durumda enine donatı, perde içine kenetlenme boyu kadar uzatılan kolon donatıları boyunca devam ettirilecektir].

d. Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez [4].

## BÖLÜM ÜÇ

### BETONARME YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

#### 3.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Hesabı

Bazı özel durumların dışında, yapı sistemleri işletme yükleri altında genellikle doğrusal davranış gösterirler. Bu genellemenin dışında kalan sistemler arasında narin yapılar, elastik zemine oturan sistemler ile bölgesel zayıflıklar ve stabilite yetersizlikleri içeren yapılar sayılabilir.

Doğrusal sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları doğrusal-elastik olarak alınmakta ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır.

Buna karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve yerdeğiştirmeler çok küçük kabul edilemeyecek değerler almaktadır.

Günümüzde yapı mühendisliğinde genellikle uygulanmakta olan ve doğrusal teoriye göre sistem analizine dayanan tasarım yaklaşımlarında (güvenlik gerilmeleri esasına göre tasarım ve taşıma gücü yöntemine göre tasarım), yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışı çeşitli şekillerde göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin, ikinci mertbe etkilerini hesaba katmak ve burkulmaya karşı güvenlik sağlamak amacıyla, moment büyütme yönteminden ve burkulma katsayılarından yararlanılmakta, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle iç kuvvet dağılımının değişmesi *yeniden dağılım ilkesi* yardımı ile göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan, deprem etkilerine göre hesapta malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını hesaba katmak üzere, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir *deprem yükü azaltma katsayısı* ile bölünerek küçültülmektedir.



Yapı malzemelerinin doğrusal-elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitesini göz önüne almak, çok küçük olmayan yerdeğişirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğu hallerde geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışlarını daha yakından izlemek ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve ekonomik çözümler elde etmek mümkün olabilmektedir.

Doğrusal olmayan sistem davranışını esas alan hesap yöntemlerinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında genel olarak iki durum ile karşılaşmaktadır. Bunlardan birincisi, yapı sisteminin doğrusal olmamasına neden olan etkenlerin belirlenerek sistem davranışını gerçeğe yakın bir biçimde temsil eden hesap modelinin oluşturulması, diğeri ise bu hesap modelinin analizi sonucunda elde edilen doğrusal olmayan denklemlerin etkin bir şekilde çözülmesidir (Özer, 2006).

### **3.2 Çözümün Sağlanması İçin Gerekli Koşullar**

Bir yapı sisteminin dış etkiler altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, şekildeğişirmeler ve yerdeğişirmelerin çözüm olabilmeleri için aşağıdaki üç koşulu sağlamaları gerekmektedir.

- 1) Bünye denklemleri: Malzemenin cinsine ve özelliklerine bağlı olan gerilme-şekil değiştirme bağıntılarına bünye denklemleri denilmektedir.
- 2) Denge koşulları: Sistemi oluşturan elemanların ve bu elemanların birleştiği düğüm noktalarının denge denklemlerinden oluşmaktadır.
- 3) Geometrik uygunluk koşulları: Elemanların ve düğüm noktalarının süreklilik denklemleri ile mesnetlerdeki geometrik koşullardır.

### 3.3 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri

Bir yapı sisteminin dış yükler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır:

- 1) Malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle, gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması.
- 2) Geometri değişimleri nedeniyle, denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometri süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan etkenler ve bu etkenleri göz önüne alan teoriler Tablo 3.1’ de topluca gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri

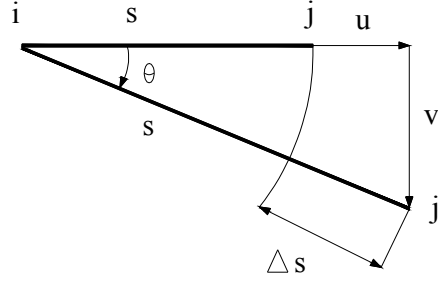
Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımından	Geometri Değişimleri Bakımından		Her İki Bakımdan	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntıları)	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik Değil	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik Değil	Doğrusal-elastik Değil
Denge Denklemlerinde Yerdeğiştirmeler	küçük	Küçük	küçük Değil	küçük Değil	küçük Değil	küçük Değil
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yerdeğiştirmeler	küçük	Küçük	küçük	küçük Değil	küçük	küçük Değil

Bir ucunun diğer ucuna göre bağlı yerdeğiştirmeleri  $u$  ve  $v$  olan bir  $ij$  çubuğunun  $\Delta s$  boy değişmesi,

$$(u + s)^2 + v^2 = (s + \Delta s)^2 \quad (3.1)$$

$$\Delta s \cong s \left[ \frac{u}{s} + \frac{1}{2} \left( \frac{u}{s} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{v}{s} \right)^2 \right] \quad (3.2)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Şekil 3.1, Denklem (3.2) ifadesinde sadece birinci terimin esas alınması geometrik uygunluk koşullarında yerdeğişirmelerin küçük olduğu varsayımını ifade etmektedir. Buna karşılık, diğer terimlerin de hesaba katılması geometri değişimlerinin geometrik uygunluk koşullarına etkisi göz önüne alındığını *sonlu deplasman teorisine* karşı gelmektedir.



Şekil 3.1 (ij) Çubuk elemanın bağlı yerdeğişirmeleri

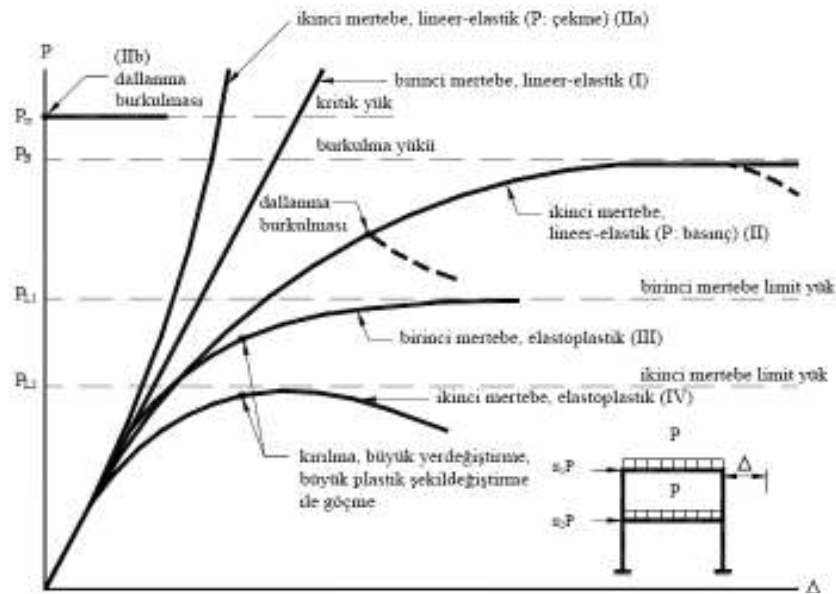
Bazı yapı sistemlerinde, sistemin özelliklerinden kaynaklanan nedenlerle, geometrik uygunluk koşulları sağlanmayabilir. Bu durumda, sistemde geometrik süreksizlikler meydana gelir. Özellikle sistemi oluşturan elemanların sınır koşullarındaki bu süreksizlikler nedeniyle, sistemin davranışı doğrusal olmaz. Bu tür sistemlere, *geometrik süreksizlikler bakımından doğrusal olmayan sistemler* denir ve bu sistemler malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler gibi incelenebilir. Kayıcı bulonlu düğüm noktaları içeren çelik yapı sistemleri, geometrik süreksizlikler bakımından doğrusal olmayan sistemlere örnek oluşturmaktadır (Özer, 2006).

### 3.4 Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altında Doğrusal Olmayan Davranışı

Düşey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme ( $P-\Delta$ ) bağıntıları Şekil 3.2' de şematik olarak gösterilmişlerdir.

Malzemenin sınırsız olarak doğrusal-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin, artan dış yükler altında, birinci mertebe teorisine göre elde edilen davranışı şekildeki (I) doğrusu ile temsil edilmektedir. Geometri değişimlerinin denge

denklemlerine etkisinin, diğer bir deyişle, aksel kuvvetlerden oluşan ikinci derece etkilerinin hesaba katıldığı ikinci derece teorisinde ise, aksel kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre farklı sistem davranışları ile karşılaşılabilir. Örneğin aksel kuvvetin basınç olması halinde, (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklere daha hızla artan yer değiştirmeler karşı gelmektedir. Dış yüklerin şiddetini ifade eden yük parametresi artarak *lineer-elastik burkulma yükü* adı verilen bir  $P_B$  değerine eşit olunca yerdeğıştirmeler artarak sonsuza erişir ve sistem burkularak göçer. Bazı özel durumlarda, burkulmadan sonra, artan yerdeğıştirmelere azalan yük parametresi karşı gelebilir. Örneğin asma sistemler gibi aksel kuvvetin çekme olduğu durumlarda ise, şekilde (IIa) ile gösterilen  $P-\Delta$  diyagramı pekleşen özellik gösterir. Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekil değıştirmeyen sistemlerde, yük parametresinin bir  $P_{cr}$  değerinde dallanma burkulması oluşur ve şekildeki (IIb) diyagramından görüldüğü gibi, yerdeğıştirmeler birden artarak sonsuza erişir. Dallanma burkulmasına neden olan yüke *kritik yük* denilmektedir. Kritik yük genellikle burkulma yükünden biraz büyük veya ona eşittir. Dallanma burkulması, bazı hallerde burkulmadan önce şekil değıştiren sistemlerde de oluşabilir (II eğrisi).



Şekil 3.2 Çeşitli teorilere göre elde edilen yük parametresi yerdeğıştirme bağıntıları

### 3.4.1 Plastik Mafsalsal Hipotezi

Doğrusal olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında doğrusal olmayan (plastik) şekildeğıştirmeler meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan şekildeğıştirmeler, genel olarak sistem üzerinde sürekli olarak yayılmaktadır. Buna karşılık, kopma sırasındaki toplam şekildeğıştirmelerin doğrusal şekildeğıştirmelere oranının büyük olduğu sünek malzemeden yapılmış sistemlerde, doğrusal olmayan şekildeğıştirmelerin *plastik mafsal* (veya genel anlamda *plastik kesit*) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabılır. Bu varsayım *plastik mafsal hipotezi* olarak isimlendirilmektedir. Plastik mafsal hipotezinin esas alındığı bir yapı sisteminin birinci mertebeye teorisine göre hesabında (Şekil 3.2, III eğrisi), oluşan plastik mafsallar nedeniyle sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi taşıma gücünün sona erdiğini ifade eder. Bu yük *birinci mertebeye limit yük* adını alır.

Doğrusallığı bozan her iki etkinin birlikte göz önüne alınması halinde, yani yapı sisteminin ikinci mertebeye elastoplastik teoriye göre hesabı ile elde edilen P-Δ diyagramı Şekil 3.2' de (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu diyagram ilk kritik kesitte doğrusal-elastik sınırın aşılmasına kadar (II) eğrisini izlemekte, daha sonra oluşan plastik şekildeğıştirmeler nedeniyle yerdeğıştirmeler daha hızlı olarak artmaktadır. Plastik mafsal hipotezinin esas alındığı yapı sistemlerinde, dış yükler artarak bir  $P_{L2}$  sınır değerine eşit olunca, meydana gelen plastik mafsallar nedeniyle rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer, diğer bir deyişle, P-Δ diyagramında artan yerdeğıştirmelere azalan yükler karşı gelir. Sistemin stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirmesine sebep olan bu yük parametresine *ikinci mertebeye limit yük* denilmektedir (Özer, 2006).

Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yerdeğıştirmeler, büyük plastik şekildeğıştirmeler ile betonarme sistemlerde oluşan çatlaklar ve kırılma yapının göçmesine neden olabilmektedir.

### 3.4.2 Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi

Deprem yükü etkisi altında yapılan hesapların temel amacı, insanların can güvenliğinin sağlanmasıdır. İkinci planda ise, depremde bina içinde korunan eşya hasarlarının minimum olmasını temin etmek gelir. Sonuç olarak, amaç yapının tamamıyla göçmesinin veya yapının ekonomik olarak tamir edilemez bir düzeyde hasara uğramasının engellenmesidir. Mevcut şartnamelere göre binalar, ömürleri boyunca en az bir defa tasarım depremi geçirecek şekilde projelendirilirler. Mevcut doğrusal hesap yöntemleri, yapının depremden sonraki durumu hakkında net bir fikir vermemektedir. Ayrıca, aynı binanın defalarca deprem etkisine maruz kalması sonucunda nasıl bir davranış biçimi sergileyeceği konusu da tam bir belirsizlik arz eder. Bu durumda doğrusal hesap yöntemlerinin yapının deprem hesabında yetersiz kaldığı sonucuna varılabilir. Bu aşamada devreye daha gerçekçi bir çözüm yöntemi olan ve yapının elastik ötesi davranışlarını da göz önünde bulunduran doğrusal olmayan hesap yöntemleri girer.

Yapılar için, sabit düşey yükler altında yatay yüklerin orantılı olarak artırılmasıyla yapılan doğrusal olmayan analize, “Statik İtme Analizi” denir. Bu analiz, binanın deprem esnasındaki davranışını daha gerçekçi olarak temsil ettiği için, hesaplamaların daha doğru bir şekilde yapılmasına imkân tanımaktadır.

Statik itme analizinde, binanın bütün elemanlarının şekil değiştirme davranışları tanımlanır. Bu analizde, malzemenin elastik sınırları dışında kalan plastik kapasitesinden de yararlanılmaktadır. Statik itme analizinde, oluşturulan modeller küçük adımlarla ötelenmeye maruz bırakılır. Her adımda, yapıyı oluşturan model elemanlardan biri veya birkaçının davranış şekillerindeki değişim gözlenir. Bu değişimler, elemanın nihai taşıma kapasitesine ulaşmasıyla son bulur. Bu şekilde yapı, belirlenen yanal öteleme sınırına erişinceye kadar ya da yapıyı teşkil eden elemanların daha önceden tanımlanan göçme şekil değiştirmelerine ulaşınca kadar analiz devam ettirilir. Sonuçta, gelinen şekil değiştirme seviyesi itibariyle binada deprem sonrası oluşacak hasar seviyesi belirlenmektedir.

## **BÖLÜM DÖRT**

### **DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ARTIMSAL İTME ANALİZİ**

#### **YÖNTEMLERİ**

Yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan ve doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi ile kapasite eğrisi belirlenen yapı sistemlerinin performanslarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmakta olan yöntemler Deplasman Katsayıları Yöntemi ve Kapasite Spektrumu Yöntemi' dir. Her iki yöntemde de, yapı sisteminin davranışında birinci mod etkileri esas alınmaktadır.

Bölüm 4.1' de, FEMA 356 ve 440' da açıklanmış olan Deplasman Katsayıları Yöntemi ve Bölüm 4.2' de, ATC 40' da açıklanmış olan Kapasite Spektrumu Yöntemi hakkında bilgiler verilmiştir.

#### **4.1 Deplasman Katsayıları Yöntemi**

FEMA 356 ve 440' da açıklanmış olan Deplasman Katsayısı Yöntemi, kapasite ve istemin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde, yerdeğiştirme sayısal bir şekilde belirlenmektedir. Bu yöntemde önce  $V_T$  taban kesme kuvveti ile  $\delta_{maks}$  tepe noktası yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal periyoduna ve etkin olan modlara bağlı olarak uygun bir yatay yük dağılımı seçilir. Sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında, doğrusal olmayan teoriye göre hesap yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Daha sonra bu eğri, birincisinin eğimi elastik rijitliği ( $K_e$ ), ikincisinin eğimi ise elastoplastik rijitliği ( $K_s$ ) temsil eden iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilir. İdealleştirme yapılırken, gerçek ve idealleştirilmiş kapasite diyagramlarının altında kalan alanların eşit olması ve  $K_e$  eğimli doğrunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının,  $K_e$  ve  $K_s$  eğimli doğruların kesiştiği noktanın ordinatının 0,60 katı olması koşulları esas alınır. Ancak iki doğrunun kesim noktası başlangıçta bilinmediğinden, bir deneme-yanılma yöntemi uygulanması gerekir (Şekil 4.1).





Yapı sisteminin etkin periyot değeri ( $T_e$ ) belirlendikten sonra, yapının performans seviyesinin kontrolünün yapılacağı hedef deplasman ( $\delta_T$ ) aşağıdaki hesaplanmaktadır (FEMA 440).

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (4.2)$$

Denklem (4.2)' deki katsayılar aşağıda açıklanmaktadır.

$C_0$ : Çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi oluşturan modal katılım katsayısıdır.  $C_0$  katsayısı farklı şekilde hesaplanabilmektedir.

Deplasman kontrolünün yapıldığı noktaya ait birinci modal katılım çarpanı olarak alınabilir.

Deplasman kontrolünün yapıldığı noktada, hedef deplasmanına ulaşmış yapının deforme olmuş şekline ait şekil vektörü kullanılarak hesaplanan modal katılım çarpanı olarak alınabilir.

Yapının taşıyıcı sistem özelliğine, kullanılan yatay yük dağılımına ve yapının kat adedine bağlı olarak Tablo 4.1' den belirlenebilir.

Tablo 4.1 C<sub>0</sub> modal katılım katsayısı değerleri

Kat Adedi	Kesme Tipi Yapılar		Diğer Yapılar
	Üçgen Yük Dağılımı	Üniform Yük Dağılımı	Herhangi Bir Yük Dağılımı
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
+10	1.3	1.2	1.5

Tablo 4.1’ de kesme tipi olarak adlandırılan yapılar, tüm katlarında, yüksekliğin artmasıyla birlikte katlar arası ötelenme miktarlarının azaldığı yapılar olarak tanımlanmaktadır. Tabloda bulunmayan kat adedine ait C<sub>0</sub> katsayısının belirlenmesinde enterpolasyon yapılması önerilmektedir.

C<sub>1</sub>: Doğrusal elastik yerdeğiştirmeyi, beklenen maksimum doğrusal olmayan yerdeğiştirmeye dönüştüren katsayıdır ve aşağıdaki gibi belirlenebilmektedir:

$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{aT_e^2} \quad (4.3)$$

Yukarıda denklemde T<sub>e</sub>, yapının etkin periyodunu göstermektedir. a katsayısı, FEMA 356’ da tanımlanan B, C ve D zemin sınıfları için sırasıyla 130, 90 ve 60 olarak alınmaktadır. R değeri ise, elastik olmayan dayanım talebinin akma dayanımına oranı olarak tanımlanmaktadır ve aşağıdaki denklemle elde edilmektedir (FEMA 440).

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} C_m \quad (4.4)$$

Denklemler (4.4)'de,  $S_a$  yapının birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral ivme,  $V_y$  iki doğru parçası ile idealleştirilmiş kapasite eğrisinin akma dayanımı,  $C_m$  ise efektif kütle çarpanı olarak tanımlanmaktadır.

$C_m$  çarpanı, yapının taşıyıcı sistemi ve kat adedine bağlı olarak Tablo 4.2' den belirlenebilir. Birinci doğal titreşim periyodu 1,00 saniyeden büyük yapılarda  $C_m=1,00$  olarak alınabilir.

Tablo 4.2  $C_m$  efektif kütle çarpanı değerleri

Kat Sayısı	B.arme Çerçeve	B.arme Perde	B.arme Destek-Payanda	Çelik Çerçeve ve	Eş Merkezli Çaprazlı Çelik Çerçeve	Dış Merkezli Çaprazlı Çelik Çerçeve	Diğer
1-2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$\geq 3$	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

Birinci doğal titreşim periyodu bir saniyeden büyük yapılarda  $C_1=1,00$  olarak alınabilir.

$C_2$ : Histerisiz enerji şeklinin etkisini hesaba katan düzeltme katsayısıdır ve Denklem (5.5) ile belirlenmektedir.

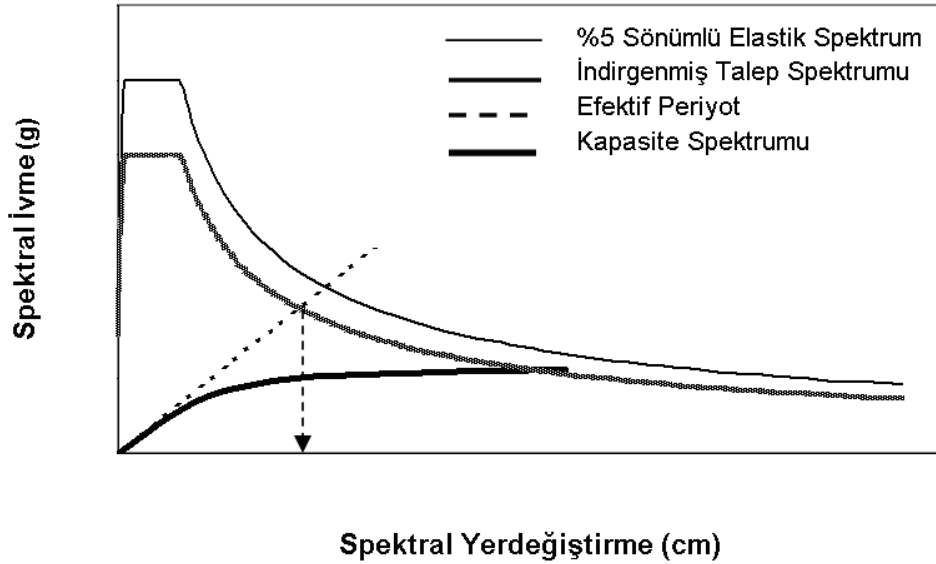
$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{R-1}{T} \right)^2 \quad (4.5)$$

Birinci doğal titreşim periyodu 0,7 saniyeden büyük yapılarda  $C_2=1,00$  olarak alınabilir.

Öngörülen deprem etkisi altındaki hedef yerdeğiştirme bulunduğundan sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bunun için, sisteme ait büyüklükler kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılmaktadır.

#### 4.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi

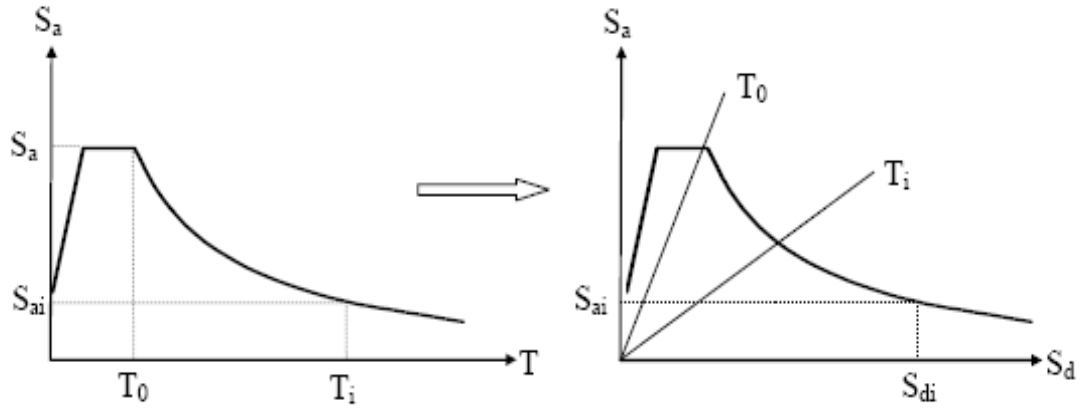
Artan deprem yükleri altındaki bir yapıda doğrusal olmayan şekildeğştirmeler meydana gelir. Bu şekildeğştirmeler yapının sönümünü artırır ve dolayısıyla deprem talebini azaltır. Kapasite spektrumu yönteminde, yapıda meydana gelen doğrusal olmayan şekildeğştirmelere bağlı olarak, elastik talep spektrumu indirgenerek kapasite ve talebin eşit olduğu nokta belirlenir. Performans noktası adı verilen bu noktada, yapıdan istenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir (Şekil 4.2). Bu yöntemde üç temel büyüklüğün belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar kapasite, yerdeğiştirme talebi ve performans noktasıdır.



Şekil 4.2 Kapasite spektrumu yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi

Kapasite Spektrumu Yöntemi' nde ilk aşama dikkate alınan deprem hareketini temsil etmek üzere, talep spektrumunun tanımlanmasıdır. Talep spektrumunun tanımlanmasında, %5 sönümlü elastik davranış spektrumundan yararlanılmaktadır. %5 sönümlü elastik davranış spektrumu, daha sonra kapasite spektrumu ile karşılaştırılabilmek amacıyla, Spektral İvme-Periyot ( $S_a-T$ ) formatından, Denklem (4.6) ile spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formatına ( $S_a-S_d$ ) dönüştürülmektedir (Şekil 4.3).

$$S_{di} = S_{ai} \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (4.6)$$



Şekil 4.3 Talep spektrumunun spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formatına dönüştürülmesi

Bu yöntemde diğer bir aşama ise, yapıya ait kapasite eğrisinin elde edilmesidir. Yapının yatay yük taşıma kapasitesini gösteren kapasite eğrisinin elde edilebilmesi için, yapı sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalarak artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre hesaplanarak limit duruma ulaşmaya kadar izlenmektedir. Her yük değeri için, toplam kesme kuvveti ( $V_T$ ) ve buna karşılık gelen tepe noktası yerdeğiştirmesi ( $\delta_{maks}$ ) arasındaki ilişkinin belirlenmesi ile yapının kapasite eğrisi elde edilmektedir.

Kapasite Spektrumu Yöntemi ile yapının performans noktası belirlenirken, doğrusal olmayan statik artımsal analizi sonucu elde edilen kapasite eğrisi, talep spektrumu ile karşılaştırılmak üzere spektral formata dönüştürülmektedir. Fakat talep spektrumu tek serbestlik dereceli sisteme ait olduğundan, çok serbestlik dereceli

sisteme ait kapasite eğrisinin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir.

Bu dönüştürme işlemi için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır.

$$S_a = \frac{V_T / W}{\alpha_1} \quad (4.7)$$

$$S_d = \frac{\delta_{maks}}{PF_1 \phi_{tepe,1}} \quad (4.8)$$

Yukarıdaki denklemlerde kullanılan  $\alpha_1$  ve  $PF_1$  terimleri ise aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır.

$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i,1} / g) \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^N (w_i / g) \right] \left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i,1}^2 / g) \right]} \quad (4.9)$$

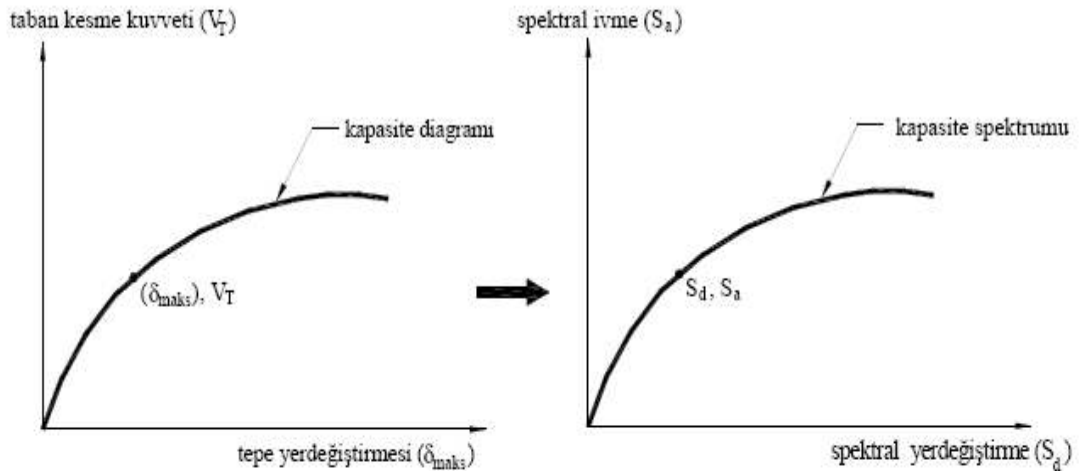
$$PF_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N w_i \phi_{i,1} / g \right]}{\left[ \sum_{i=1}^N w_i \phi_{i,1}^2 / g \right]} \quad (4.10)$$

Denklemlerde kullanılan terimler aşağıda açıklanmaktadır:

- $S_a$  : Spektral ivme
- $S_d$  : Spektral yerdeğiştirme
- $V_T$  : Toplam taban kesme kuvveti
- $W$  : Yapının toplam ağırlığı
- $\alpha_1$  : Birinci moda ait modal kütle katsayısı
- $\delta_{maks}$  : Yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi
- $PF_1$  : Birinci moda ait modal katılım çarpanı
- $\phi_{tepe,1}$  : Birinci normal moda ait yapının en üst katındaki genlik

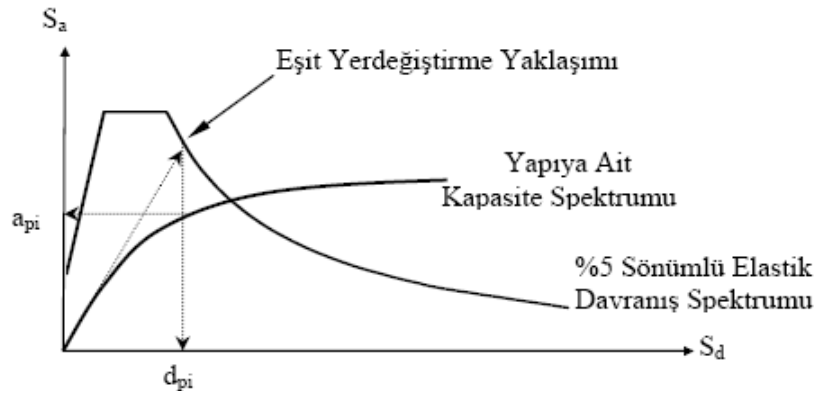
- $\phi_{i,1}$  : Birinci moda ait (i) nolu kattaki genlik  
 N : Yapının toplam kat adedi  
 $w_i$  : (i) nolu katın ağırlığı  
 g : Yerçekim ivmesi  
 $w_i/g$  : (i) nolu katın kütlesi

Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesinde ilk adım, birinci moda ait modal katılım çarpanı (PF1) ve birinci moda ait modal kütle çarpanının ( $\alpha_1$ ) hesaplanmasıdır. Bu değerler bulunduktan sonra, kapasite eğrisinin üzerindeki her noktaya ait spektral ivme ( $S_a$ ) ve spektral yerdeğiştirme ( $S_d$ ) değerleri hesaplanarak yapıya ait kapasite spektrumu oluşturulmaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 4.4 Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

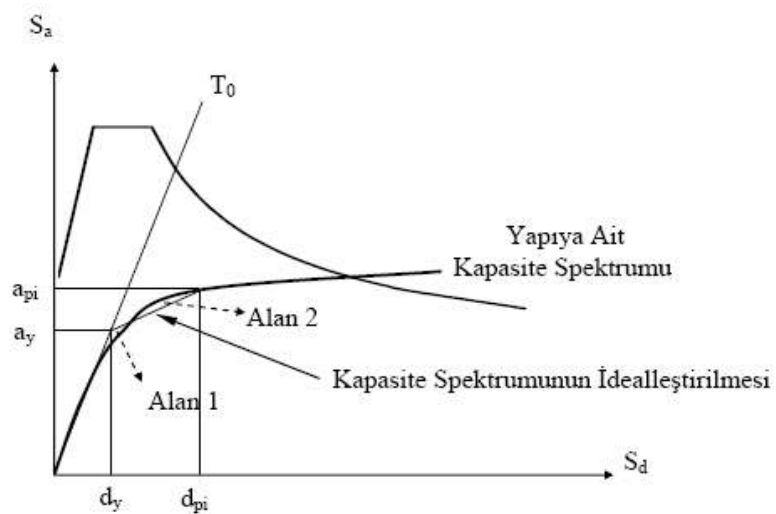
Kapasite spektrumunun elde edilmesinden sonra, spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formatına dönüştürülmüş olan talep spektrumu ile kapasite spektrumu aynı grafik üzerine çizilebilir. Bu adım gerçekleştirildikten sonra, eşit yerdeğiştirme yaklaşımından yararlanılarak tahmini bir performans noktası seçilmektedir. Seçilen performans noktasına ait spektral ivme-spektral yerdeğiştirme koordinat değerleri  $a_{pi}$  ve  $d_{pi}$  olarak Şekil 4.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Tahmini performans noktasının belirlenmesi

Diğer bir adım ise, kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesidir. İdealleştirme işlemi, spektral talebin uygun bir şekilde azaltılması ve efektif sönüm değerinin belirlenebilmesi için gereklidir.

Yapıya ait kapasite spektrumu üzerinde, eşit yerdeğiştirme yaklaşımından yararlanılarak tahmini olarak belirlenen performans noktası da dikkate alınarak, kapasite spektrumu iki doğru parçası ile idealleştirilebilir. İdealleştirme işlemi yapılırken, kapasite spektrumu eğrisinin altında kalan alan (Alan 2) ile iki doğru parçası ile idealleştirilmiş eğrinin altında kalan alanın (Alan 1) eşit olmasına dikkat edilmelidir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Kapasite spektrumunun idealleştirilme işlemi



Şekil 4.6' da gösterilen terimler aşağıda açıklanmıştır:

$a_y$  : İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite spektrumunda, akma noktasına karşılık gelen spektral ivme değeri

$d_y$  : İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite spektrumunda, akma noktasına karşılık gelen spektral yerdeğiştirme değeri

$a_{pi}$  : Tahmini performans noktasına ait spektral ivme değeri

$d_{pi}$  : Tahmini performans noktasına ait spektral yerdeğiştirme değeri

Sonraki adımda, Denklem (4.11) ve Denklem (4.12)' den yararlanarak elastik sonrası rijitlik ( $\alpha$ ) ve süneklik değerleri ( $\mu$ ) hesaplanmaktadır (FEMA 440, 2004).

$$\alpha = \frac{\left( \frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \right)}{\left( \frac{a_y}{d_y} \right)} \quad (4.11)$$

$$\mu = \frac{d_{pi}}{d_y} \quad (4.12)$$

Hesaplanan elastik sonrası rijitlik ( $\alpha$ ) ve süneklik ( $\mu$ ) değerlerinden yararlanılarak yapının efektif sönüm değeri ( $\beta_{eff}$ ) ve efektif periyodu ( $T_{eff}$ ) hesap edilir.

FEMA 440' da efektif viskoz sönüm değerleri, yapıların elastik ötesi davranışlarını temsil eden histeretik model tipine ve elastik sonrası rijitlik ( $\alpha$ ) değerine bağlı olarak verilmektedir. Yatay yerdeğiştirmelerin artmasıyla birlikte yatay rijitliklerin azaldığı betonarme yapılarda, histeretik model olarak azalan rijitlik modeli kullanılmaktadır. Buna göre, efektif sönüm değeri ( $\beta_{eff}$ ), süneklik oranının ( $\mu$ ) farklı değerleri için aşağıda verilen denklemler ile hesaplanmaktadır (FEMA 440, 2004).

$$1.0 < \mu < 4.0 \quad \text{için} \quad \beta_{eff} = A(\mu - 1)^2 + B(\mu - 1)^3 + \beta_0 \quad (4.13a)$$

$$4.0 \leq \mu \leq 6.5 \quad \text{için} \quad \beta_{eff} = C + D(\mu - 1) + \beta_0 \quad (4.13b)$$

$$\mu > 6.5 \quad \text{için} \quad \beta_{eff} = E \left[ \frac{F(\mu - 1) - 1}{F(\mu - 1)^2} \right] \left( \frac{T_{eff}}{T_0} \right)^2 + \beta_0 \quad (4.13c)$$

Yukarıdaki denklemlerde,  $\beta_0$  başlangıç sönüm oranı %5 olarak tanımlanmaktadır. Denklemlerdeki diğer katsayılar ise, Tablo 4.3' e bağlı olarak belirlenebilir.

Tablo 4.3 Efektif sönümün belirlenmesinde kullanılan katsayılar

Histeretik Model Tipi	$\alpha$ (%)	A	B	C	D	E	F
Azalan Rijitlik	0	5.1	-1.1	12	1.4	20	0.62
	2	5.3	-1.2	11	1.6	20	0.51
	5	5.6	-1.3	10	1.8	20	0.38
	10	5.3	-1.2	9.2	1.9	21	0.37
	20	4.6	-1.0	9.6	1.3	23	0.34

Efektif periyodu ( $T_{eff}$ ) değerinin hesaplanmasında kullanılan denklemler ise aşağıda verilmektedir (FEMA 440, 2004).

$$1.0 < \mu < 4.0 \quad \text{için} \quad T_{eff} = [G(\mu - 1)^2 + H(\mu - 1)^3 + 1]T_0 \quad (4.14a)$$

$$4.0 \leq \mu \leq 6.5 \quad \text{için} \quad T_{eff} = [I + J(\mu - 1) + 1]T_0 \quad (4.14b)$$

$$\mu > 6.5 \quad \text{için} \quad T_{eff} = \left\{ K \left[ \sqrt{\frac{(\mu - 1)}{1 + L(\mu - 2)}} - 1 \right] + 1 \right\} T_0 \quad (4.14c)$$

Efektif periyodun ( $T_{eff}$ ) bulunmasında kullanılan katsayılar Tablo 4.4' de verilmektedir.

Tablo 4.4 Efektif periyodun belirlenmesinde kullanılan katsayılar

Histeretik Model Tipi	$\alpha$ (%)	G	H	I	J	K	L
Azalan Rijitlik	0	0.17	-0.032	0.10	0.19	0.85	0.00
	2	0.18	-0.034	0.22	0.16	0.88	0.02
	5	0.18	-0.037	0.15	0.16	0.92	0.05
	10	0.17	-0.034	0.26	0.12	0.97	0.10
	20	0.13	-0.027	0.11	0.11	1.00	0.20

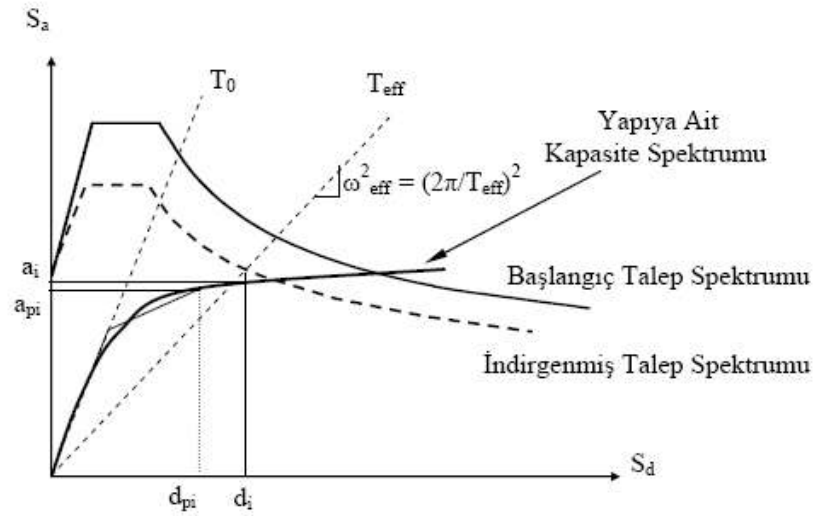
Hesaplanan efektif sönüme ( $\beta_{eff}$ ) bağlı olarak %5 sönümlü elastik davranış spektrumunu indirgemek için kullanılan sönüm katsayısı  $B(\beta_{eff})$ , Denklem (5.15)' e bağlı olarak belirlenmektedir.

$$B = \frac{4}{5.6 - \ln \beta_{eff} (\%)} \quad (4.15)$$

Sönüm katsayısı  $B(\beta_{eff})$  kullanılarak, spektral ivme değerleri Denklem (5.16) ile indirgenmektedir (FEMA 440, 2004).

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_{\%5}}{B(\beta_{eff})} \quad (4.16)$$

İndirgenmiş spektral ivme değerleri kullanılarak, davranış spektrumu indirgenebilir. İndirgenen davranış spektrumu ile efektif periyodun ( $T_{eff}$ ) kesiştiği noktanın spektral yerdeğiştirme değeri ( $d_i$ ) okunur. ( $d_i$ ), maksimum yerdeğiştirme değeridir. Maksimum spektral ivme değeri ( $a_i$ ) değeri ise, kapasite spektrumu üzerinde ( $d_i$ ) spektral yerdeğiştirme değerine karşılık gelen ( $a_i$ ) değeridir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Performans noktasının belirlenmesi

Belirlenen bu spektral yerdeğiştirme değeri ( $d_i$ ), başlangıçta tahmin edilen spektral yerdeğiştirme değerine kabul edilebilir derecede yakın ise ( $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05 d_{pi}$ ) performans noktasının koordinatları ( $d_i, a_i$ ) olarak belirlenir. Aksi takdirde, ( $d_i, a_i$ ) noktası veya tahmini olarak seçilecek başka bir nokta performans noktası olarak kabul edilip aynı işlemler tekrarlanır.

Bulunan bu spektral değerler, Denklem (4.17) ve (4.18) kullanılarak, toplam taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) ve maksimum tepe noktası yerdeğiştirmesi değerine ( $\delta_{maks}$ ) dönüştürülür.

$$V_T = \alpha_1 S_a W \quad (4.17)$$

$$\delta_{maks} = PF_1 \phi_{tepe,1} S_d \quad (4.18)$$

## **BÖLÜM BEŞ**

### **YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Deprem bölgelerinde bulunan mevcut binaların ve bina türündeki yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar verilen binaların güçlendirme tasarımı ilkeleri 2007 Türk Deprem Yönetmeliği Bölüm 7' de verilmiştir. 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde Bölüm 7.1 aşağıda verilmiştir.

#### **5.1 Binalardan Bilgi Toplanması**

Mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, taşıyıcı sistem geometrisine, elemanların enkesit özelliklerine, malzeme karakteristiklerine ve zemin özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden, ilgili raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümler ile binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilebilir.

Binalardan toplanan bilginin kapsam güvenilirliğine bağlı olarak yönetmelikte üç farklı bilgi düzeyi tanımlanmış ve bilgi düzeyleri için eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları verilmiştir.

- a) Sınırlı bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.
- b) Orta bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Eğer mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri doğrulanır.

- c) Kapsamlı bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla yeterli düzeyde ölçümler yapılır.

Tablo 5.1 Binalar için bilgi düzey katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0,75
Orta	0,90
Kapsamlı	1,00

## 5.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgelerinin 2007 Deprem Yönetmeliğine Göre Tanımı

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılabilmektedir. Doğrusal elastik değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan ve dayanım (kuvvet) bazlı değerlendirme adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve doğrusal teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanının sünekliğini göz önüne alan, eleman bazındaki bir tür deprem yükü azaltma katsayıları çerçevesinde, binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme bazlı değerlendirmenin esas alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Her iki yaklaşımda da, yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri tanımlanmıştır.

### **5.2.1 Yapı Elemanlarının Kırılma Türleri**

Hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları “sünek” ve “gevrek” olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türü ile ulaştıkları ile ilgilidir.

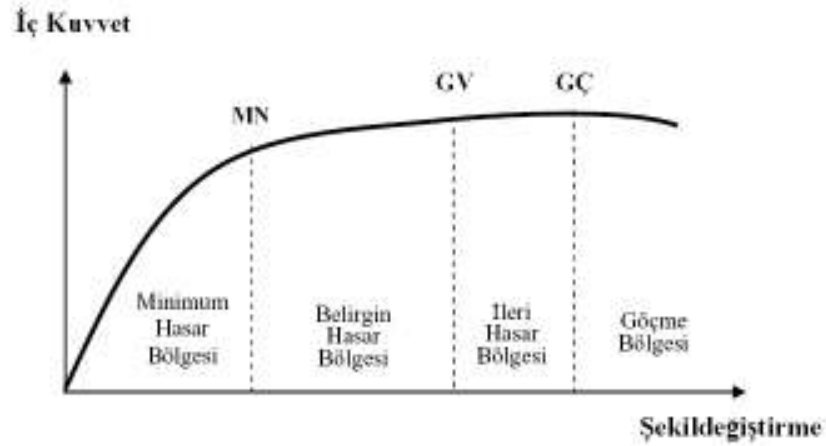
### **5.2.2 Kesit Hasar Sınırları**

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvenlik Sınırı* (GV) ve *Göçme Sınırı* (GÇ)’dir. Minimum hasar sınırı kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışın oluşmasına izin verilmez.

### **5.2.3 Kesit Hasar Bölgeleri**

Kritik kesitleri MN’ ye ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi’nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi’nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi’nde, GÇ’ yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi’nde kabul edilecektir.

Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri Şekil 5.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

### 5.3 Bina Deprem Performans Seviyeleri

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarın durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır. Deprem geçirmiş binaların deprem sonrası hasar durumlarının belirlenebilmesi için benzer tanımlar kullanılabilir.

#### 5.3.1 Hemen Kullanım Durumu (HK)

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u belirgin hasar bölgesine geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü minimum hasar bölgesindedir. Bu durumda bina Hemen Kullanım Durumu'nda kabul edilir. Güçlendirilmesine gerek yoktur.

#### 5.3.2 Can Güvenliği Durumu (CG)

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir. Ancak ileri hasar bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Bu durumda bina Can Güvenliği Durumu'nda kabul edilir. Can güvenliği durumunun kabul



edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve yapı içindeki dağılımına göre karar verilir.

### **5.3.3 Göçmenin Önlenmesi Durumu (GÖ)**

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı göçme bölgesine geçebilir. Ancak göçme bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır ve bu elemanların durumu yapının kararlılığını bozmamalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Bu durumda bina Göçmenin Önlenmesi Durumu'nda kabul edilir. Göçmenin önlenmesi durumunun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kat kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta göçme bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve güçlendirilmelidir. Ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.

### **5.3.4 Göçme Durumu**

Bina, Göçmenin Önlenmesi Durumu'nu sağlayamıyorsa, Göçme Durumu'ndadır. Binada güçlendirme uygulanmalıdır, ancak güçlendirilmesi ekonomik olarak verimli olmayabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

### 5.3.5 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir katındaki göreli kat ötelemesi her performans düzeyi için Tablo 4.2' yi sağlayacaktır.

Tablo 4.2 Göreli kat ötelemesi sınırları

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Performans Düzeyi		
	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
$(\delta_i)_{max}/h_i$	0.008	0.02	0.03

$(\delta_i)_{max}$ , ilgili kattaki düşey elemanların uçları arasında hesaplanan en büyük göreli kat ötelemesini,  $h_i$  ise kat yüksekliğini göstermektedir.

### 5.4 Binalar İçin Hedeflenen Deprem Performans Düzeyleri

Deprem yönetmeliğimizde tanımlanan ivme spektrumu, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisini esas almaktadır. 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumu, yönetmelikte tanımlanan spektrumun yaklaşık olarak yarısı, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumu ise yönetmelikte tanımlanan spektrumun yaklaşık 1,5 katı olarak kabul edilmiştir. Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde esas alınacak deprem etkileri ve hedeflenecek performans düzeyleri Tablo 5.3' de verilmektedir.

Tablo 5.3 Binalar için farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans düzeyleri

Binanın Kullanım Amacı Ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	HK	-	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	-	CG	GÖ
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

### 5.5 TDY 2007' da Yer Alan Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesi İçin Kullanılan Hesap Yöntemleri

TDY 2007' de, binaların deprem performanslarının belirlenmesi için hesap yöntemleri, aşağıda verilmiştir:

- 1) Doğrusal Hesap Yöntemleri
  - a) Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
  - b) Mod Birleştirme Yöntemi
- 2) Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri
  - a) Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
  - b) Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi
  - c) Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

### ***5.5.1 TDY 2007' da Yer Alan Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri***

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirilmesi yapılacaktır. Bu Yönetmelik kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir.

#### ***5.5.1.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi***

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin amacı, birinci (deprem doğrultusunda hâkim olan) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında, doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında, taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanacaktır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1,4$  koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hâkim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0,70 olması zorunludur.

### 5.5.1.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yerdeğiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak Mod Birleştirme Yöntemi'nin artımsal olarak uygulanmasıdır.

### 5.5.1.3 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak, sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

## 5.6 Yapıların Deprem Performanslarının Doğrusal Olmayan Statik Artımsal İtme Analizi Yöntemleri İle Belirlenmesi

Performansa bağlı deprem mühendisliğinde beklenen fayda, sismik performansları belirlenebilen güvenli yapıların inşa edilmesini sağlamaktır. Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavramdır. Öncelikle mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin hesaplanması ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesi için geliştirilmiştir. Ancak, daha sonra bir grup bilim adamı bu yöntemin, yeni yapıların tasarımında da kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Gerçekte bütün mühendislik boyutlandırmalarının performansa dayalı olduğu söylenebilir. Bilindiği gibi, betonarme taşıyıcı sistem boyutlandırmasında iki performans seviyesi esas alınır. Bunlar, kullanma sınır durumu ve taşıma gücü sınır durumudur. Birinci performans seviyesinde kullanma durumundaki yükler altında

taşıyıcı sistemin hasarının, kullanıcıları rahatsız etmeyecek seviyede kalması ve aşırı yerdeğiştirmelerin meydana gelmemesi istenir. İkinci performans seviyesinde de, taşıyıcı sistemin beklenen yüklerin arttırılmış değerleri altında güç tükenmesine gelmeden kabul edilebilir bir güvenliğin mevcut olması beklenir.

Deprem mühendisliğinde, performansa dayalı tasarım yöntemi, deprem etkisi altında, yapıdan beklenen performans seviyesinin belirlenmesi için kullanılır. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür. Performansa dayalı tasarımda belirli bir deprem etkisinde yapıda birden fazla performans (hasar) seviyesinin ortaya çıkması öngörülür.

Kuvvetli yer hareketine maruz kalan bir yapının deprem performansının değerlendirilmesinde ve deprem isteminin (talep) belirlenmesinde en etkili yol, doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemidir. Ancak, bu yöntemin güvenilir olabilmesi için bazı parametrelerin çok açık olarak tanımlanması gerekmektedir. Örneğin, bu yöntemde taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki davranışını tanımlayan iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarının belirlenmesi ve deprem hesabında kullanılacak ivme kayıtlarının seçilmesi gibi sorunları vardır. Bu nedenlerden dolayı, daha basit ve güvenilir analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulmuştur.

Artımsal statik itme (pushover) analizi olarak bilinen doğrusal elastik olmayan statik yöntemin amacı, yapının dayanım ve deformasyon (şekildeğiştirme) kapasitelerini belirleyerek ilgili performans düzeylerindeki deprem istemleri ile karşılaştırmak suretiyle, yapının performansını değerlendirmektir. Genel olarak birinci mod etkilerinin hâkim olduğu düzgün yapılarda, bu yöntem uygulanmaktadır.

### ***5.6.1 Performans Hedefi***

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans, performans hedefi olarak tanımlanır. Yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının performans seviyeleri ile tanımlanmaktadır. Bir yapı için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans seviyeleri öngörülebilir. Buna çok seviyeli performans hedefi denir.

### ***5.6.2 Performans Seviyeleri***

Performans seviyeleri, verilen bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturmamasına, deprem sonrasında binanın kullanıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir.

Yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Dolayısıyla her yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin bir kombinezonu olarak belirlenir.

#### ***5.6.2.1 Taşıyıcı Elemanlar İçin Performans Seviyeleri***

Bir yapının yapısal performans seviyesi, dört ayrı yapısal performans seviyesinden ve iki yapısal performans aralığından oluşmaktadır.

ATC 40 ve FEMA 356' da, taşıyıcı elemanlar için tanımlanan performans seviyeleri ve performans aralıkları Tablo 5.7' de gösterilmiştir.

Tablo 5.7 Taşıyıcı elemanların performans seviyeleri

<b>Performans Seviyesi</b>	<b>Performans Aralığı</b>	<b>Kod</b>
<b>Hemen Kullanım</b>		<b>S-1</b>
	<b>Hasar Kontrol</b>	<b>S-2</b>
<b>Can Güvenliği</b>		<b>S-3</b>
	<b>Sınırlı Güvenlik</b>	<b>S-4</b>
<b>Göçmenin Önlenmesi</b>		<b>S-5</b>

Tabloda kodları ile belirtilen taşıyıcı elemanların performans seviyeleri ve aralıkları aşağıda ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

**Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S-1):** Taşıyıcı sistem hasarı çok azdır. Mevcut yapının deprem öncesindeki dayanım, rijitlik ve sünekliği deprem sonrasında da aynen korunmaktadır.

**Hasar Kontrol Performans Aralığı (S-2):** Deprem sonrasında yapıda oluşan hasarın, hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında bulunduğu performans aralığıdır.

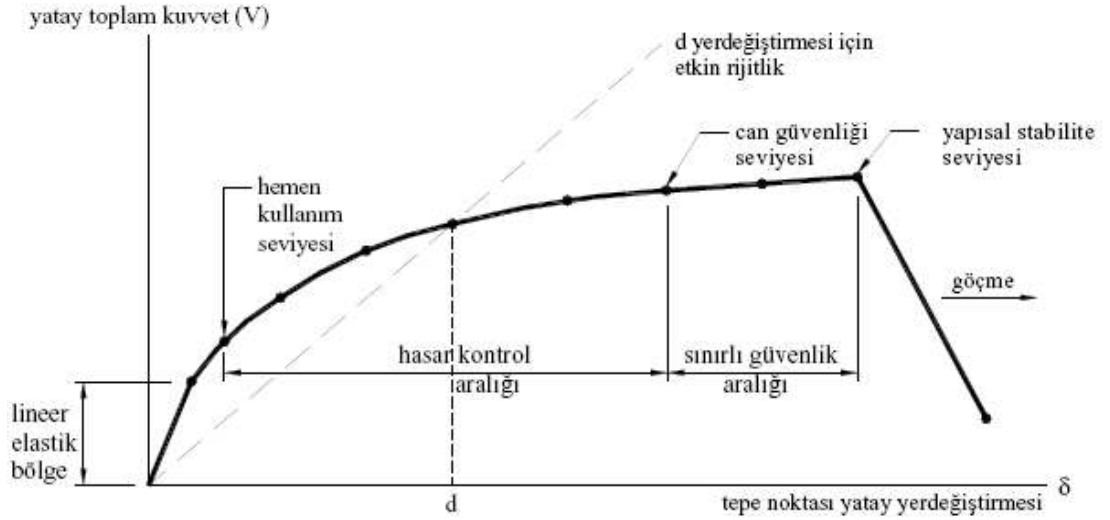
**Can Güvenliği Performans Seviyesi (S-3):** Taşıyıcı sistemde önemli hasar oluşabilir. Buna karşılık bölgesel veya toptan göçme söz konusu değildir. Deprem sırasında yaralanmalar olabilir. Ancak, bu yaralanmalar yapısal hasarlar ile ilgili değildir. Yapısal hasar kaynaklı ölüm riski çok düşüktür.

**Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı (S-4):** Bu aralıkta taşıyıcı elemanların performansları tamamen can güvenliği koşullarını sağlamayabilir, ancak göçmenin önlenmesi performans seviyesinden daha yüksektir.

**Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (S-5):** Yapıyı bölgesel veya toptan göçme sınırına getiren ağır hasar durumunu temsil eder. Taşıyıcı elemanlarda büyük hasar oluşmuş, dayanım ve rijitliklerde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bununla beraber, yapının taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımaya devam etmek için yeterlidir. Yapı stabilitesini korumakla birlikte, önemli oranda can güvenliği riski bulunmaktadır.



Yukarıda tanımlanan performans seviyeleri ve aralıkları, kapasite eğrisi olarak tanımlanan toplam yatay kuvvet-tepe noktası yatay yerdeğiştirme ( $V-\delta$ ) şekli üzerinde gösterilmiştir Şekil (5.2).



Şekil 5.2 Kapasite eğrisinde performans seviyeleri ve aralıkları

### 5.6.2.2 Taşıyıcı Olmayan Elemanlar İçin Performans Seviyeleri

ATC 40 ve FEMA 356' da, taşıyıcı olmayan elemanlar için tanımlanan performans seviyeleri Tablo 4.8' de gösterilmiştir.

Tablo 5.8 Taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri

Performans Seviyesi	Kod
Kullanıma Devam	N-A
Hemen Kullanım	N-B
Can Güvenliği	N-C
Azaltılmış Hasar	N-D
Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye	N-E

Tabloda kodları ile belirtilen taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri aşağıda ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

**Kullanıma Devam Performans Seviyesi (N-A):** Taşıyıcı olmayan elemanlar ile tesisatta ve diğer ekipmanda hasar oluşmaz veya ihmal edilebilecek kadar az hasar meydana gelir. Bu hasar, yapının ve ekipmanın kullanımını engellemez.

Hemen Kullanım Performans Seviyesi (N-B): Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta hasar oluşabilir. Bazı eleman ve ekipmanın onarılması ve/veya değiştirilmesi gerekebilir. Kullanım bakımından ortaya çıkabilecek kısıtlamalar kısa zamanda giderilerek yapı kullanılmaya devam eder.

Can Güvenliği Performans Seviyesi (N-C): Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta hasar oluşabilir. Binanın içinde veya dışındaki ağır elemanlarda, yaralanmalara neden olabilecek makine devrilmesi, kopmalar, düşmeler söz konusu değildir. Tesisat ve ekipmanda onarım ihtiyacı doğar.

Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (N-D): Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta ciddi hasar meydana gelebilir. Ancak, dış cephe kaplamalarının dökülmesi, asma tavanların düşmesi gibi insanların gruplar halinde yaralanmalarına neden olabilecek hasar oluşmaz.

Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (N-E): Bazı hallerde, yapının davranışını ve kullanımını etkilemeyen bazı ikincil elemanlar için performansın dikkate alınmasına gerek olmayabilir.

### ***5.6.3 Bina Performans Seviyeleri***

Binanın toplam yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Tablo 4.9' da bu performans seviyelerinin olası kombinezonları yer almaktadır. Tabloda KÖ ile belirtilen kombinezonlar, kullanılması önerilmeyen performans seviyelerini göstermektedir.

Tablo 5.9 Bina yapısal performans seviyeleri

Taşıyıcı olmayan eleman performans seviyeleri	Taşıyıcı eleman performans seviyeleri				
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
N-A	1-A	2-A	KÖ	KÖ	KÖ
N-B	1-B	2-B	3-B	KÖ	KÖ
N-C	1-C	2-C	3-C	4-C	5-C
N-D	KÖ	2-D	3-D	4-D	5-D
-E	KÖ	KÖ	3-E	4-E	5-E

Tabloda verilen performans kombinezonlarının başlıcaları aşağıda sıralanmıştır. Bir binaya ait performans hedefinin belirlenmesinde, çok kere bu performans birleşimlerinden biri esas alınmaktadır.

1-A: Kullanıma Devam Yapısal Performans Seviyesi (S1+NA): Binada hasar yoktur veya kolaylıkla onarabilecek düzeyde sınırlı hasar mevcuttur. Yapı sistemi deprem öncesi dayanım, rijitlik ve sünekliğini aynen korumaktadır. Bina, kullanıma devam edebilecek durumdadır.

1-B: Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S1+NB): Oldukça az yapısal hasar vardır. Yapı, orijinal dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde korumaktadır. Yapısal olmayan elemanlar güvenlidir ve genellikle çalışabilir durumdadır. Deprem sırasında yaralanma riski oldukça düşüktür.

3-C: Can Güvenliği Performans Seviyesi (S3+NC): Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda belirli ölçülerde hasar mevcuttur. Yapı deprem öncesi dayanım ve rijitliğinin bir bölümünü kaybetmiş durumdadır. Ancak yapısal ve yapısal olmayan elemanların can güvenliğini tehdit etmesi söz konusu değildir. Yapı onarılmaya muhtaçtır ve onarılmadan kullanılması uygun değildir.

5-E: Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (S5+NE): Yapı taşıyıcı sistemi ancak düşey yükler altında stabilitesini korumaktadır. Binanın artçı depremlere karşı dayanımı kalmamıştır ve kullanılmaması gerekir. Onarılması da çok kere pratik veya ekonomik bakımdan uygun değildir.

#### **5.6.4 Deprem Hareketi**

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

ATC 40 projesinde üç farklı seviyede deprem hareketi tanımlanmıştır. Diğer bir deyişle, üç ayrı sismik risk seviyesi göz önüne alınmaktadır. Benzer tanımlar FEMA 356 dökümanında da yapılmıştır. Aşağıda ATC 40' da tanımlanan deprem hareketleri verilerek FEMA 356 depremleri ile karşılaştırılmıştır.

#### **5.6.5 Yapısal Kapasite**

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki temel parametresi, istem ve kapasitedir. İstem (talep), yapıya etkileyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir.

Yapısal kapasite, yapının taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerinin bir birleşimi olarak tayin edilir. Doğrusal elastik sınırın ötesindeki kapasitenin belirlenmesi istendiğinde, genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre sistem hesabı yapılması gerekmektedir.

Yapısal kapasite, kapasite eğrisi ile temsil edilir. Bu eğri, genellikle taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi arasındaki bağıntı çizilerek elde edilmektedir. Kapasite eğrisinin elde edilmesi için, yapı sistemi sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay kuvvetler altında, taşıma kapasitesi sona erdiği limit duruma kadar hesaplanır.

Yapısal kapasite eğrisi, genellikle yapının birinci doğal titreşim modu esas alınarak belirlenen eşdeğer statik kuvvetler altında yapılan hesap ile belirlenir. Diğer

bir deyişle, yapının davranışında birinci doğal titreşim modunun etkin olduğu varsayılır. Bu varsayım, özel periyodu  $T=1,00$  saniyeden daha küçük olan yapılar için geçerli olabilir. Birinci doğal titreşim periyodu 1,00 saniyeyi aşan yapılarda, daha yüksek modların etkilerinin göz önüne alınması gerekmektedir.

**1) Servis (kullanım) depremi (SE):** 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 72 yıldır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı kadardır.

**2) Tasarım depremi (DE):** 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 475 yıldır. 1998 Türk Deprem yönetmeliğinde esas alınan bu deprem FEMA 356' da Temel Güvenlik Depremi-1 (BSE-1) olarak isimlendirilir.

**3) En büyük deprem (ME):** Belirli bir bölgede, jeolojik veriler çerçevesinde, meydana gelebilecek en büyük deprem hareketidir. 50 yılda aşılma olasılığı %5, dönüş periyodu yaklaşık 1000 yıldır. Bu depremin etkisi, tasarım depreminin 1,25-1,50 katı dolaylarındadır. Ayrıca FEMA 356' da, Temel Güvenlik Depremi-2 (BSE-2) olarak isimlendirilen ve 50 yılda aşılma olasılığı %2, dönüş periyodu yaklaşık 2475 yıl olan bir deprem daha tanımlanmıştır. Bu depremin ATC 40' daki en büyük depreme karşı geldiği, ancak etkisinin daha büyük olduğu (yaklaşık olarak tasarım depreminin 1,50 katı) söylenebilir.

## **BÖLÜM ALTI**

### **UYGULAMALAR**

#### **6.1 Giriş**

Bu çalışma kapsamında, TDY 'de yer alan burulma düzensizliği, döşeme süreksizlikleri, planda çıkıntılar bulunması, komşu katlar arası dayanım düzensizliği, komşu katlar arası rijitlik düzensizliği, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğinin farklı zemin sınıflarında bulunan binalarda taban burulma momentinde meydana getirdiği değişiklikler incelenmiştir. Bu incelemede 1999 Düzce deprem kayıtları kullanılmıştır.

Bu değişimleri görmek üzere; perdeli çerçeveli çok katlı betonarme bir sanal bina tasarlanmış analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen taban burulma momentlerinin zemin sınıflarına göre değişimi belirlenmiştir. Çözümlemelerde ETABS Nonlinear analiz programı kullanılmıştır.

#### **6.2 Etabs Nonlinear Analiz Bilgisayar Programı**

ETABS (Extended 3D Analysis of Building Systems) bilgisayar programı, yapı sistemlerinin statik, dinamik analizi ve boyutlandırılması için kullanılan üç boyutlu nonlineer yapısal analiz programıdır.

ETABS bilgisayar programında sistemlerin modellendirilmesinde çeşitli yapı elemanlarının birleştiği düğüm noktaları ve elemanlar program tarafından otomatik olarak türetilmektedir. Bazı durumlarda, modellendirilecek yapının küçük bir bölümü oluşturularak, diğer katlara kopyalanabilir ve bu sayede sistem tamamlanabilir.

Malzeme özelliklerinin tanımlanması, Etabs' ın içinde standart olarak, tüm özellikleri ile (beton ve çelik malzeme) mevcut olduğu gibi; istenildiği takdirde kullanıcı tarafından da malzeme özellikleri tanımlanabilmektedir.

Kesit özellikleri olarak Etabs'ın içindeki standart olarak bulunan kesitler dikkate alınabileceği gibi, kullanıcı tarafından istenilen türde kesit tanımlamak da mümkündür.

Yükler tekil, düzgün yayılı, üçgen, trapez yayılı yükler ve düğüm noktalarına, çubuklara veya sonlu elemanlara atanabilir. Etabs' da SAP2000'den farklı olarak döşemeler tanımlanabilmekte ve döşemelerden kirişlere yük aktarımı program tarafından otomatik olarak sağlanmaktadır. Ayrıca kullanım isteğine göre yükler çeşitli süperpozisyon katsayıları ile çarpılarak yükleme kombinasyonları da oluşturulabilmektedir. Tüm bu yüklemeler, Etabs programı ekranındaki menülerle ya da kısayol komutları kullanılarak oluşturulmaktadır.

### 6.3 Uygulama 1

#### 6.3.1 Yapı Spektrum Grafiğinin Belirlenmesi

*Spektrum Katsayısı*,  $S(T)$ , yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu  $T$ 'ye bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} S(T) &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S(T) &= 2.5 & (T_A < T \leq T_B) \\ S(T) &= 2.5 \left( \frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & (T_B < T) \end{aligned}$$

*Spektrum Karakteristik Periyotları*,  $T_A$  ve  $T_B$ , *Yerel Zemin Sınıfları*'na bağlı olarak tablo 6.1'de verilmiştir.(TDY 2007)

TABLO 6.1 Spektrum karakteristik periyotları ( $T_A$ ,  $T_B$ )

<i>Yerel Zemin Sınıfı</i>	$T_A$ (saniye)	$T_B$ (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

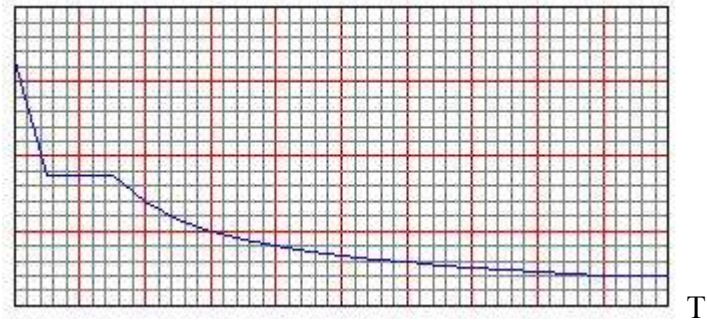
Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak üzere, spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan *Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı*'na bölünecektir. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı, çeşitli taşıyıcı sistemler için *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı*,  $R$ 'ye ve doğal titreşim periyodu,  $T$ 'ye bağlı olarak belirlenecektir.(TDY 2007)

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_A < T)$$

Elde edilen tasarım ivme spectrumları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.( $t=0.05$  sn aralıklı olarak hesaplanmıştır.)

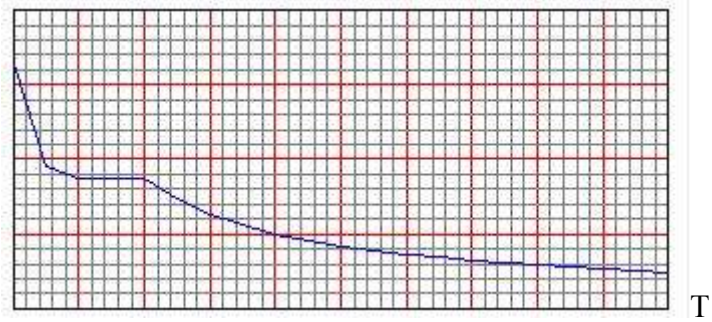
S(T)



Şekil 6.1 Z1 Zemin türü için tasarım ivme spektrumu

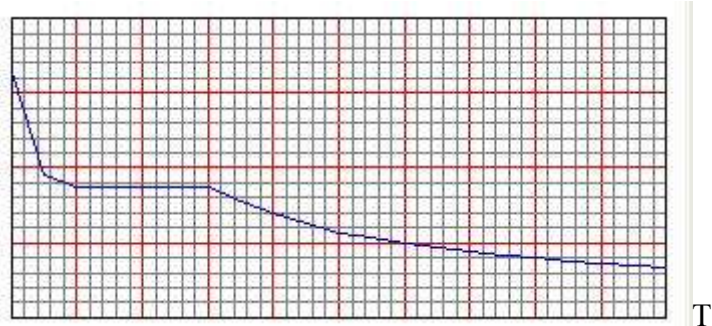


S(T)



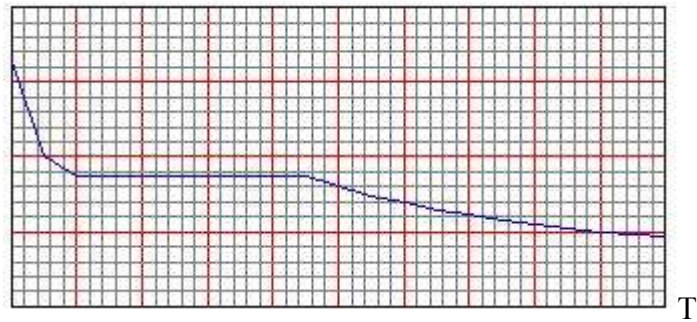
Şekil 6.2 Z2 Zemin türü için tasarım ivme spektrumu

S(T)



Şekil 6.3 Z3 Zemin türü için tasarım ivme spektrumu

S(T)



Şekil 6.4 Z4 Zemin türü için tasarım ivme spektrumu

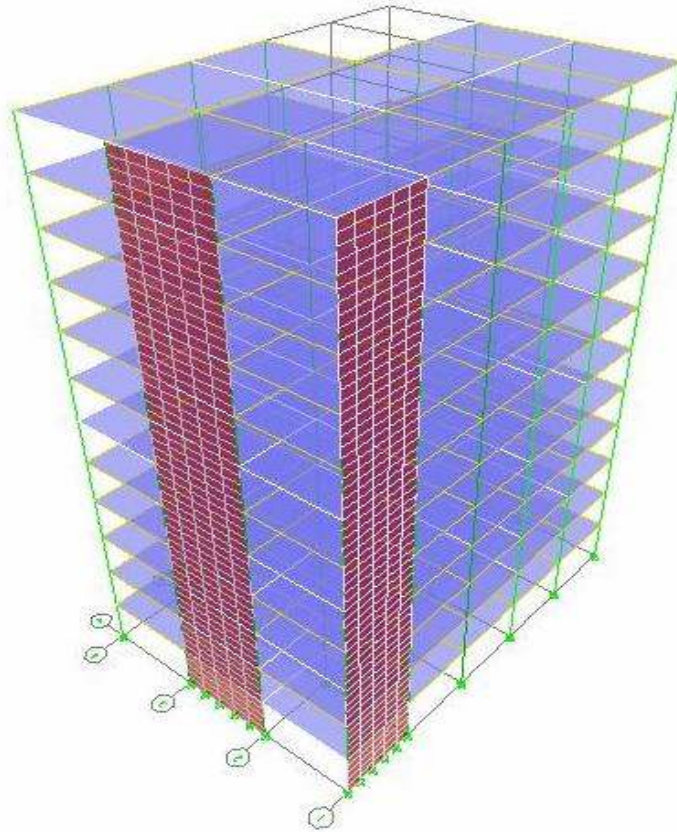
### 6.3.2 İncelenen Yapıların Genel Özellikleri

- “zemin + 11 normal kat” olmak üzere toplam 12 katlıdır.
- Birinci derecede deprem bölgesinde olup, etkin yer ivmesi  $A_0=0,40$ 'tır.
- Konut türü olduğu için, bina önem katsayısı  $I=1,0$ 'dir.

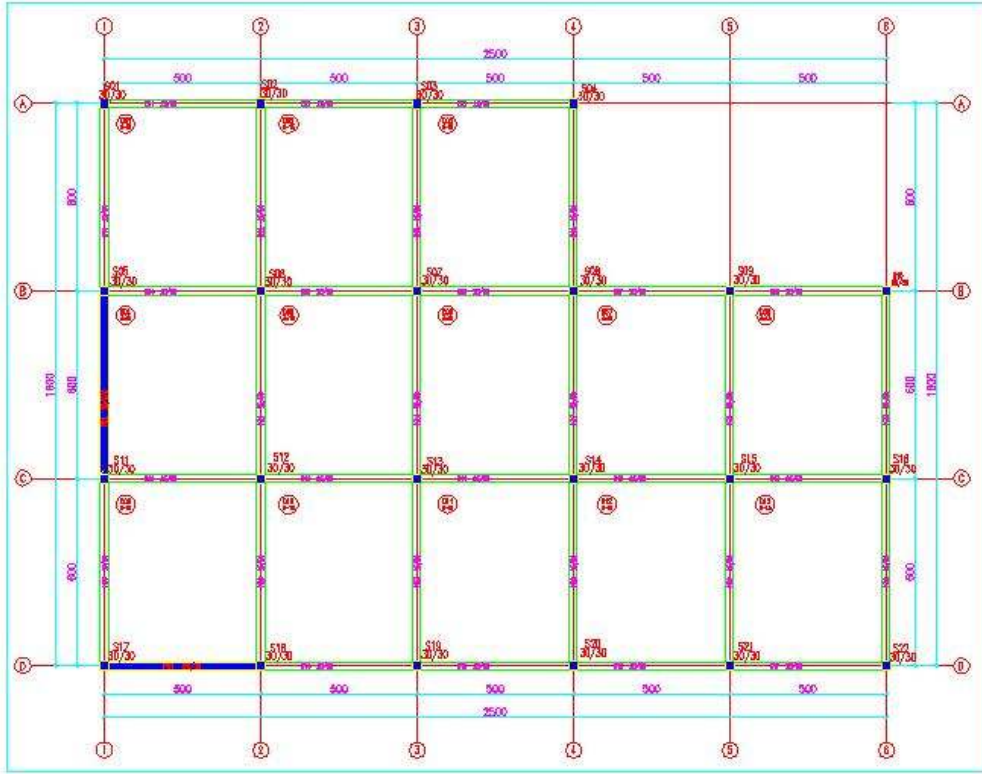
- Beton sınıfı C25'dir.
- Binanın tüm katlarında kirişler 25/50 cm'dir.
- Binanın tüm katlarında kolonlar 30/30 cm'dir
- Binadaki perde boyutları 470/25, 25/570

Tablo 6.2 Yapı Döşeme Boyutları ve Katlara göre Sabit ve Hareketli Yükler

Döşeme	Döşeme Kalınlığı(cm)	Sabit Yük (Kg/m <sup>2</sup> )	Hareketli Yük (Kg/m <sup>2</sup> )
Tüm Döşemeler	15	150	200



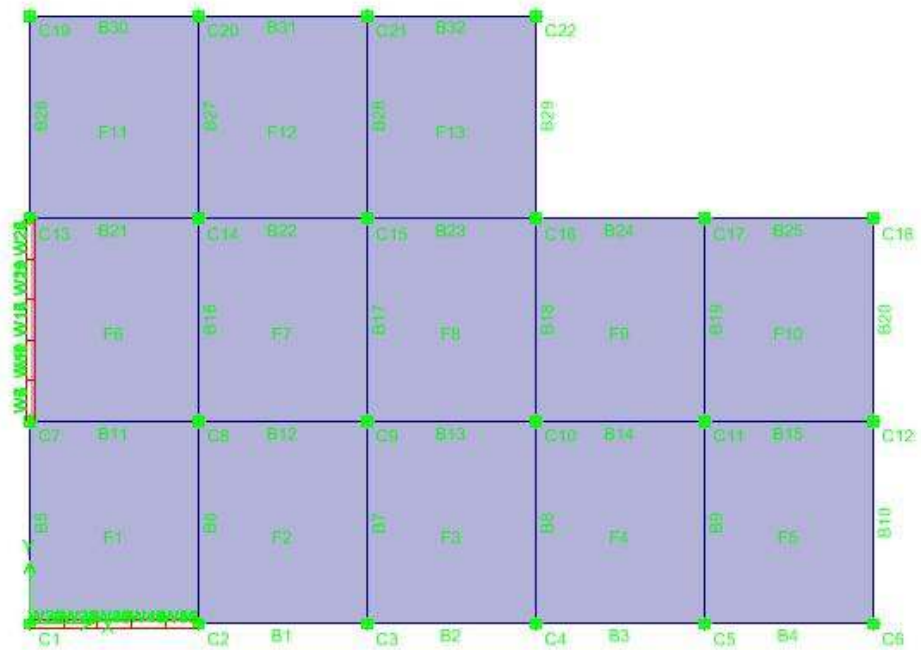
Şekil 6.5 Yapının 3D görünüşü



Şekil 6.6 Yapının kat planı

### 6.3.3 Düzensizlik Durumlarının İncelenmesi

#### 6.3.3.1 A1 – Burulma Düzensizliği Olması Hali İrdeleme



Şekil 6.7 A1 türü düzensizlik için kullanılan kalıp planı

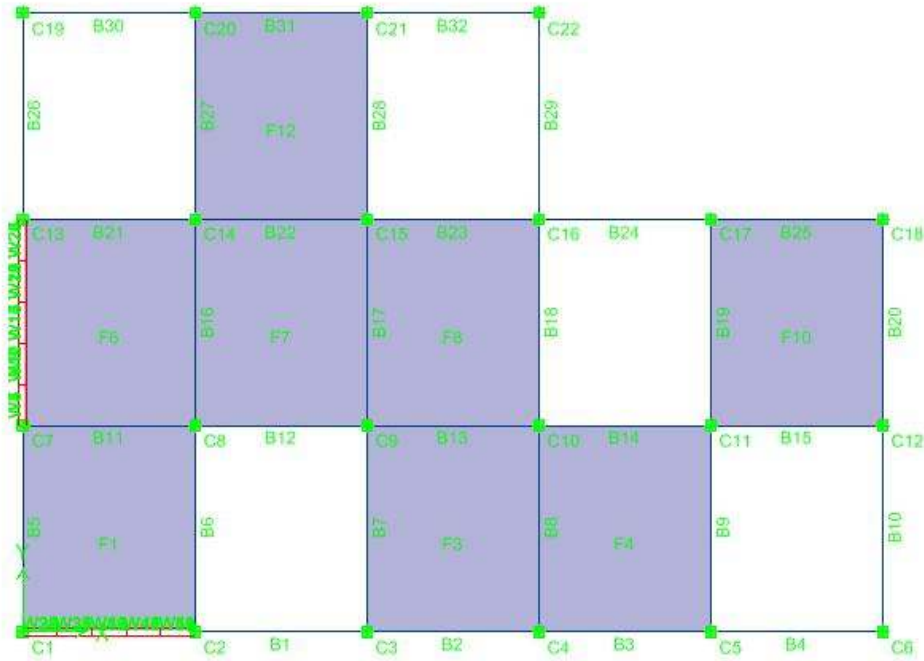
A1 türü düzensizlik için şekil 6.7. deki kalıp planı kullanılarak hesaplamalar yapılmış tablo 6.3 deki sonuçlar elde edilmiştir

Tablo 6.3 A1 türü düzensizlik için bulunan toplam taban burulma momentleri

TOPLAM TABAN BURULMA MOMENTİ(KNm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4
X	3544	4171	4627	5875
Y	2979	3394	3927	5028

### 6.3.3.2 A2 – Döşeme Süreksizlikleri Olması Hali İrdeleme

Bu örnek tüm katlardaki F2, F5, F9, F11, F13 döşemeleri çıkartılarak döşeme süreksizliği oluşturulmuştur.



Şekil 6.8 A2 türü düzensizlik için kullanılan kalıp planı

A2 türü düzensizlik için şekil 6.8. deki kalıp planı kullanılarak hesaplamalar yapılmış tablo 6.4 deki sonuçlar elde edilmiştir



Tablo 6.5 A3 türü düzensizlik için bulunan toplam taban burulma momentleri

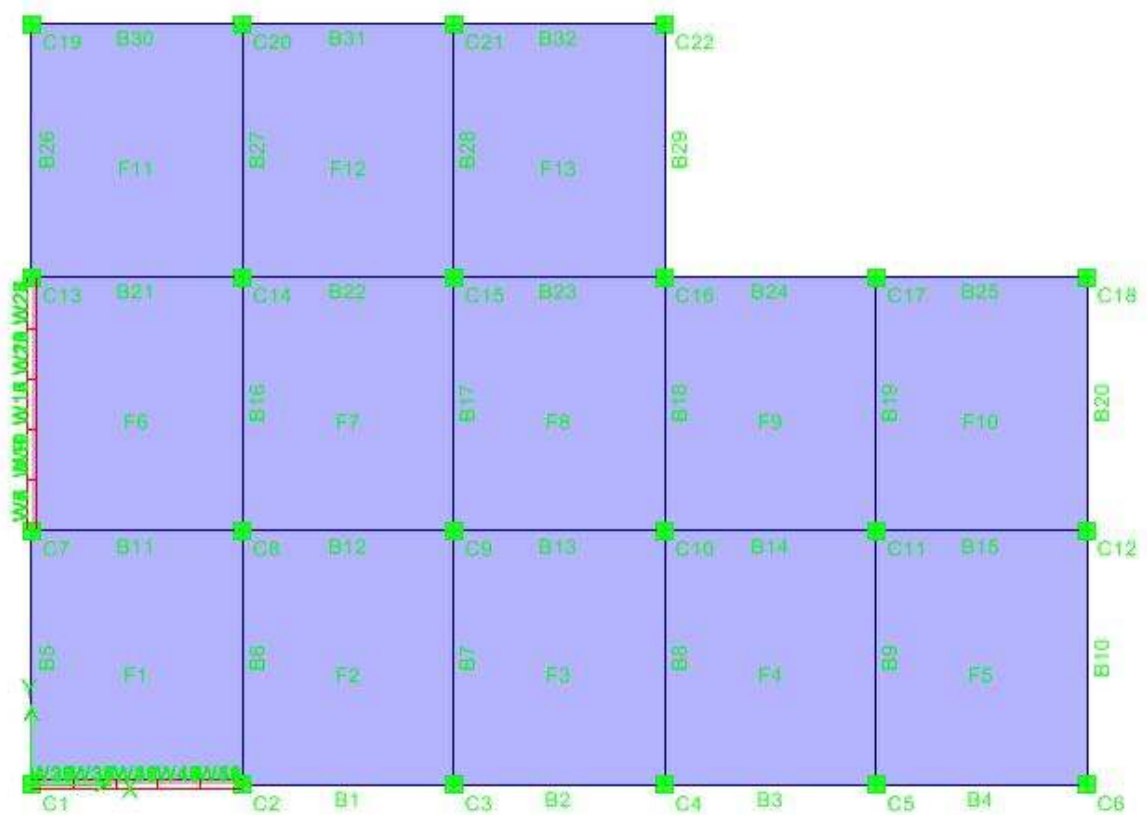
TOPLAM TABAN BURULMA MOMENTİ(KNm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4
X	3261	3681	4229	5133
Y	2708	3084	3648	4521

#### 6.3.3.4 B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Olması Hali İrdeleme

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki *etkili kesme alanı*'nın, bir üst kattaki *etkili kesme alanı*'na oranı olarak tanımlanan *Dayanım Düzensizliği Katsayısı*  $\eta_{ci}$ 'nin 0.80'den küçük olması durumu. [ $\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0.80$ ]

Herhangi bir katta *etkili kesme alanının tanımı*:

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k$$



Şekil 6.10 . B1 türü düzensizlik için kullanılan kalıp planı



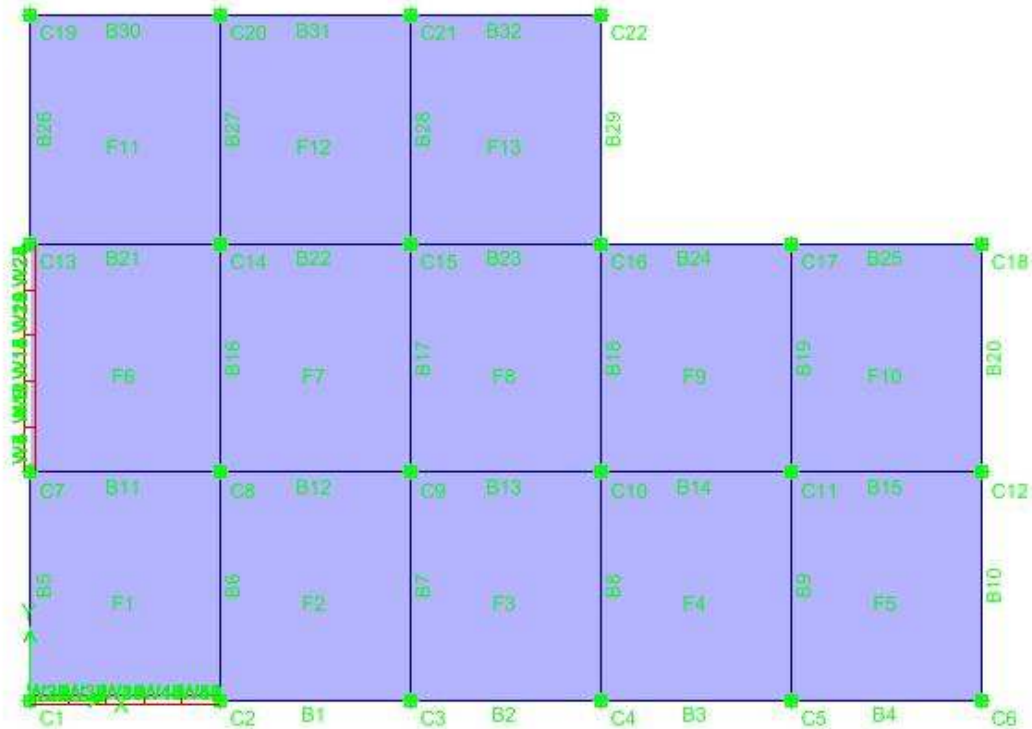
B1 türü düzensizlik için şekil 6.10 daki kalıp planı kullanılarak hesaplamalar yapılmış tablo 6.6 deki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 6.6 B1 türü düzensizlik için bulunan toplam taban burulma momentleri

TOPLAM TABAN BURULMA MOMENTİ(KNm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4
X	4605	5391	6590	8417
Y	3851	4595	5802	7590

### 6.3.3.5 B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) Olması Hali İrdeleme

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı*  $\eta_{ki}$  'nin 2.0'den fazla olması durumu. [ $\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort} > 2.0$  veya  $\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort} > 2.0$ ].(TDY 2007)



Şekil 6.11 B2 türü düzensizlik için kullanılan kalıp planı

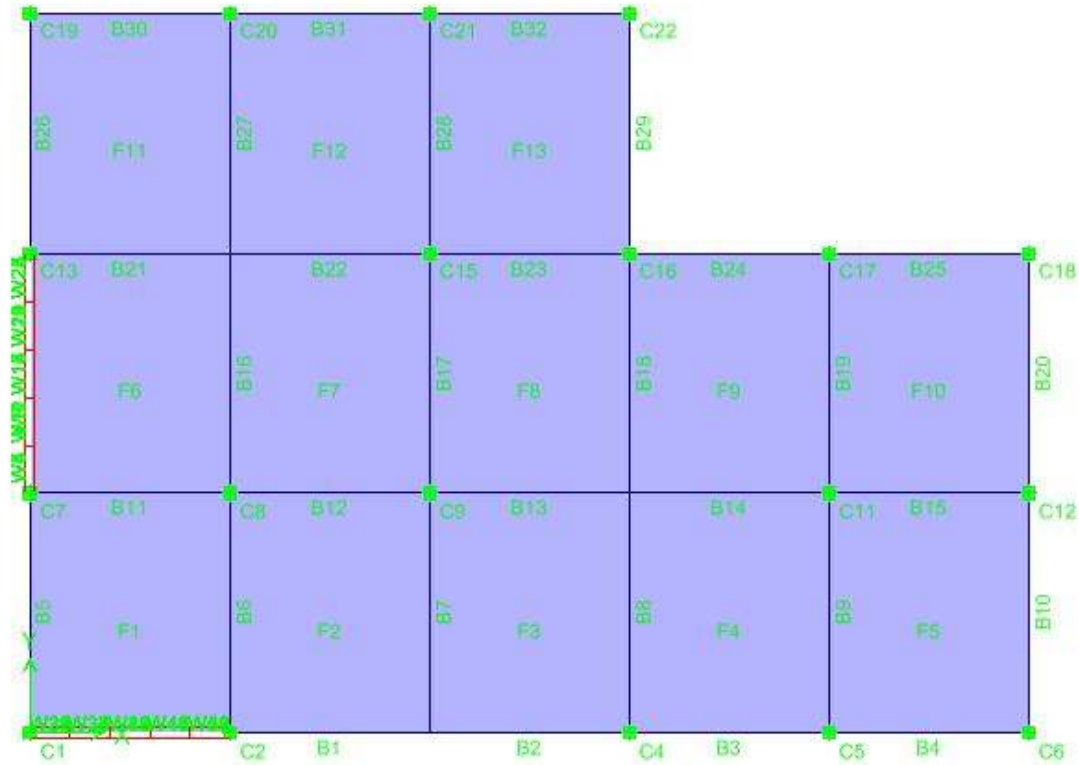
B2 türü düzensizlik için şekil 6.11 daki kalıp planı kullanılarak hesaplamalar yapılmış tablo 6.7 daki sonuçlar elde edilmiştir

Tablo 6.7 B2 türü düzensizlik için bulunan toplam taban burulma momentleri

TOPLAM TABAN BURULMA MOMENTİ(KNm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4
X	2065	2436	2574	2905
Y	755	847	869	981

### 6.3.3.6 B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği Hali İrdeleme

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumunda B3 türü düzensizlik oluşur.



Şekil 6.12 B2 türü düzensizlik için kullanılan kalıp planı



B3 türü düzensizlik için şekil 6.12 daki kalıp planı kullanılarak hesaplamalar yapılmış tablo 6.8 daki sonuçlar elde edilmiştir.

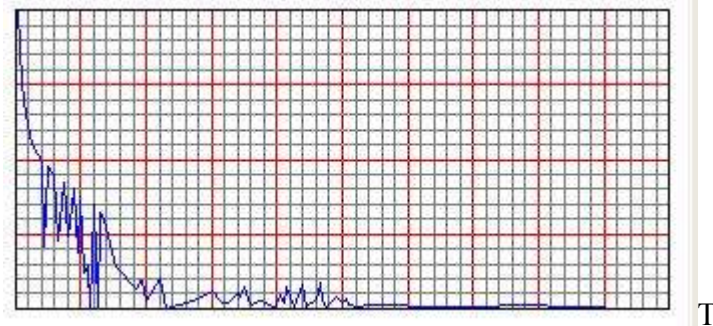
Tablo 6.8 B2 türü düzensizlik için bulunan toplam taban burulma momentleri

TOPLAM TABAN BURULMA MOMENTİ(KNm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4
X	2492	2782	2987	3108
Y	912	1002	1190	1300

#### 6.3.4 1999 Düzce Deprem Kayıtları Kullanılarak Hesaplanan Toplam Taban Burulma Momentleri

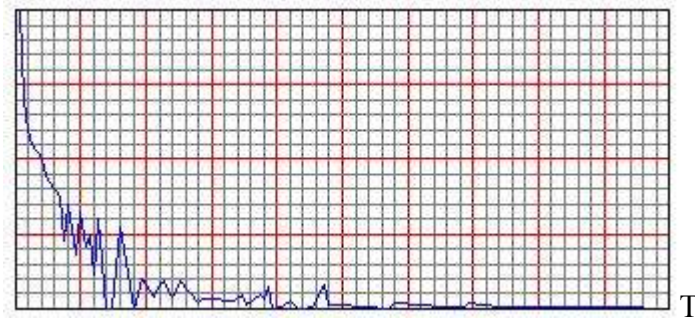
1999 yılında Düzce’de meydana gelen deprem kayıtları Peer Strong Motion Database’ den alınarak dört farklı zemin türü için spektrum grafikleri oluşturulmuştur.

S(T)



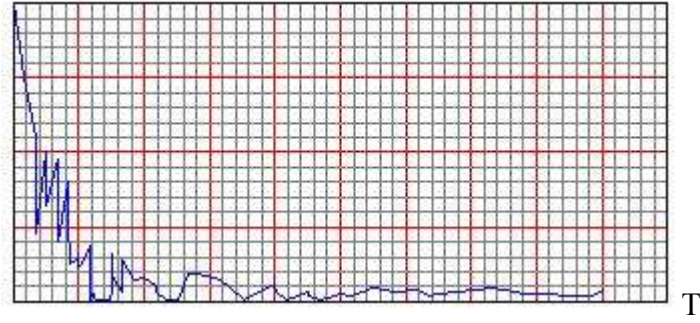
Şekil 6.12 Z1 zemin türü için tasarım ivme spektumu

S(T)



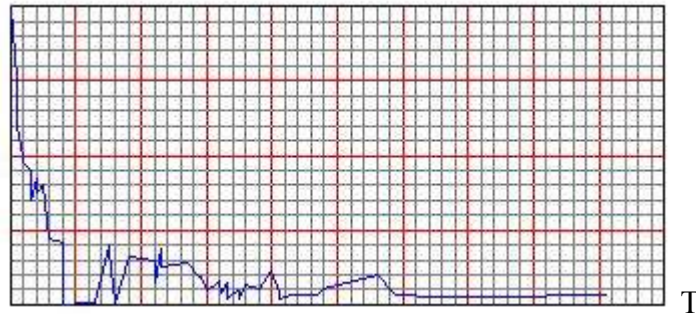
Şekil 6.13 Z2 zemin türü için tasarım ivme spektumu

S(T)



Şekil 6.14 Z3 zemin türü için tasarım ivme spektumu

S(T)



Şekil 6.15 Z4 zemin türü için tasarım ivme spektumu

1999 yılı Düzce deprem kayıtları kullanılarak A1 burulma düzensizliği olması hali irdelemesi tekrar yapılarak toplam taban burulma moment değerleri dört zemin sınıfı için hesaplanarak tablo 6.9 de verilmiştir.

Tablo 6.9 1999 yılı Düzce deprem kayıtları kullanılarak hesaplanan toplam taban burulma momentleri

TOPLAM TABAN BURULMA MOMENTİ(KNm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4
X	2913	3439	3998	4723
Y	2282	2650	3283	3963

## 6.4 Uygulama 2

Bu uygulamada, Z2 türü zemin üzerinde inşa edilmiş olan dört katlı betonarme bir binada performans seviyelerindeki farklılıkları görmek üzere, binanın Z1-Z3-Z4 zemin sınıfları üzerinde olduğu varsayılarak, performansı FEMA 356’ da yer alan Deplasman Katsayıları Yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, grafik ve tablolar halinde verilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır

Binanın deprem performans seviyesinin belirlenmesi için yapı, bilgisayar ortamında “**CSI Computers & Engineering Software Consulting**” firmasına ait “**Etabs-Integrated analysis, design and drafting of building systems**” programı kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir.

### 6.4.1 Seçilen Betonarme Perde Sistemli Yapı Özellikleri

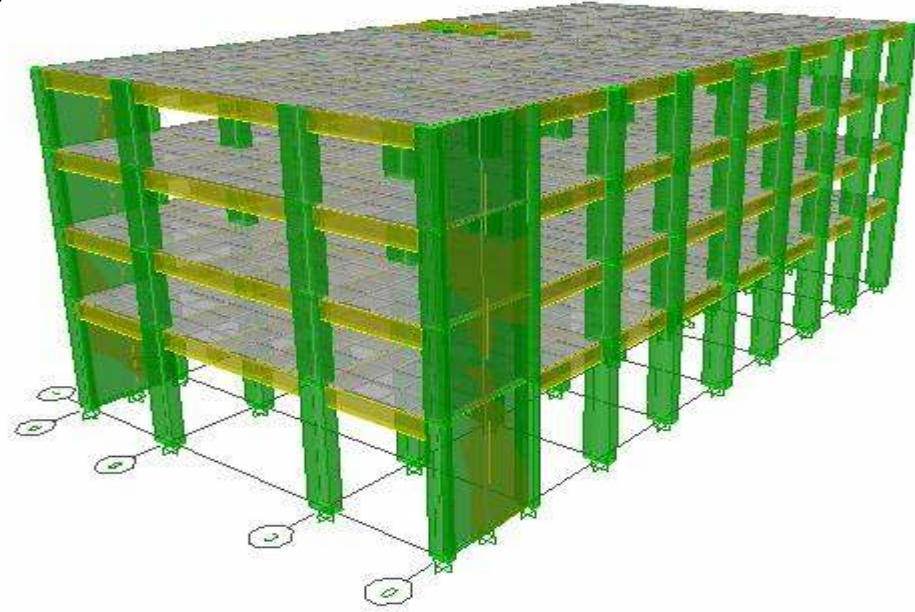
Yapının beton sınıfı C30, beton çeliği S420 olarak seçilmiştir. Yapı birinci derecede deprem bölgesinde olup, yapı önem katsayısı  $I=1,0$  ve etkin yer ivmesi  $A_0=0,40$ ’ tır. Kat yükseklikleri zemin katta 5 m, diğer katlarda 3,2 m’ dir. Binada bulunan kolon kiriş ve perdelerin boyutları tablo 6.10’ de verilmiştir.

Tablo 6.10 Kolon- Kiriş-Perde boyutları

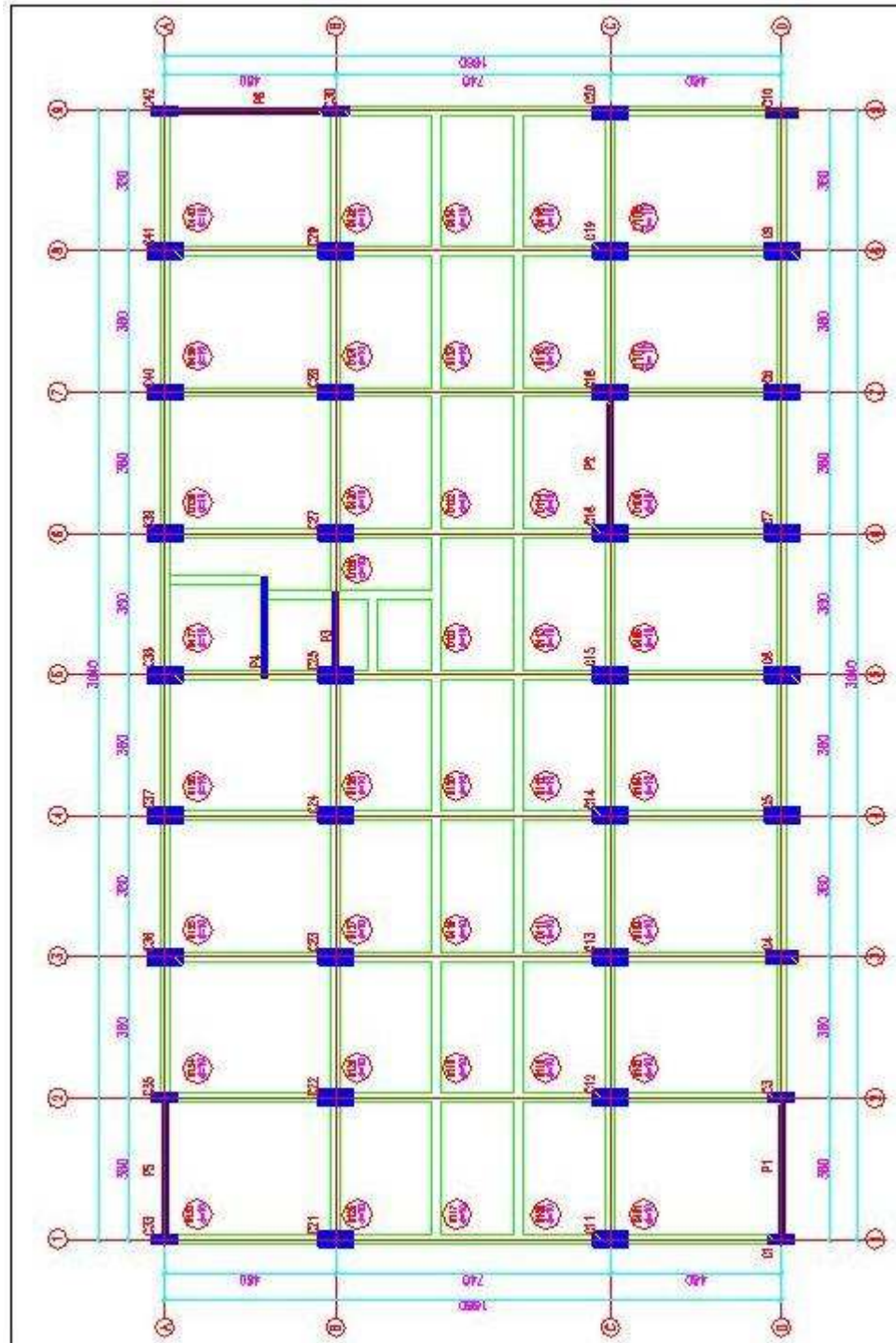
Kolon Boyutları	Kolon1	0.45	0.95
	Kolon2	0.45	0.95
	Kolon3	0.45	0.95
	Kolon4	0.35	0.95
	Kolon5	0.25	0.70
Perde Boyutları	Perde1	0.25	3.55
	Perde2	0.25	3.55
	Perde3	0.25	3.90
	Perde4	0.25	3.90
	Perde5	0.25	2.80
	Perde6	0.25	2.80
	Perde7	0.25	2.13
	Perde8	0.25	2.13
	Perde9	0.25	3.35
Kiriş Boyutları	Kiriş1	0.25	0.70
	Kiriş2	0.25	0.60
	Kiriş3	0.25	0.70

#### 6.4.2 Seçilen Betonarme Sekiz Katlı Perde Sistemli Yapının Kalıp Planı ve 3D Modeli

Yapının analizlerinde kat döşemeleri rijit diyafram kabulüyle modellenmiştir.Yapının plan ve üç boyutlu görünüşleri; Şekil 6.16-17-18 'de verilmiştir.

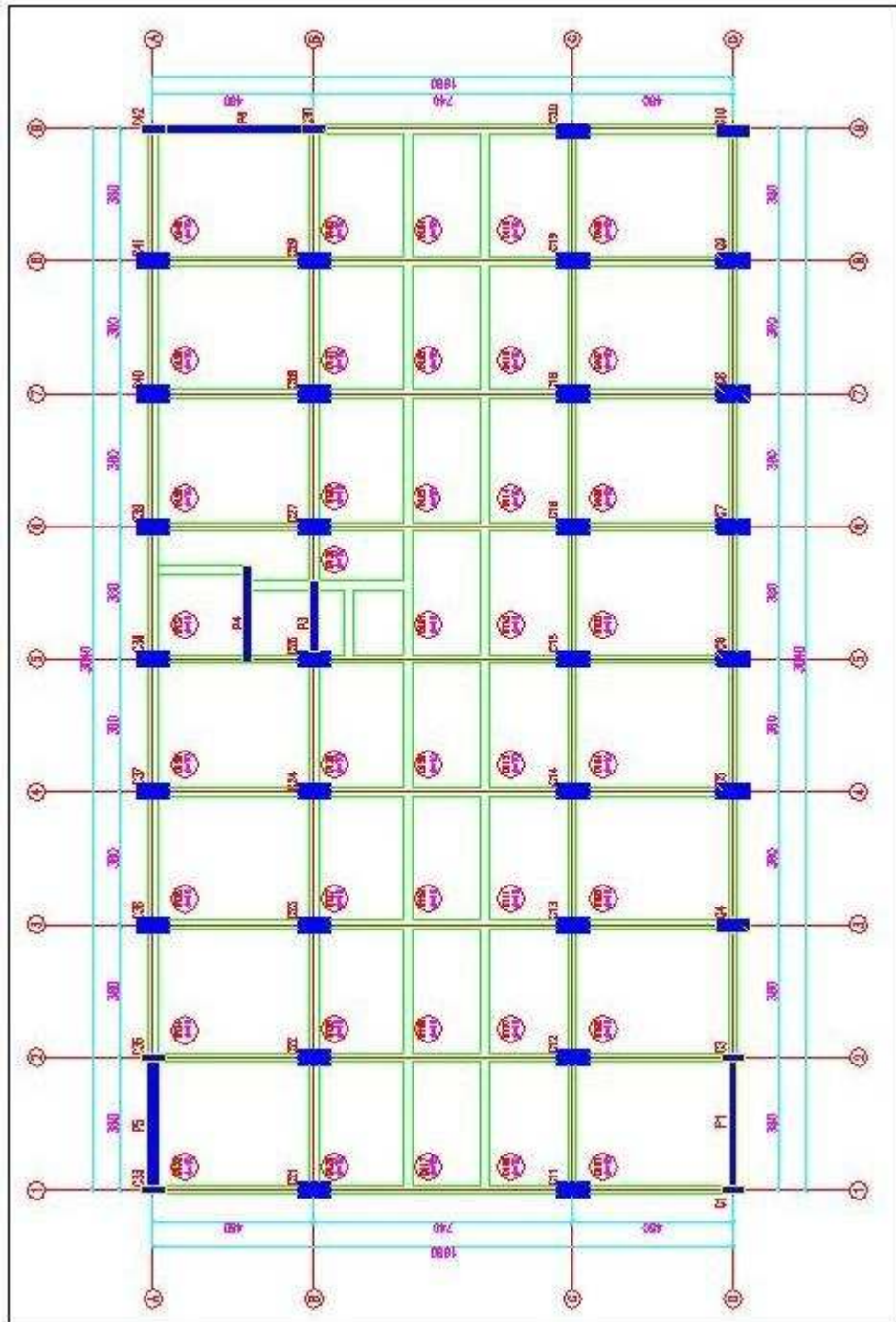


Şekil 6.16 Yapının 3D görünüşü



Şekil 6.17 Zemim kat planı





Şekil 6.18 Yapının 1. 2. 3. kat planları

#### **6.4.3 Yapının Kiriş ve Kolon Elemanlarının Donatı Alanları**

Yapının kiriş ve kolon eleman enkesitleri ve donatı alanları EK-1’ de ve EK-2’ de verilmiştir.

#### **6.4.4 Seçilen Yapı İçin Performans Hedefinin Tanımlanması**

Yapının deprem sırasındaki yatay yer değiştirme kapasitesinin belirlenmesinde, düşey yüklerin ve deprem yüklerinin birleşik etkileri altında doğrusal olmayan artımsal itme analiz yöntemi kullanılmış ve binanın hedeflenen deprem performans düzeyinin belirlenmesinde ise, Deprem Yönetmeliği (2007) Bölüm 7, Tablo 7.7’de “Binanın Kullanım Amacı ve Türü bakımından; Diğer Binalar sınıfındaki yapılar için 50 yılda % 10 aşılma olasılığı olan depremler için kabul edilen **“CG – Can Güvenliği Hedef Performans Düzeyi”** dikkate alınmıştır.

Yapının düşey yükler ve deprem yüklerini temsil eden eşdeğer statik yatay yük etkileri altında **“Yatay Yer Değiştirme Kapasitesi”**ni belirlemek için 2007 Deprem Yönetmeliği’nde ve Amerikan FEMA 356 standardında tanımlanan **“Doğrusal Olmayan Artımsal İtme Analiz”** yöntemi kullanılmıştır.

Modelde; kolonlarda ve kirişlerde plastik mafsalların oluşacağı yerler, kolon ve kirişlerin uç noktaları olarak tanımlanmıştır. Modellemede, kirişlerin eksenel yük düzeyi düşük olduğu için sadece eğilmeye çalıştığı kabul edilerek plastik mafsalların sadece eğilme momenti etkisinden oluşacağı kabul edilmiştir. Kolonlarda ise eksenel yük etkisi ihmal edilemeyeceği için, plastik mafsalların özelliklerinin tanımlanmasında eksenel kuvvet-eğilme momenti etkileşimi dikkate alınmıştır. Bu kabuller altında kirişlerin ve kolonların moment-eğrilik ve kolonların eksenel kuvvet-eğilme momenti etkileşim diyagramları “XTRACT” yazılımı kullanılarak her kesit için hesaplanmış ve yapı modeline aktarılmıştır.

Ayrıca kiriş ve kolonların hasar bölgelerini belirlemek için 2007 Deprem Yönetmeliği’nde tanımlanan Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve

Göçme Sınırı (GÇ) plastik dönme sınır değerleri her kesit için hesaplanarak modelde tanımlanmıştır.

#### 6.4.5 Seçilen Betonarme Sekiz Katlı Perde Sistemli Yapının Deprem Hesabında Dikkate Alınan Değerler

Yapının ETABS bilgisayar programı ile yapılan dinamik analizinden elde edilen dinamik karakteristik değerleri aşağıdaki gibidir.

<b>X Yönü 2. Periyod (sn)</b>	<b>: 0.32</b>
<b>Y Yönü 1. Periyod (sn)</b>	<b>: 0.50</b>
<b>X Yönü 2. Mod Kütle Katılım Oranı (%)</b>	<b>: 72.76</b>
<b>Y Yönü 1. Mod Kütle Katılım Oranı (%)</b>	<b>: 71.98</b>
<b>X Yönü 2. Mod Modal Katılım Faktörü</b>	<b>: 1.257</b>
<b>Y Yönü 1. Mod Modal Katılım Faktörü</b>	<b>: 1.070</b>

Yapı sisteminin etkin periyot değeri ( $T_e$ ) belirlendikten sonra, yapının performans seviyesinin kontrolünün yapılacağı hedef deplasman ( $\delta_t$ ) aşağıdaki hesaplanmaktadır (FEMA 440)

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (6.1)$$

Tablo 6.11 Yapının X ve Y doğrultularındaki deprem talep yer değiştirme değerleri

DOĞRULTU	C0	C1	C2	C3	T <sub>1</sub> (sn)	S <sub>a</sub>	δ <sub>t</sub> (cm)
Z1-X	1.257	1	1	1	0.32	2.37	3.03
Z1-Y	1.070	1	1	1	0.50	1.65	4.39
Z2-X	1.257	1	1	1	0.32	2.5	3.2
Z2-Y	1.070	1	1	1	0.50	2.07	5.51
Z3-X	1.257	1	1	1	0.32	2.5	3.2
Z3-Y	1.070	1	1	1	0.50	2.5	6.65
Z4-X	1.257	1	1	1	0.32	2.5	3.2
Z4-Y	1.070	1	1	1	0.50	2.5	6.65

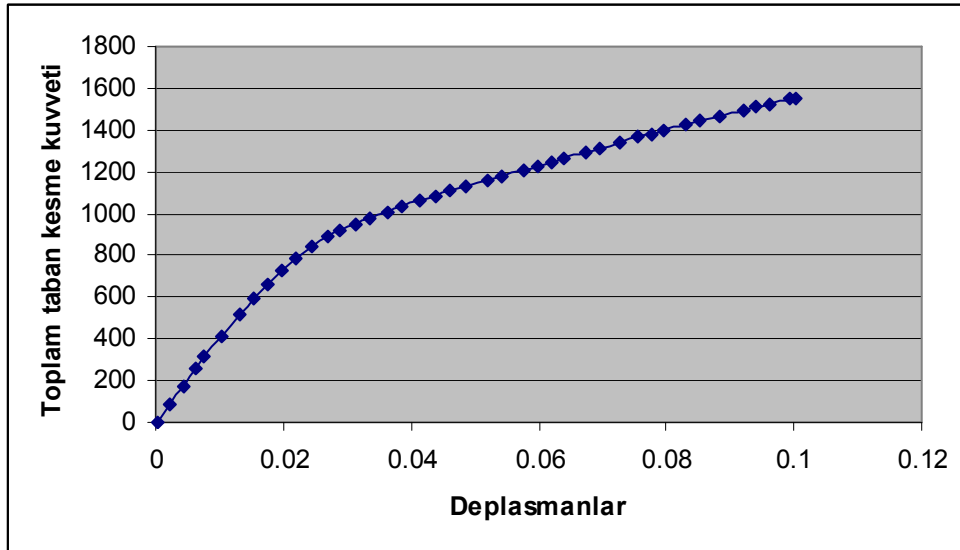


İncelenen yapıda, X ve Y yönleri için hakim mod kütle katılım oranının %70'in üzerinde olduğundan artımsal itme analizi yapılırken yatay yükleme şekli olarak ilgili doğrultudaki birinci mod şekli artımsal itme analizi yapılırken yatay yükleme şekli olarak modal yükleme şekli kullanılmıştır

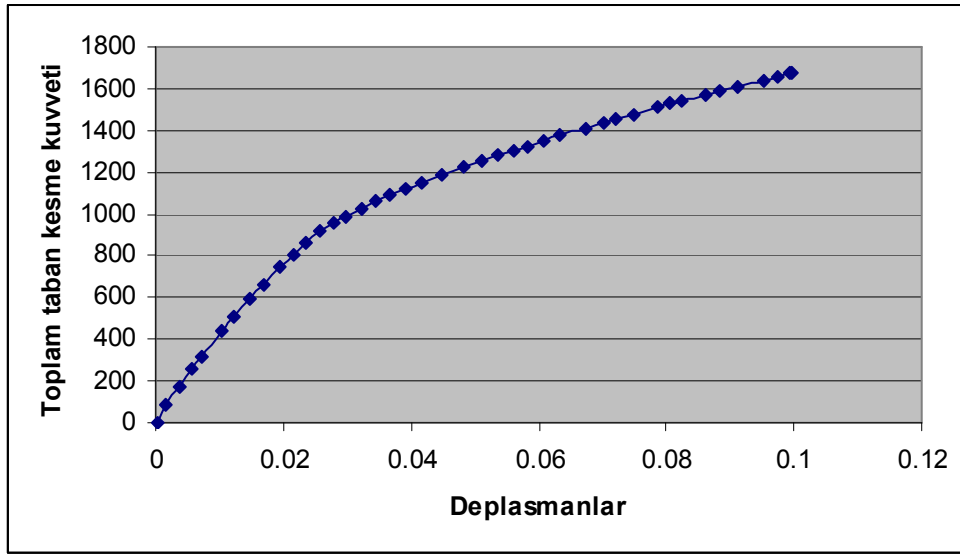
Talep yerdeğiştirme değerleri **Z1-X, Z1-Y, Z2,Z3,Z4-X, Z2-Y, Z3,Z4-Y** olarak gruplandırılmıştır.

#### **6.4.6 Deplasman Katsayıları Yöntemi İle Yapıların Performans Noktasının Belirlenmesi**

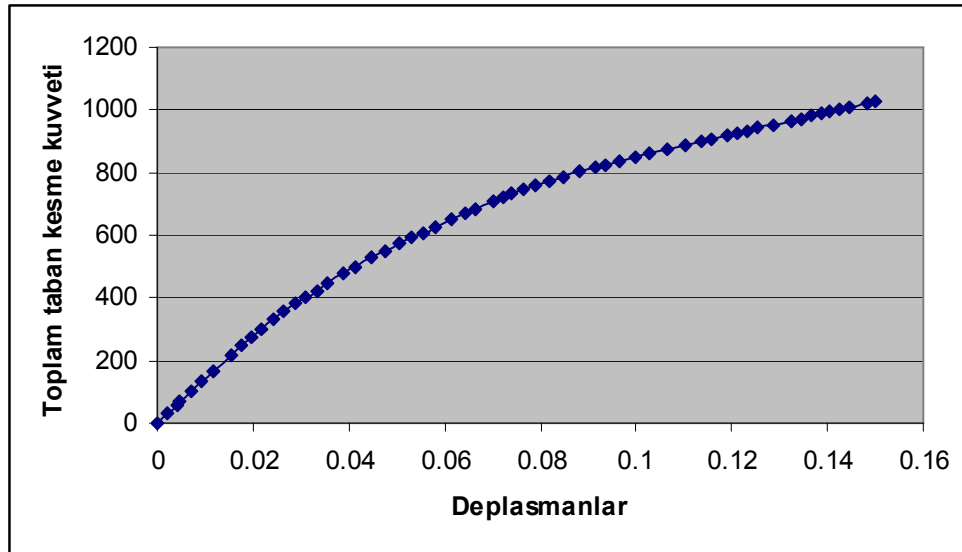
Deplasman Katsayıları Yöntemi'nde ilk olarak, taban kesme kuvveti (VT) ile yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi ( $\delta_{maks}$ ) arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilmiştir. Yapının yatay yük taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisi, sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan yatay yükler altında malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre belirlenmiştir .



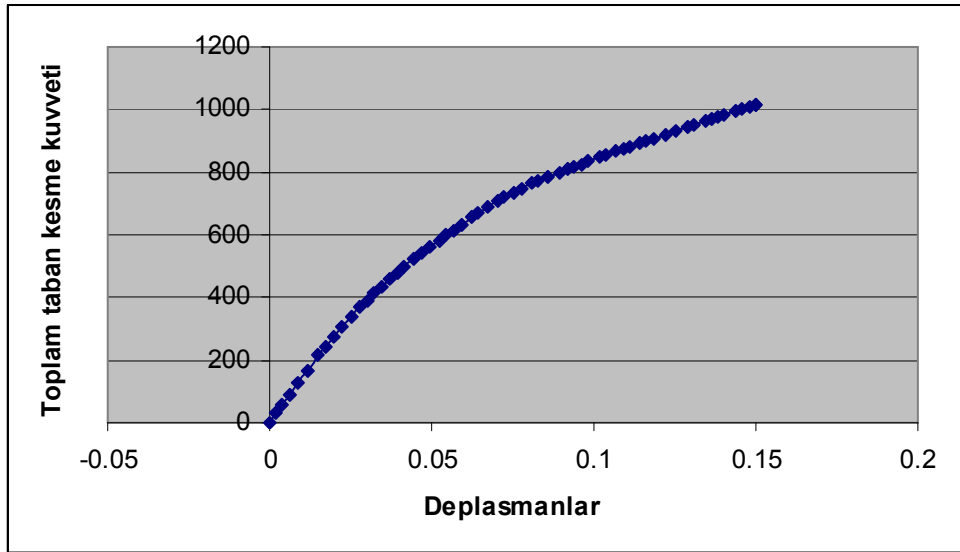
Şekil 6.19– XP Yönü Hakim Mod Yüklemesine Ait Kapasite Eğrisi ve Deprem Talep Yer Değiştirmesi



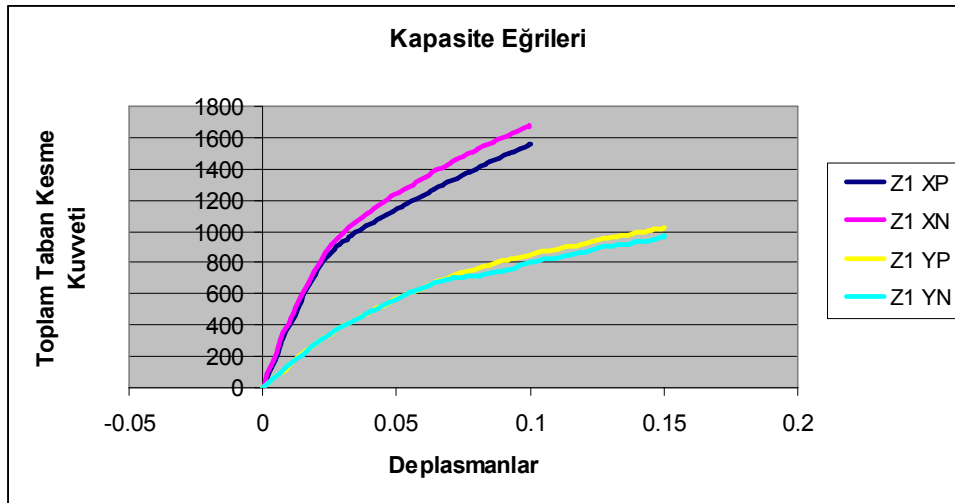
Şekil 6.20 XN Yönü Hakim Mod Yüklemesine Ait Kapasite Eğrisi ve Deprem Talep Yer Değişirmesi



Şekil 6.21 YP Yönü Hakim Mod Yüklemesine Ait Kapasite Eğrisi ve Deprem Talep Yer Değişirmesi



Şekil 6.22 YN Yönü Hakim Mod Yüklemesine Ait Kapasite Eğrisi ve Deprem Talep Yer Değişirmesi



Şekil 6.23 XP, XN, YP, YN Yönleri Hakim Mod Yüklemesine Ait Kapasite Eğrisi ve Deprem Talep Yer Değişirmesi

#### 6.4.7 Yapının Kolon Kiriş Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi

##### 6.4.7.1 Yapının Kiriş Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi

TDY 2007 Bölüm 7.3.1'de kesit hasar sınırları; Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ) olarak, Kesit hasar bölgelerinin ise; sıfır ile MN arasındaki plastik kesit dönmeleri **Minimum Hasar Bölgesi**, MN ile GV

arasında kalan plastik kesit dönmeleri **Belirgin Hasar Bölgesi**, GV ve GÇ arasında kalan plastik kesit dönmeleri **İleri Hasar Bölgesi**, GÇ'yi aşan plastik kesit dönmeleri ise **Göçme Bölgesi** olarak tanımlanmıştır.

Tablo 6.12 Z1-XP Kirişlerin hasar bölgelerine göre oransal dağılımları

		KATLAR			
		ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KATLARDAKİ TOPLAM KİRİŞ SAYISI		81	82	82	82
HASAR SINIRLARI	MINUMUM HASAR	27	32	29	5
	BELİRGİN HASAR	0	0	0	0
	İLERİ HASAR	0	0	0	0
	GÖÇME BÖLGESİ	0	0	0	0
HASAR BÖLGESİNDEKİ TOPLAM KİRİŞ ORANI % MİNİMUM HASAR		0.33	0.39	0.35	0.06

Tablo 6.13 Z1-XN Kirişlerin hasar bölgelerine göre oransal dağılımları

		KATLAR			
		ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KATLARDAKİ TOPLAM KİRİŞ SAYISI		81	82	82	82
HASAR SINIRLARI	MINUMUM HASAR	26	34	28	4
	BELİRGİN HASAR	0	0	0	0
	İLERİ HASAR	0	0	0	0
	GÖÇME BÖLGESİ	0	0	0	0
HASAR BÖLGESİNDEKİ TOPLAM KİRİŞ ORANI % MİNİMUM		0.32	0.41	0.34	0.05

Tablo 6.14 Z1-YP Kirişlerin hasar bölgelerine göre oransal dağılımları

		KATLAR			
		ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KATLARDAKİ TOPLAM					
KİRİŞ SAYISI		81	82	82	82
HASAR SINIRLARI	MINUMUM HASAR	27	17	12	5
	BELİRGİN HASAR	0	0	0	0
	İLERİ HASAR	0	0	0	0
	GÖÇME BÖLGESİ	0	0	0	0
HASAR BÖLGESİNDEKİ TOPLAM KİRİŞ ORANI % MİNİMUM HASAR		0.33	0.21	0.15	0.06

Tablo 6.15 Z1-YN Kirişlerin hasar bölgelerine göre oransal dağılımları

		KATLAR			
		ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KATLARDAKİ TOPLAM					
KİRİŞ SAYISI		81	82	82	82
HASAR SINIRLARI	MINUMUM HASAR	25	15	12	4
	BELİRGİN HASAR	0	0	0	0
	İLERİ HASAR	0	0	0	0
	GÖÇME BÖLGESİ	0	0	0	0
HASAR BÖLGESİNDEKİ TOPLAM KİRİŞ ORANI % MİNİMUM HASAR		0.31	0.18	0.15	0.05

Tablo 6.16 Z2-Z3-Z4-XP Kirişlerin hasar bölgelerine göre oransal dağılımları

		KATLAR			
		ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KATLARDAKİ TOPLAM					
KİRİŞ SAYISI		81	82	82	82
HASAR SINIRLARI	MINUMUM HASAR	31	32	30	6
	BELİRGİN HASAR	0	0	0	0
	İLERİ HASAR	0	0	0	0
	GÖÇME BÖLGESİ	0	0	0	0
HASAR BÖLGESİNDEKİ TOPLAM KİRİŞ ORANI % MİNİMUM HASAR		0.38	0.39	0.37	0.07

Tablo 6.17 Z2-Z3-Z4-XN Kirişlerin hasar bölgelerine göre oransal dağılımları

		KATLAR			
		ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KATLARDAKİ TOPLAM					
KİRİŞ SAYISI		81	82	82	82
HASAR SINIRLARI	MINUMUM HASAR	27	32	29	5
	BELİRGİN HASAR	0	0	0	0
	İLERİ HASAR	0	0	0	0
	GÖÇME BÖLGESİ	0	0	0	0
HASAR BÖLGESİNDEKİ TOPLAM KİRİŞ ORANI % MİNİMUM HASAR		0.33	0.39	0.35	0.06

Tablo 6.18 Z2 -YP Kirişlerin hasar bölgelerine göre oransal dağılımları

		KATLAR			
		ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KATLARDAKİ TOPLAM					
KİRİŞ SAYISI		81	82	82	82
HASAR SINIRLARI	MINUMUM HASAR	33	21	15	11
	BELİRGİN HASAR	2	0	0	0
	İLERİ HASAR	0	0	0	0
	GÖÇME BÖLGESİ	0	0	0	0
HASAR BÖLGESİNDEKİ TOPLAM KİRİŞ ORANI % MİNİMUM HASAR		0.41	0.26	0.18	0.13
HASAR BÖLGESİNDEKİ TOPLAM KİRİŞ ORANI % BELİRGİN HASAR		0.02	0.00	0.00	0.00

Tablo 6.19 Z2 -YN Kirişlerin hasar bölgelerine göre oransal dağılımları

		KATLAR			
		ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KATLARDAKİ TOPLAM					
KİRİŞ SAYISI		81	82	82	82
HASAR SINIRLARI	MINUMUM HASAR	32	21	16	9
	BELİRGİN HASAR	2	0	0	0
	İLERİ HASAR	0	0	0	0
	GÖÇME BÖLGESİ	0	0	0	0
HASAR BÖLGESİNDEKİ TOPLAM KİRİŞ ORANI % MİNİMUM HASAR		0.40	0.26	0.20	0.11
HASAR BÖLGESİNDEKİ TOPLAM KİRİŞ ORANI % BELİRGİN HASAR		0.02	0.00	0.00	0.00

Tablo 6.20 Z3-Z4 –YP Kirişlerin hasar bölgelerine göre oransal dağılımları

		KATLAR			
		ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KATLARDAKİ TOPLAM KİRİŞ SAYISI		81	82	82	82
HASAR SINIRLARI	MINUMUM HASAR	27	20	18	11
	BELİRGİN HASAR	5	2	0	0
	İLERİ HASAR	0	0	0	0
	GÖÇME BÖLGESİ	0	0	0	0
HASAR BÖLGESİNDEKİ TOPLAM KİRİŞ ORANI % MİNİMUM HASAR		0.33	0.24	0.22	0.13
HASAR BÖLGESİNDEKİ TOPLAM KİRİŞ ORANI % BELİRGİN HASAR		0.06	0.02	0.00	0.00

Tablo 6.21 Z3-Z4 -YN Kirişlerin hasar bölgelerine göre oransal dağılımları

		KATLAR			
		ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KATLARDAKİ TOPLAM KİRİŞ SAYISI		81	82	82	82
HASAR SINIRLARI	MINUMUM HASAR	32	17	16	11
	BELİRGİN HASAR	5	2	0	0
	İLERİ HASAR	0	0	0	0
	GÖÇME BÖLGESİ	0	0	0	0
HASAR BÖLGESİNDEKİ TOPLAM KİRİŞ ORANI % MİNİMUM HASAR		0.40	0.21	0.20	0.13
HASAR BÖLGESİNDEKİ TOPLAM KİRİŞ ORANI % BELİRGİN HASAR		0.06	0.02	0.00	0.00



6.4.7.2 Yapının Kolon Taban Kesme Kuvvetleri-Kesme Kuvvet Kapasiteleri

Tablo 6.22 Yapının Z1-XP yönü kolonların taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kapasiteleri

KOLON	KAT	KESME KUVVET KAPASİTESİ	KESME KUVVETİ	KESME KUVVET KAPASİTESİ	KESME KUVVETİ	UYGUNLUK
C1	KAT-3	74.14	0.38	238.39	32.78	YETERLİ
C1	KAT-2	74.14	3.19	238.39	28.26	YETERLİ
C1	KAT-1	74.14	4.49	238.39	13.56	YETERLİ
C1	ZEMİNKAT	74.14	1.86	238.39	6.31	YETERLİ
P1	KAT-3	3062.28	221.89	236.45	8.88	YETERLİ
P1	KAT-2	3062.28	1099.10	236.45	6.50	YETERLİ
P1	KAT-1	3062.28	1749.81	236.45	10.76	YETERLİ
P1	ZEMİNKAT	3062.28	1212.71	236.45	5.20	YETERLİ
C3	KAT-3	74.14	0.20	238.39	2.43	YETERLİ
C3	KAT-2	74.14	3.42	238.39	2.05	YETERLİ
C3	KAT-1	74.14	5.52	238.39	5.56	YETERLİ
C3	ZEMİNKAT	74.14	1.98	238.39	8.50	YETERLİ
C4	KAT-3	148.78	30.61	331.28	110.61	YETERLİ
C4	KAT-2	148.78	26.71	331.28	93.57	YETERLİ
C4	KAT-1	148.78	36.63	331.28	112.61	YETERLİ
C4	ZEMİNKAT	148.78	19.46	331.28	31.47	YETERLİ
C5	KAT-3	148.78	35.10	331.28	93.44	YETERLİ
C5	KAT-2	148.78	30.19	331.28	94.62	YETERLİ
C5	KAT-1	148.78	35.55	331.28	106.26	YETERLİ
C5	ZEMİNKAT	148.78	4.36	331.28	29.11	YETERLİ
C6	KAT-3	148.78	37.39	331.28	97.16	YETERLİ
C6	KAT-2	148.78	32.72	331.28	95.08	YETERLİ
C6	KAT-1	148.78	33.30	331.28	107.79	YETERLİ
C6	ZEMİNKAT	148.78	10.45	331.28	29.60	YETERLİ
C7	KAT-3	148.78	14.01	331.28	94.88	YETERLİ
C7	KAT-2	148.78	20.17	331.28	93.66	YETERLİ
C7	KAT-1	148.78	9.19	331.28	106.42	YETERLİ
C7	ZEMİNKAT	148.78	19.56	331.28	29.34	YETERLİ
C8	KAT-3	148.78	49.41	331.28	94.36	YETERLİ
C8	KAT-2	148.78	41.90	331.28	93.52	YETERLİ
C8	KAT-1	148.78	34.55	331.28	105.94	YETERLİ
C8	ZEMİNKAT	148.78	41.59	331.28	29.18	YETERLİ
C9	KAT-3	148.78	52.28	331.28	92.45	YETERLİ
C9	KAT-2	148.78	44.64	331.28	92.59	YETERLİ
C9	KAT-1	148.78	32.07	331.28	104.60	YETERLİ
C9	ZEMİNKAT	148.78	56.33	331.28	28.79	YETERLİ
C10	KAT-3	111.66	48.70	330.66	53.77	YETERLİ
C10	KAT-2	111.66	41.62	330.66	52.75	YETERLİ
C10	KAT-1	111.66	29.60	330.66	58.81	YETERLİ
C10	ZEMİNKAT	111.66	56.99	330.66	15.60	YETERLİ
C11	KAT-3	148.78	46.26	331.28	60.94	YETERLİ
C11	KAT-2	148.78	49.80	331.28	50.13	YETERLİ
C11	KAT-1	148.78	59.89	331.28	68.78	YETERLİ
C11	ZEMİNKAT	148.78	24.26	331.28	43.58	YETERLİ
C12	KAT-3	148.78	47.25	331.28	102.82	YETERLİ

Tablo 6.22 (devam) Yapının Z1-XP yönü kolonların taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kapasiteleri

KOLON	KAT	KESME KUVVET KAPASİTESİ	KESME KUVVETİ	KESME KUVVET KAPASİTESİ	KESME KUVVETİ	UYGUNLUK
C12	KAT-2	148.78	36.16	331.28	100.37	YETERLİ
C12	KAT-1	148.78	50.43	331.28	117.06	YETERLİ
C12	ZEMİNKAT	148.78	32.59	331.28	36.95	YETERLİ
C13	KAT-3	148.78	81.76	331.28	106.22	YETERLİ
C13	KAT-2	148.78	57.46	331.28	102.07	YETERLİ
C13	KAT-1	148.78	71.03	331.28	117.72	YETERLİ
C13	ZEMİNKAT	148.78	12.49	331.28	36.74	YETERLİ
C14	KAT-3	148.78	83.96	331.28	103.64	YETERLİ
C14	KAT-2	148.78	59.97	331.28	102.75	YETERLİ
C14	KAT-1	148.78	71.37	331.28	116.16	YETERLİ
C14	ZEMİNKAT	148.78	3.47	331.28	36.07	YETERLİ
C15	KAT-3	148.78	83.52	331.28	122.25	YETERLİ
C15	KAT-2	148.78	60.76	331.28	107.36	YETERLİ
C15	KAT-1	148.78	70.28	331.28	128.71	YETERLİ
C15	ZEMİNKAT	148.78	19.33	331.28	40.65	YETERLİ
C16	KAT-3	148.78	77.38	331.28	83.84	YETERLİ
C16	KAT-2	148.78	54.41	331.28	78.76	YETERLİ
C16	KAT-1	148.78	50.05	331.28	99.80	YETERLİ
C16	ZEMİNKAT	148.78	27.92	331.28	34.30	YETERLİ
P2	ZEMİNKAT	2600.59	2500	236.12	28.22	YETERLİ
C18	KAT-3	148.78	98.83	331.28	83.85	YETERLİ
C18	KAT-2	148.78	72.42	331.28	90.18	YETERLİ
C18	KAT-1	148.78	73.25	331.28	102.69	YETERLİ
C18	ZEMİNKAT	148.78	50.79	331.28	32.80	YETERLİ
C19	KAT-3	148.78	105.44	331.28	122.15	YETERLİ
C19	KAT-2	148.78	101.01	331.28	84.60	YETERLİ
C19	KAT-1	148.78	116.48	331.28	79.13	YETERLİ
C19	ZEMİNKAT	148.78	36.48	331.28	66.34	YETERLİ
C20	KAT-3	111.66	62.73	330.66	94.52	YETERLİ
C20	KAT-2	111.66	60.95	330.66	70.48	YETERLİ
C20	KAT-1	111.66	67.42	330.66	69.07	YETERLİ
C20	ZEMİNKAT	111.66	19.78	330.66	67.35	YETERLİ
C21	KAT-3	148.78	50.85	331.28	80.44	YETERLİ
C21	KAT-2	148.78	50.47	331.28	48.06	YETERLİ
C21	KAT-1	148.78	60.95	331.28	50.49	YETERLİ
C21	ZEMİNKAT	148.78	32.27	331.28	73.02	YETERLİ
C22	KAT-3	148.78	38.27	331.28	109.25	YETERLİ
C22	KAT-2	148.78	13.40	331.28	102.96	YETERLİ
C22	KAT-1	148.78	14.18	331.28	120.90	YETERLİ
C22	ZEMİNKAT	148.78	48.35	331.28	45.37	YETERLİ
C23	KAT-3	148.78	60.38	331.28	112.02	YETERLİ
C23	KAT-2	148.78	25.17	331.28	106.37	YETERLİ
C23	KAT-1	148.78	32.67	331.28	123.40	YETERLİ

Tablo 6.22 (devam) Yapının Z1-XP yönü kolonların taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kapasiteleri

KOLON	KAT	KESME KUVVET KAPASİTESİ	KESME KUVVETİ	KESME KUVVET KAPASİTESİ	KESME KUVVETİ	UYGUNLUK
C23	ZEMİNKAT	148.78	36.96	331.28	45.70	YETERLİ
C24	KAT-3	148.78	48.35	331.28	136.31	YETERLİ
C24	KAT-2	148.78	17.42	331.28	109.49	YETERLİ
C24	KAT-1	148.78	29.53	331.28	136.27	YETERLİ
C24	ZEMİNKAT	148.78	20.75	331.28	50.59	YETERLİ
C25	KAT-3	74.14	7.35	238.39	46.09	YETERLİ
C25	KAT-2	74.14	11.86	238.39	33.65	YETERLİ
C25	KAT-1	74.14	10.88	238.39	51.13	YETERLİ
C25	ZEMİNKAT	74.14	3.74	238.39	11.30	YETERLİ
P3	KAT-3	2241.05	890.59	234.13	7.85	YETERLİ
P3	KAT-2	2241.05	1103.83	234.13	4.34	YETERLİ
P3	KAT-1	2241.05	864.72	234.13	8.90	YETERLİ
P3	ZEMİNKAT	2241.05	476.21	234.13	1.87	YETERLİ
C27	KAT-3	148.78	28.17	331.28	65.78	YETERLİ
C27	KAT-2	148.78	3.88	331.28	110.01	YETERLİ
C27	KAT-1	148.78	23.92	331.28	139.05	YETERLİ
C27	ZEMİNKAT	148.78	9.04	331.28	47.71	YETERLİ
C28	KAT-3	148.78	31.12	331.28	124.62	YETERLİ
C28	KAT-2	148.78	3.45	331.28	106.35	YETERLİ
C28	KAT-1	148.78	24.29	331.28	125.12	YETERLİ
C28	ZEMİNKAT	148.78	27.08	331.28	46.03	YETERLİ
C29	KAT-3	148.78	31.96	331.28	99.70	YETERLİ
C29	KAT-2	148.78	0.53	331.28	96.99	YETERLİ
C29	KAT-1	148.78	24.47	331.28	112.47	YETERLİ
C29	ZEMİNKAT	148.78	42.99	331.28	43.06	YETERLİ
C30	KAT-3	74.14	2.59	238.39	20.58	YETERLİ
C30	KAT-2	74.14	5.43	238.39	21.69	YETERLİ
C30	KAT-1	74.14	12.44	238.39	22.92	YETERLİ
C30	ZEMİNKAT	74.14	19.42	238.39	6.98	YETERLİ
P4	KAT-3	2638.54	55.55	235.23	31.46	YETERLİ
P4	KAT-2	2638.54	388.20	235.23	28.56	YETERLİ
P4	KAT-1	2638.54	550.21	235.23	22.82	YETERLİ
P4	ZEMİNKAT	2638.54	544.62	235.23	4.70	YETERLİ
P6	KAT-3	237.02	70.59	3264.69	89.70	YETERLİ
P6	KAT-2	237.02	58.15	3264.69	340.86	YETERLİ
P6	KAT-1	237.02	77.41	3264.69	726.13	YETERLİ
P6	ZEMİNKAT	237.02	33.41	3264.69	1215.79	YETERLİ
C33	KAT-3	74.14	0.65	238.39	45.62	YETERLİ
C33	KAT-2	74.14	2.94	238.39	32.35	YETERLİ
C33	KAT-1	74.14	4.91	238.39	31.37	YETERLİ
C33	ZEMİNKAT	74.14	4.06	238.39	23.55	YETERLİ
P5	KAT-3	3062.28	316.13	236.45	10.74	YETERLİ
P5	KAT-2	3062.28	1009.70	236.45	4.40	YETERLİ

Tablo 6.22 (devam) Yapının Z1-XP yönü kolonların taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kapasiteleri

KOLON	KAT	KESME KUVVET KAPASİTESİ	KESME KUVVETİ	KESME KUVVET KAPASİTESİ	KESME KUVVETİ	UYGUNLUK
P5	KAT-1	3062.28	1824.06	236.45	7.57	YETERLİ
P5	ZEMİNKAT	3062.28	1794.50	236.45	10.18	YETERLİ
C35	KAT-3	74.14	0.46	238.39	3.78	YETERLİ
C35	KAT-2	74.14	3.20	238.39	8.54	YETERLİ
C35	KAT-1	74.14	5.62	238.39	4.74	YETERLİ
C35	ZEMİNKAT	74.14	4.20	238.39	10.29	YETERLİ
C36	KAT-3	148.78	20.07	331.28	123.86	YETERLİ
C36	KAT-2	148.78	3.58	331.28	99.38	YETERLİ
C36	KAT-1	148.78	2.14	331.28	121.08	YETERLİ
C36	ZEMİNKAT	148.78	29.22	331.28	50.97	YETERLİ
C37	KAT-3	148.78	9.82	331.28	118.27	YETERLİ
C37	KAT-2	148.78	2.85	331.28	100.20	YETERLİ
C37	KAT-1	148.78	1.60	331.28	122.46	YETERLİ
C37	ZEMİNKAT	148.78	12.81	331.28	51.93	YETERLİ
C38	KAT-3	148.78	89.98	331.28	103.94	YETERLİ
C38	KAT-2	148.78	60.66	331.28	91.73	YETERLİ
C38	KAT-1	148.78	82.92	331.28	109.62	YETERLİ
C38	ZEMİNKAT	148.78	24.55	331.28	48.03	YETERLİ
C39	KAT-3	148.78	26.51	331.28	112.77	YETERLİ
C39	KAT-2	148.78	4.97	331.28	99.63	YETERLİ
C39	KAT-1	148.78	17.10	331.28	119.18	YETERLİ
C39	ZEMİNKAT	148.78	14.05	331.28	50.66	YETERLİ
C40	KAT-3	148.78	6.59	331.28	114.87	YETERLİ
C40	KAT-2	148.78	8.43	331.28	99.82	YETERLİ
C40	KAT-1	148.78	7.02	331.28	119.27	YETERLİ
C40	ZEMİNKAT	148.78	31.53	331.28	50.71	YETERLİ
C41	KAT-3	148.78	1.67	331.28	118.49	YETERLİ
C41	KAT-2	148.78	14.26	331.28	98.29	YETERLİ
C41	KAT-1	148.78	5.85	331.28	122.75	YETERLİ
C41	ZEMİNKAT	148.78	46.90	331.28	52.45	YETERLİ
C42	KAT-3	74.14	0.25	238.39	25.26	YETERLİ
C42	KAT-2	74.14	8.36	238.39	24.43	YETERLİ
C42	KAT-1	74.14	14.60	238.39	26.20	YETERLİ
C42	ZEMİNKAT	74.14	9.52	238.39	7.60	YETERLİ

Yapının Z1 zemin türüne göre kolon taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvvet kapasiteleri tablo 6.22'de verilmiştir. Yapı kesme kuvvet kapasitesi Z1, Z2, Z3, Z4 zemin türleri için yeterlidir.

#### 6.4.7.3 Yapının Kat Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Kolonların kesme kuvvetleri değerlendirilerek binanın deprem performansı kolonlar açısından belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 6.23’de verilmiştir.

Tablo 6.23 Yapının Kat Kesme Kuvvetleri

	GRUP	KATLAR			
		ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
TOPLAM KAT KESME KUVVETLERİ	Z1-XP	9197.26	8307.6	6410.42	3374.69
	Z1-XN	9570.45	8644.69	6670.53	3511.62
	Z1-YP	5160.14	4429.89	3249.62	1628.1
	Z1-YN	5124.87	4399.61	3227.41	1616.97
	Z2-3-4-XP	9466.75	8551.02	6598.25	3473.57
	Z2-3-4-XN	9919.78	8960.23	6914.02	3639.8
	Z2-YP	5962.61	5118.8	3754.98	1881.29
	Z2YN	6018.84	5167.07	3790.39	1899.03
	Z3-Z4-YP	6710.46	5760.81	4225.95	2117.25
	Z3-Z4-YN	6736.44	5783.11	4242.31	2125.45

Yapıda tüm zemin sınıflarındaki kolonlar minimum hasar sınırında bulunmaktadır. Bu durumda kolonların minimum hasar bölgesine göre toplam kesme kuvveti oranı % 100 dür.

#### 6.4.7.4 Yapının İki Ucu Mafsallaşan Kolonlarının Kat Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Yapıda iki ucu mafsallaşan kolonlarının toplam kesme kuvvetleri değerlendirilerek binanın deprem performansı, iki ucu mafsallaşan kolonlar açısından belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 6.24,, Tablo 6.33’de verilmiştir.

Tablo 6.24 Yapı Z1-XP Yönünde İki Ucu Mafsallaşan Kolonların Sayıları ve Toplam Kesme Kuvveti Oranları

	KATLAR			
	ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KOLON SAYILARI	5	3	1	
KOLON İNDİSLERİ	C1-33-42-25-16	C1-33-25	C25	
KESME KUVVETİ	47.1	20.28	11.86	
TOPLAM KESME K.	9197.26	8307.6	6410.42	3374.69
(%)	0.512109041	0.24411382	0.185011	0

Tablo 6.25 Yapı Z1-XN Yönünde İki Ucu Mafsallaşan Kolonların Sayıları ve Toplam Kesme Kuvveti Oranları

	KATLAR			
	ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KOLON SAYILARI	4	3		
KOLON İNDİSLERİ	C35-30-18-3	C35-27-3		
KESME KUVVETİ	43.21	83.72		
TOPLAM KESME K.	9570.45	8644.69	6670.53	3511.62
(%)	0.451493921	0.96845578	0	0

Tablo 6.26 Yapı Z1-YP Yönünde İki Ucu Mafsallaşan Kolonların Sayıları ve Toplam Kesme Kuvveti Oranları

	KATLAR			
	ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KOLON SAYILARI	4	2	1	1
KOLON İNDİSLERİ	C33-25-30-3	C33-25	C25	C25
KESME KUVVETİ	64.73	212	113.53	110.23
TOPLAM KESME K.	5160.14	4429.89	3249.62	1628.1
(%)	1.25442333	4.78567188	3.493639	6.770469

Tablo 6.27 Yapı Z1-YN Yönünde İki Ucu Mafsallaşan Kolonların Sayıları ve Toplam Kesme Kuvveti Oranları

	KATLAR			
	ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KOLON SAYILARI	3	1		
KOLON İNDİSLERİ	C1-35-42	C1		
KESME KUVVETİ	24.05	78.72		
TOPLAM KESME K.	5124.87	4399.61	3227.41	1616.97
(%)	0.469280196	1.7892495	0	0

Tablo 6.28 Yapı Z2-Z3-Z4-XP Yönünde İki Ucu Mafsallaşan Kolonların Sayıları ve Toplam Kesme Kuvveti Oranları

	KATLAR			
	ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KOLON SAYILARI	5	3	1	
KOLON İNDİSLERİ	C33-42-25-16-1	C33-25-1	C25	
KESME KUVVETİ	52.66	20.92	12.24	
TOPLAM KESME K.	9466.75	8551.02	6598.25	3473.57
(%)	0.556262709	0.24464918	0.185504	0

Tablo 6.29 Yapı Z2-Z3-Z4-XN Yönünde İki Ucu Mafsallaşan Kolonların Sayıları ve Toplam Kesme Kuvveti Oranları

	KATLAR			
	ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KOLON SAYILARI	4	3		
KOLON İNDİSLERİ	C3-35-27-30-18	C3-35-27		
KESME KUVVETİ	97.08	105.36		
TOPLAM KESME K.	9919.78	8960.23	6914.02	3639.8
(%)	0.978650736	1.17586267	0	0

Tablo 6.30 Yapı Z2- YP Yönünde İki Ucu Mafsallaşan Kolonların Sayıları ve Toplam Kesme Kuvveti Oranları

	KATLAR			
	ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KOLON SAYILARI	4	3	1	1
KOLON İNDİSLERİ	C25-3-33-30	C25-3-33	C25	C25
KESME KUVVETİ	66.93	286.07	124.47	119.02
TOPLAM KESME K.	5962.61	5118.8	3754.98	1881.29
(%)	1.122495015	5.58861452	3.314798	6.32651

Tablo 6.31 Yapı Z2-YN Yönünde İki Ucu Mafsallaşan Kolonların Sayıları ve Toplam Kesme Kuvveti Oranları

	KATLAR			
	ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KOLON SAYILARI	3	1		
KOLON İNDİSLERİ	C1-42-35	C1		
KESME KUVVETİ	41.85	78.3		
TOPLAM KESME K.	6018.84	5167.07	3790.39	1899.03
(%)	0.695316706	1.51536557	0	0

Tablo 6.32 Yapı Z3-Z4-YP Yönünde İki Ucu Mafsallaşan Kolonların Sayıları ve Toplam Kesme Kuvveti Oranları

	KATLAR			
	ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KOLON SAYILARI	4	3	1	1
KOLON İNDİSLERİ	C33-25-30-3	C33-25-3	C25	C25
KESME KUVVETİ	92.43	295.13	135.23	128.61
TOPLAM KESME K.	6710.46	5760.81	4225.95	2117.25
(%)	1.377401847	5.12306429	3.199991	6.074389



Tablo 6.33 Yapı Z3-Z4-YN Yönünde İki Ucu Mafsallaşan Kolonların Sayıları ve Toplam Kesme Kuvveti Oranları

	KATLAR			
	ZEMİN KAT	1.KAT	2.KAT	3.KAT
KOLON SAYILARI	4	3		
KOLON İNDİSLERİ	C1-35-42-16	C1-35-42		
KESME KUVVETİ	225.83	176		
TOPLAM KESME K.	6736.44	5783.11	4242.31	2125.45
(%)	3.352364157	3.04334519	0	0

#### 6.4.8 Yapının Deprem Performans Düzeyinin Belirlenmesi

Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar 2007 Deprem Yönetmeliği Bölüm 7'ye göre değerlendirilerek binanın mevcut durumu ile performans seviyesi belirlenmiştir.

Deprem Yönetmeliği (2007) Bölüm 7, Tablo 7.7'de Kullanım Amacı ve Türü bakımından "Diğer Binalar (oteller)" sınıfına girdiğinden, bu tür binaların deprem performansının analiz ve değerlendirilmesinde geçerli olan; 50 yılda % 10 aşılma olasılığı olan depremler için kabul edilen "**CG – Can Güvenliği Hedef Performans Düzeyi**" dikkate alınmıştır.

Deprem Yönetmeliğine göre; Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların **Can Güvenliği Performans Düzeyi**'nde olduğu kabul edilir:

- (a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadar *İleri Hasar Bölgesi*'ne geçebilir.
- (b) *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta *İleri*

*Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

- (c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar Bölgesi* veya *Belirgin Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *Minimum Hasar Sınırı* aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

Buna göre yapının her katındaki kirişlerin, kolonların ve iki ucu mafsallaşan kolonların Deprem Yönetmeliğine göre performans seviyeleri belirlenmiştir.

- Yapının her hangi bir katına uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin belirgin hasar bölgesine geçme oranı %10' un altında olduğu için HEMEN KULLANIM DURUMU' ndadır.
- Kolonların tümünün minimum hasar bölgesinde olmasından dolayı HEMEN KULLANIM DURUMU' ndadır.
- Herhangi bir katta alt ve üst kesitlerin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranının %30'u aşmamasından dolayı CAN GÜVENLİĞİ DURUMU' ndadır.

## BÖLÜM YEDİ

### SONUÇLAR

Bu çalışmada öncelikle TDY 2007' de yer alan yapısal düzensizliklerin, oluşturulan sanal bir binada farklı zemin türlerinde taban burulma momentine etkisi incelenmiş, daha sonrada güçlendirme projesi yapılmış ve uygulanmış olan bir binanın farklı zemin türlerine göre performansı incelenmiştir.

Yapısal düzensizlikler (burulma düzensizliği, döşeme süreksizlikleri, planda çıkıntılar bulunması, komşu katlar arası dayanım düzensizliği, komşu katlar arası rijitlik düzensizliği, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği) dikkate alınarak, farklı zemin sınıfları için yapının taban burulma momenti değerleri hesaplanmış, sonuçları tablolar halinde sunulmuştur. Bu hesaplamalarda 1999 yılında meydana gelen Düzce Depreminin dört farklı kaydı binaya uygulanmıştır.

Yapılan inceleme ve hesaplamalar sonrasında yapısal düzensizliklerin olması durumunda taban burulma momenti değeri Z1 zemin sınıfından Z4 zemin sınıfına doğru artmakta olduğu görülmüştür.

2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde belirtilmiş olan deprem spectrumları ile 1999 yılında meydana gelen Düzce Depremi kayıtları kullanılarak oluşturulan deprem spectrumları bina toplam taban kesme kuvvetlerinde yakın sonuçlar vermiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, güçlendirme projesi yapılmış dört katlı betonarme yapı doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinden elde edilen yapı kapasite eğrilerini esas alan, Deplasman Katsayıları Yöntemi ile yapının Z1/Z2/Z3 ve Z4 zemin sınıfları üzerinde yapıldığı varsayılarak performansı belirlenmiş, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Binada artımsal itme analizi yapılmış, yatay yer değiştirmeler, oluşturulan özel elastik tasarım ivme spektrumu kullanılarak hesaplanmış, bina yatay yer değiştirme talebine ulaştığı anda Z1, Z2, Z3, Z4 zemin türleri dikkate alınarak kirişlerin hangi

hasar bölgelerinde olduğu belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar sayısal olarak Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1 Yapının Z1-Z2-Z3-Z4 zemin türlerine göre kirişlerdeki hasar miktarları

Hasar Durumu	Yönler	Z1	Z2	Z3	Z4
Minimum Hasar	XP	93	99	99	99
	XN	92	93	93	93
	YP	61	80	76	76
	YN	56	78	76	76
Belirgin Hasar	XP	0	0	0	0
	XN	0	0	0	0
	YP	0	2	7	7
	YN	0	2	7	7

Binanın yer değiştirme talebine ulaştığı anda kolonların plastik kesit dönmelerinin hasar bölgelerinin hangisinde olduğu belirlenmiş, bu anda her bir kolondaki kesme kuvveti değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlarda tüm zemin türlerinde kolon kesme kuvvet kapasitelerinin oluşan kesme kuvvetini karşıladığı görülmüştür.

Yapıdaki iki ucu mafsallaşan kolonlarının toplam kesme kuvvetleri değerlendirilerek binanın deprem performansı, iki ucu mafsallaşan kolonlar açısından belirlenmiş ve zemin türlerine göre çıkan farklar Tablo 7.2 ’de verilmiştir.

Tablo 7.2 Yapı Z1,Z2,Z3,Z4 zemin türlerine göre iki ucu mafsallaşan kolonların Sayıları

Yönler	Z1	Z2	Z3	Z4
XP	9	9	9	9
XN	7	7	7	7
YP	8	9	9	9
YN	4	4	7	7

Yapının toplam kesme kuvvetleri Z1/Z2/Z3/Z4 zemin türleri ve her bir kat için Tablo 7.3’ de verilmiştir.

Tablo 7.3 Yapı Z1, Z2, Z3, Z4 zemin türlerine göre toplam kesme kuvveti

Katlar	Yönler	Z1	Z2	Z3	Z4
Zemin Kat	XP	9197.26	9466.75	9466.75	9466.75
	XN	9570.45	9919.78	9919.78	9919.78
	YP	5160.14	5962.61	6710.46	6710.46
	YN	5124.87	6018.84	6736.44	6736.44
1.Kat	XP	8307.6	8551.02	8551.02	8551.02
	XN	8644.69	8960.23	8960.23	8960.23
	YP	4429.89	5118.8	5760.81	5760.81
	YN	4399.61	5167.07	5783.11	5783.11
2.Kat	XP	6410.42	6598.25	6598.25	6598.25
	XN	6670.53	6914.02	6914.02	6914.02
	YP	3249.62	3754.98	4225.95	4225.95
	YN	3227.41	3790.39	4242.31	4242.31
3.Kat	XP	3374.69	3473.57	3473.57	3473.57
	XN	3511.62	3639.8	3639.8	3639.8
	YP	1628.1	1881.29	2117.25	2117.25
	YN	1616.97	1899.03	2125.45	2125.45

Yapılan analiz ve hesaplar sonucu; **4 katlı binanın mevcut durumuyla, yönetmelikte sağlaması gereken “CG–Can Güvenliği Hedef Performans Düzeyi” için tanımlanan şartları sağladığı belirlenmiştir. Bu durumda yapıya uygulanan güçlendirme projesi uygundur.**

**Güçlendirme projesi 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine göre yapılan bu binanın zemin türünün Z1-Z2-Z3-Z4 olması performans seviyesini değiştirmemiştir.**

## KAYNAKLAR

- Applied Technology Council. (1996). *ATC 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (V.1)*. Washington DC.
- Atımtay, E. (2000). *Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Betonarme Yapılar)*. Cilt 1-2. Ankara, Bizim Büro Basımevi.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını.
- Çakıroğlu A. ve Özer E. (1980). *Malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan sistemler*. Ankara: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- Ersoy, U., Özcebe, G. (2001). *Betonarme*. Evrim Yayınevi, İstanbul.
- ETABS Nonlinear Version 8.4.8 *Integrated Building Design of Structures Basic Analysis Reference Manual*. Computer and Structures Inc. Berkeley, California.
- European Standard Norm. (2004). *Eurocode 8 Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings*.
- Fajfar P. (2000). *A nonlinear analysis method for performance based seismic design*. Earthquake Spectra, Vol.16., No.3, 573-592.
- Federal Emergency Management Agency. (1997). *FEMA 273 NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington DC.
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *FEMA 356 Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington DC.

Federal Emergency Management Agency. (2004). *FEMA 440 Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. Washington DC.

Genç, M. (2007). *Farklı yapısal özelliklere sahip betonarme yapıların çeşitli çözüm yöntemleriyle performansa dayalı analizi*, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

İrtem E. ve Türker K. (2002). *Yapıların deprem yükleri altındaki lineer olmayan davranışının belirlenmesinde kullanılan statik yöntemlerin karşılaştırılması*. Balıkesir Üniversitesi IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, 425-436.

İrtem E., Türker K. ve Hasgöl U. (2004). *Türk deprem yönetmeliğinin performans hedeflerinin lineer olmayan statik analiz yöntemleri ile değerlendirilmesi*.

Jan T.S., Liu M.W. ve Kao Y.C. (2004). *An upper-bound pushover analysis procedure for estimating the seismic demands of high-rise buildings*. Engineering Structures, Vol.26, 117-128.

Karaziyan, S. (2006). *Betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

Kilar V. ve Fajfar P. (1997). *Simple push-over analysis of asymmetric buildings*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.26, 233-249.

Lawson R. S. , Vance V. ve Karwinkler H. (1994). *Nonlinear static push-over analysis-why, when, and how?*. Proceeding 5th US National Conference on Earthquake Engineering, Vol I., 283-292.

Özer E. (2004). *Yapı sistemlerinin lineer olmayan analizi ders notları*. 8 Şubat 2006, <http://www.ins.itu.edu.tr/eozer>

Özmen, G. (2001). *Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliği*. Türkiye Deprem Vakfı, TDV/TR 036-61.

Türk Standartları. (2000). *TS500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü.

Uçar, T. (2005). *Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizinde Çözüm Yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir



**EKLER**

## XTRACT Analysis Report - Educational

Imbsen & Associates, Inc. (Educa  
 sad  
 07.01.2004  
 m-k  
 tez  
 Page \_\_ of \_\_

Section Name: Section1  
 Loading Name: pmz0  
 Analysis Type: PM Interaction

### Section Details:

X Centroid: 1236E-15 cm  
 Y Centroid: 5050E-14 cm  
 Section Area: 4275 cm<sup>2</sup>

### Loading Details:

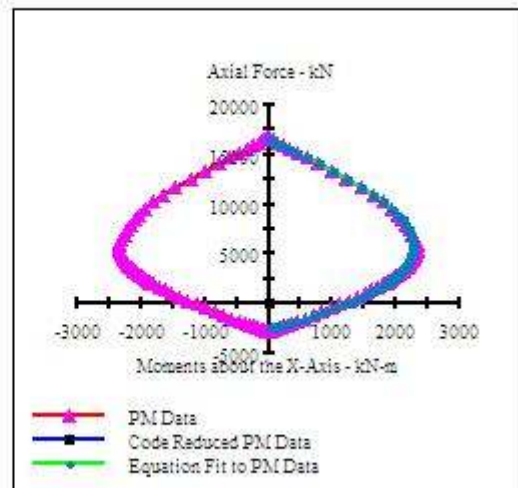
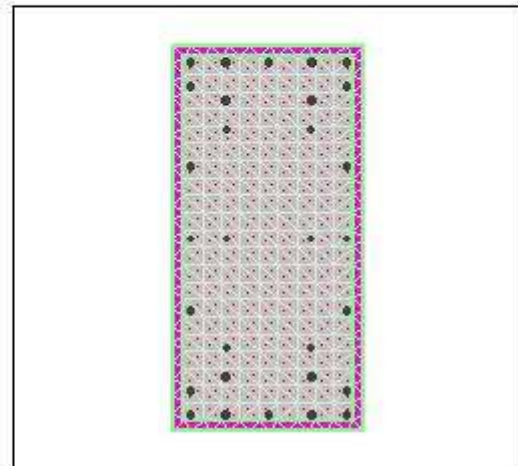
Angle of Loading: 0 deg  
 Number of Points: 200  
 Min.  $\epsilon_{30}$  Strain: 5.000E-3 Comp  
 Max.  $\epsilon_{30}$  Strain: 1.0000 Ten  
 Min. Confined  $\epsilon_{30}$  Strain: 5.420E-3 Comp  
 Max. Confined  $\epsilon_{30}$  Strain: 1.0000 Ten  
 Min.  $\epsilon_{420}$  Strain: 5.000E-3 Comp  
 Max.  $\epsilon_{420}$  Strain: 5.000E-3 Ten

### Analysis Results:

Max. Compression Load: 16.81E+5 kN  
 Max. Tension Load: -2869 kN  
 Maximum Moment: 2358 kN-m  
 F at Max. Moment: 5523 kN  
 Minimum Moment: -2338 kN-m  
 F at Min. Moment: 5523 kN  
 Moment (Max.) at F=0: 1148 kN-m  
 Max. Code Comp. Load: 0 kN  
 Max. Code Ten. Load: 0 kN  
 Maximum Code Moment: 0 kN-m  
 F at Max. Code Moment: 0 kN  
 Minimum Code Moment: 0 kN-m  
 F at Min. Code Moment: 0 kN  
 PM Interaction Equation: Units in kN-m

### Comments:

User Comments



$$309) = 1232 + 693*(P/P_y) + -0.54E-3*(P/P_y)^2 + 3126*(P/P_y)^3$$

## XTRACT Analysis Report - Educational

Imbsen & Associates, Inc. (Education)  
 sad  
 07.01.2004  
 m-k  
 tsz  
 Page \_\_ of \_\_

Section Name: Section2  
 Loading Name: pxm0  
 Analysis Type: PM Interaction

### Section Details:

X Centroid: 2204E-15 cm  
 Y Centroid: 4718E-14 cm  
 Section Area: 4275 cm<sup>2</sup>

### Loading Details:

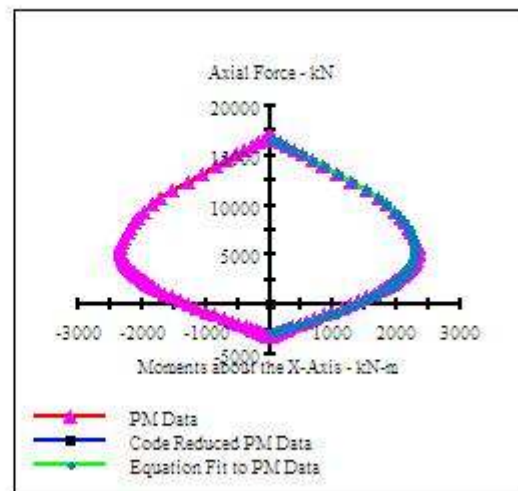
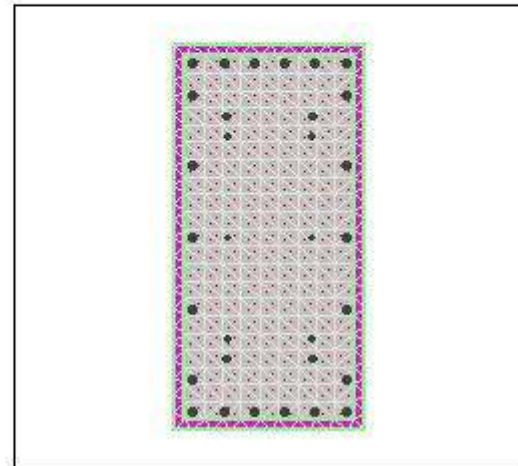
Angle of Loading: 0 deg  
 Number of Points: 200  
 Min. c30 Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max. c30 Strain: 1.0000 Ten  
 Min. s420 Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max. s420 Strain: 3.000E-3 Ten  
 Min. Confined2c30 Strain: 3.330E-3 Comp  
 Max. Confined2c30 Strain: 1.0000 Ten

### Analysis Results:

Max. Compression Load: 16.99E+3 kN  
 Max. Tension Load: -3167 kN  
 Maximum Moment: 2343 kN-m  
 P at Max. Moment: 5625 kN  
 Minimum Moment: -2343 kN-m  
 P at Min. Moment: 5625 kN  
 Moment (Max) at P=0: 1211 kN-m  
 Max. Code Comp. Load: 0 kN  
 Max. Code Ten. Load: 0 kN  
 Maximum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Max. Code Moment: 0 kN  
 Minimum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Min. Code Moment: 0 kN  
 PM Interaction Equation: Units in kN-m

### Comments:

User Comments



$$M(P) = 1217 + 6064*(P/P_u) - 10.73E+3*(P/P_u)^2 + 3260*(P/P_u)^3$$

## XTRACT Analysis Report - Educational

Imbsen & Associates, Inc. (Education)  
 sad  
 07.01.2004  
 m-k  
 ter  
 Page \_\_ of \_\_

Section Name: Section3  
 Loading Name: pmm0  
 Analysis Type: PM Interaction

### Section Details:

X Centroid: .2189E-15 cm  
 Y Centroid: .4686E-14 cm  
 Section Area: 4275 cm<sup>2</sup>

### Loading Details:

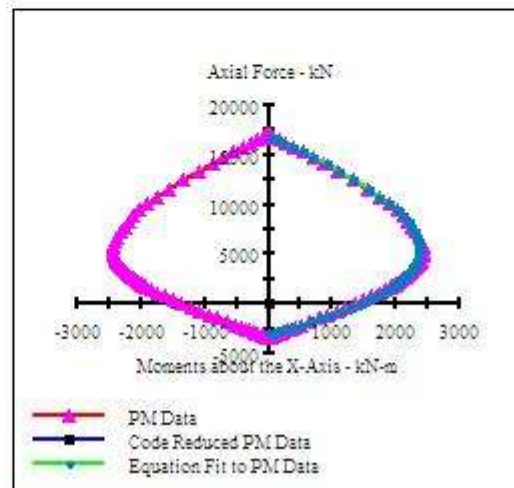
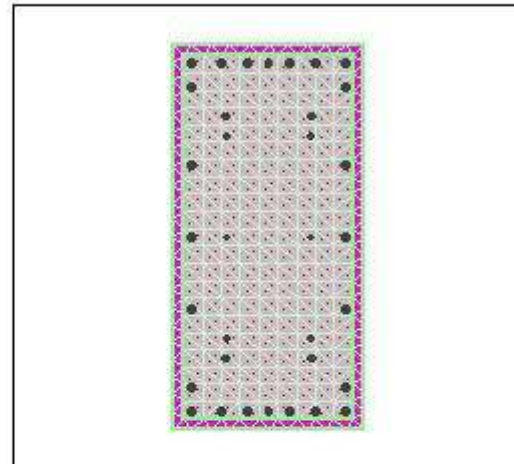
Angle of Loading: 0 deg  
 Number of Points: 200  
 Min.  $\epsilon_{30}$  Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max.  $\epsilon_{30}$  Strain: 1.0000 Ten  
 Min.  $\epsilon_{420}$  Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max.  $\epsilon_{420}$  Strain: 3.000E-3 Ten  
 Min. Confined $\epsilon_{30}$  Strain: 3.330E-3 Comp  
 Max. Confined $\epsilon_{30}$  Strain: 1.0000 Ten

### Analysis Results:

Max. Compression Load: 17.19E+3 kN  
 Max. Tension Load: -3381 kN  
 Maximum Moment: 2446 kN-m  
 P at Max. Moment: 5602 kN  
 Minimum Moment: -2446 kN-m  
 P at Min. Moment: 5602 kN  
 Moment (Max) at P=0: 1347 kN-m  
 Max. Code Comp. Load: 0 kN  
 Max. Code Ten. Load: 0 kN  
 Maximum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Max. Code Moment: 0 kN  
 Minimum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Min. Code Moment: 0 kN  
 PM Interaction Equation: Units in kN-m

### Comments:

User Comments



$$.367) - 1442 + 6084*(P/P_u) - 11.00E+3*(P/P_u)^2 + 3338*(P/P_u)^3$$

## XTRACT Analysis Report - Educational

Imbsen & Associates, Inc. (Education)  
 sad  
 07.01.2004  
 m-k  
 fer  
 Page \_\_ of \_\_

Section Name: Section4  
 Loading Name: pmm0  
 Analysis Type: PM Interaction

### Section Details:

X Centroid: -50.80E-3 cm  
 Y Centroid: 3866E-14 cm  
 Section Area: 3325 cm<sup>2</sup>

### Loading Details:

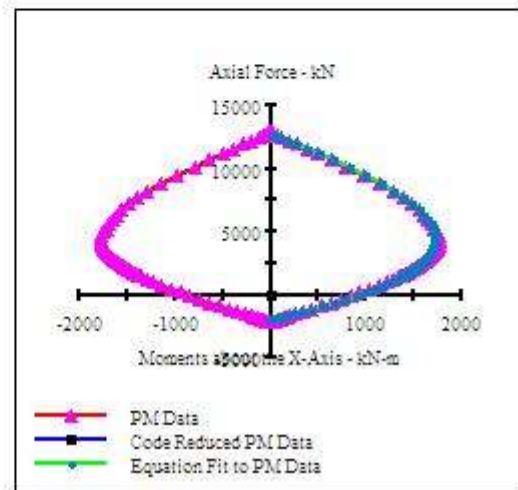
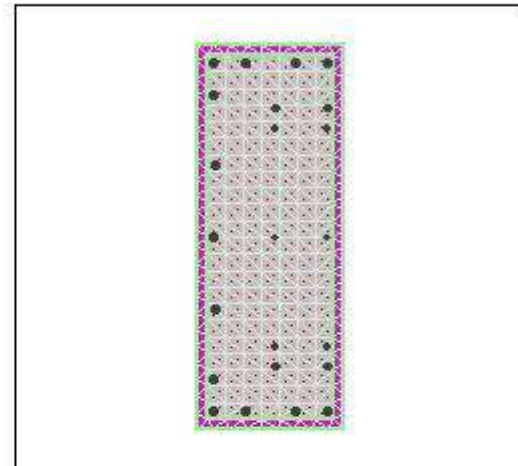
Angle of Loading: 0 deg  
 Number of Points: 200  
 Min.  $\epsilon_{30}$  Strain: 8.000E-3 Comp  
 Max.  $\epsilon_{30}$  Strain: 1.0000 Ten  
 Min.  $\epsilon_{420}$  Strain: 8.000E-3 Comp  
 Max.  $\epsilon_{420}$  Strain: 8.000E-3 Ten  
 Min. Confined $\epsilon_{420}$  Strain: 3.407E-3 Comp  
 Max. Confined $\epsilon_{420}$  Strain: 1.0000 Ten

### Analysis Results:

Max. Compression Load: 12.96E+3 kN  
 Max. Tension Load: -2205 kN  
 Maximum Moment: 1769 kN-m  
 P at Max. Moment: 4147 kN  
 Minimum Moment: -1769 kN-m  
 P at Min. Moment: 4147 kN  
 Moment (Max) at P=0: 874.4 kN-m  
 Max. Code Comp. Load: 0 kN  
 Max. Code Ten. Load: 0 kN  
 Maximum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Max. Code Moment: 0 kN  
 Minimum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Min. Code Moment: 0 kN  
 PM Interaction Equation: Units in kN-m

### Comments:

User Comments



$$M(P) = 874.4 + 4878 \cdot (P/P_u) - 8442 \cdot (P/P_u)^2 + 2554 \cdot (P/P_u)^3$$

## XTRACT Analysis Report - Educational

Imbsen & Associates, Inc. (Education)  
 sad  
 07.01.2004  
 m-k  
 taz  
 Page \_\_ of \_\_

Section Name: SectionSkolonc30  
 Loading Name: pmn0  
 Analysis Type: PM Interaction

### Section Details:

X Centroid: .7905E-15 cm  
 Y Centroid: -.5184E-14 cm  
 Section Area: 1750 cm<sup>2</sup>

### Loading Details:

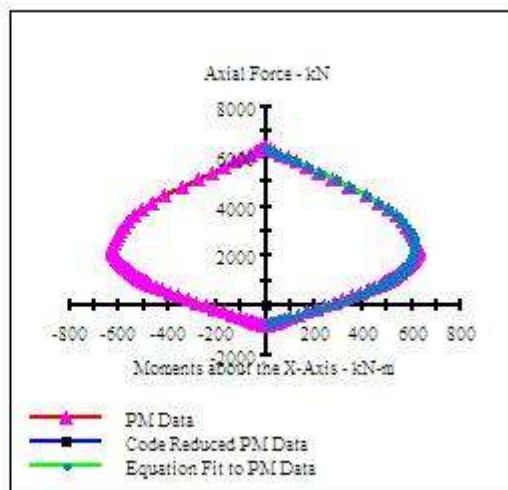
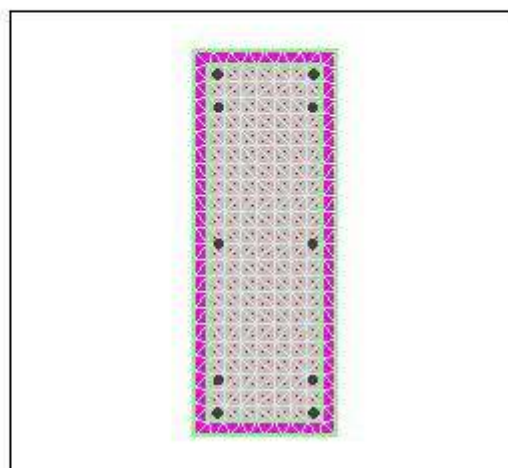
Angle of Loading: 0 deg  
 Number of Points: 200  
 Min.  $\epsilon_{30}$  Strain: 5.000E-3 Comp  
 Max.  $\epsilon_{30}$  Strain: 1.0000 Ten  
 Min.  $\epsilon_{420}$  Strain: 5.000E-3 Comp  
 Max.  $\epsilon_{420}$  Strain: 5.000E-3 Ten  
 Min. ConfinedSkolonc30 Strai: 3.347E-3 Comp  
 Max. ConfinedSkolonc30 Strai: 1.0000 Ten

### Analysis Results:

Max. Compression Load: 6416 kN  
 Max. Tension Load: -615.4 kN  
 Maximum Moment: 630.3 kN-m  
 P at Max. Moment: 2272 kN  
 Minimum Moment: -630.3 kN-m  
 P at Min. Moment: 2272 kN  
 Moment (Max) at P=0: 246.5 kN-m  
 Max. Code Comp. Load: 0 kN  
 Max. Code Ten. Load: 0 kN  
 Maximum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Max. Code Moment: 0 kN  
 Minimum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Min. Code Moment: 0 kN  
 PM Interaction Equation: Units in kN-m

### Comments:

User Comments



$$M(P) = 263.5 + 2036*(P/P_u) - 3315*(P/P_u)^2 + 491.5*(P/P_u)^3$$



## XTRACT Analysis Report - Educational

Impsen & Associates, Inc. (Education)  
 sad  
 07.01.2004  
 m-k  
 taz  
 Page \_\_ of \_\_

Section Name: Section1.pcrde  
 Loading Name: pmm0  
 Analysis Type: PM Interaction

### Section Details:

X Centroid: -29.02E-3 cm  
 Y Centroid: 1.005E-3 cm  
 Section Area: 8875 cm<sup>2</sup>

### Loading Details:

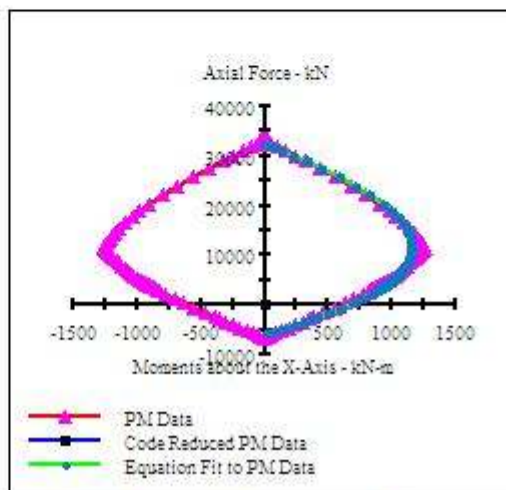
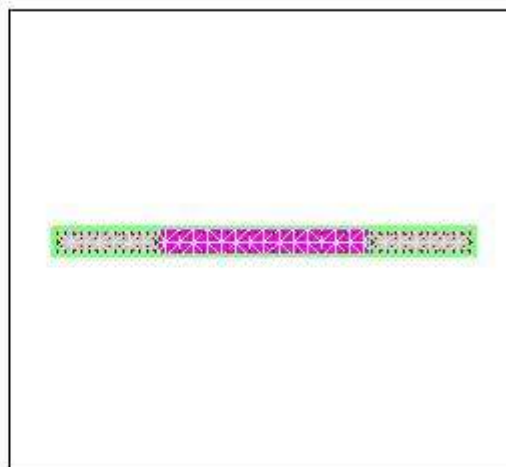
Angle of Loading: 0 deg  
 Number of Points: 200  
 Min.  $\epsilon_{30}$  Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max.  $\epsilon_{30}$  Strain: 1.0000 Ten  
 Min.  $\epsilon_{420}$  Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max.  $\epsilon_{420}$  Strain: 3.000E-3 Ten  
 Min. Confined $\epsilon_{perde1c30}$  Strain: 3.437E-3 Comp  
 Max. Confined $\epsilon_{perde1c30}$  Strain: 1.0000 Ten

### Analysis Results:

Max. Compression Load: 33.47E+3 kN  
 Max. Tension Load: -6746 kN  
 Maximum Moment: 1270 kN-m  
 P at Max. Moment: 11.54E+3 kN  
 Minimum Moment: -1270 kN-m  
 P at Min. Moment: 11.54E+3 kN  
 Moment (Max) at P=0: 599.9 kN-m  
 Max. Code Comp. Load: 0 kN  
 Max. Code Ten. Load: 0 kN  
 Maximum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Max. Code Moment: 0 kN  
 Minimum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Min. Code Moment: 0 kN  
 PM Interaction Equation: Units in kN-m

### Comments:

User Comments



$$33(7) - 463.6 - 1922*(P/P_u) - 4677*(P/P_u)^2 - 1032*(P/P_u)^3$$

## XTRACT Analysis Report - Educational

Imbsen & Associates, Inc. (Education)  
 sad  
 07.01.2004  
 m-k  
 1st  
 Page \_\_ of \_\_

Section Name: Sectionperde1c30  
 Loading Name: pmz0  
 Analysis Type: PM Interaction

### Section Details:

X Centroid: -14.45E-3 cm  
 Y Centroid: 1.032E-3 cm  
 Section Area: 8875 cm<sup>2</sup>

### Loading Details:

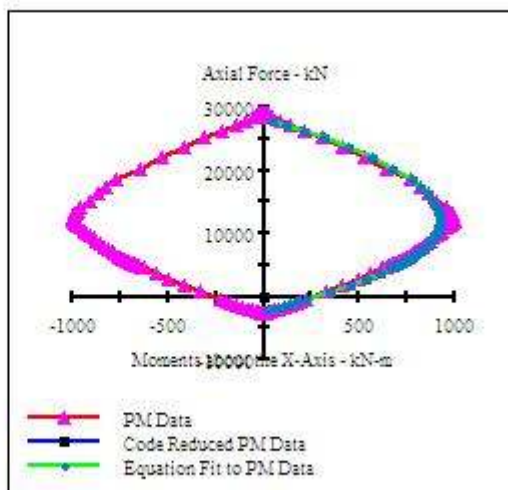
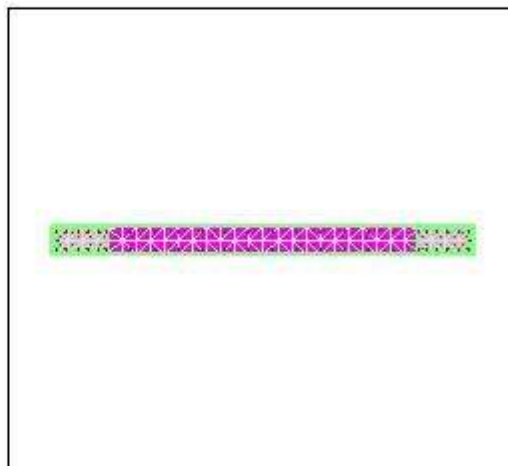
Angle of Loading: 0 deg  
 Number of Points: 100  
 Min. ε30 Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max. ε30 Strain: 1.0000 Ten  
 Min. ε420 Strain: 8.000E-3 Comp  
 Max. ε420 Strain: 8.000E-3 Ten  
 Min. Confinedεperde1c30 Str: 3.313E-3 Comp  
 Max. Confinedεperde1c30 Str: 1.0000 Ten

### Analysis Results:

Max. Compression Load: 19.20E+3 kN  
 Max. Tension Load: -2821 kN  
 Maximum Moment: 998.1 kN-m  
 P at Max. Moment: 11.90E+3 kN  
 Minimum Moment: -998.1 kN-m  
 P at Min. Moment: 11.90E+3 kN  
 Moment (Max) at P=0: 259.9 kN-m  
 Max. Code Comp. Load: 0 kN  
 Max. Code Ten. Load: 0 kN  
 Maximum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Max. Code Moment: 0 kN  
 Minimum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Min. Code Moment: 0 kN  
 PM Interaction Equation: Units in kN-m

### Comments:

User Comments:



$$367) - 266.0 - 3.189*(P/P_u) - 4.146*(P/P_u)^2 - 682.4*(P/P_u)^3$$



### XTRACT Analysis Report - Educational

Imbsen & Associates, Inc. (Education)  
 sad  
 07.01.2004  
 m-k  
 ten  
 Page \_\_ of \_\_

Section Name: Sectionperda3c30  
 Loading Name: pmm0  
 Analysis Type: PM Interaction

#### Section Details:

X Centroid: 1583 cm  
 Y Centroid: -5.901E-5 cm  
 Section Area: 9750 cm<sup>2</sup>

#### Loading Details:

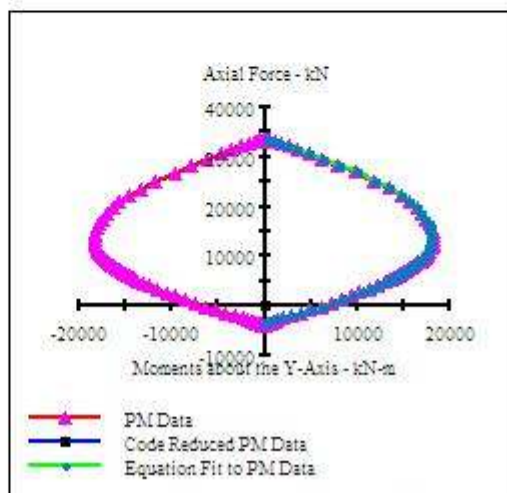
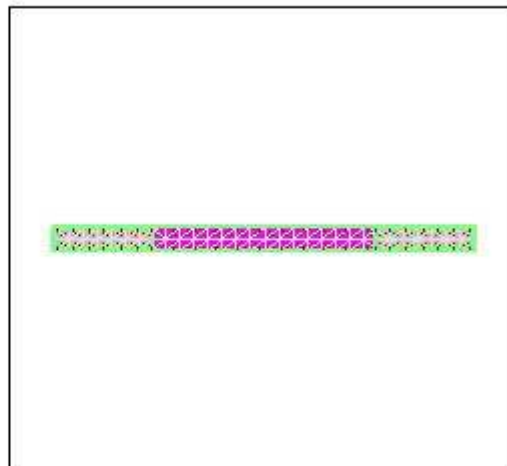
Angle of Loading: 90 deg  
 Number of Points: 200  
 Min.  $\epsilon_{30}$  Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max.  $\epsilon_{30}$  Strain: 1.0000 Ten  
 Min.  $\epsilon_{420}$  Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max.  $\epsilon_{420}$  Strain: 3.000E-3 Ten  
 Min. Confinedperde3c30 Strai: 3.493E-3 Comp  
 Max. Confinedperde3c30 Strai: 1.0000 Ten

#### Analysis Results:

Max. Compression Load: 33.47E+3 kN  
 Max. Tension Load: -3554 kN  
 Maximum Moment: 18.34E+3 kN-m  
 P at Max. Moment: 13.42E+3 kN  
 Minimum Moment: -18.36E+3 kN-m  
 P at Min. Moment: 33.29E+3 kN  
 Moment (Myy) at P=0: 6283 kN-m  
 Max. Code Comp. Load: 0 kN  
 Max. Code Ten. Load: 0 kN  
 Maximum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Max. Code Moment: 0 kN  
 Minimum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Min. Code Moment: 0 kN  
 PM Interaction Equation: Units in kN-m

#### Comments:

User Comments:



$$M(P) = 6283 - 36.36E-3*(P/P_u) - 73.33E-3*(P/P_u)^2 - 11.62E-3*(P/P_u)^3$$

## XTRACT Analysis Report - Educational

Imbse & Associates, Inc. (Education)  
 sad  
 07.01.2004  
 m-k  
 tez  
 Page \_\_ of \_\_

Section Name: Sectionperde4c30  
 Loading Name: prsm0  
 Analysis Type: PM Interaction

### Section Details:

X Centroid: -16.15E-3 cm  
 Y Centroid: .9428E-3 cm  
 Section Area: 9750 cm<sup>2</sup>

### Loading Details:

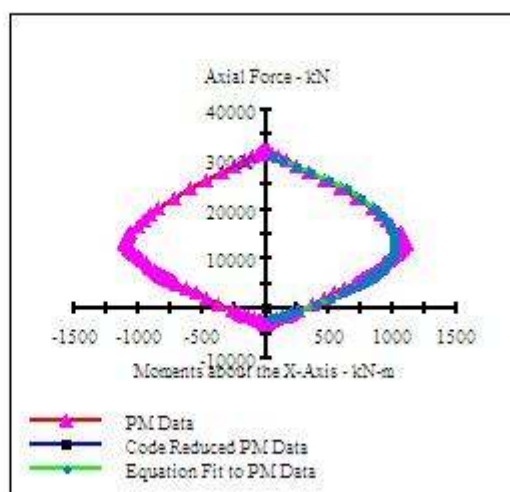
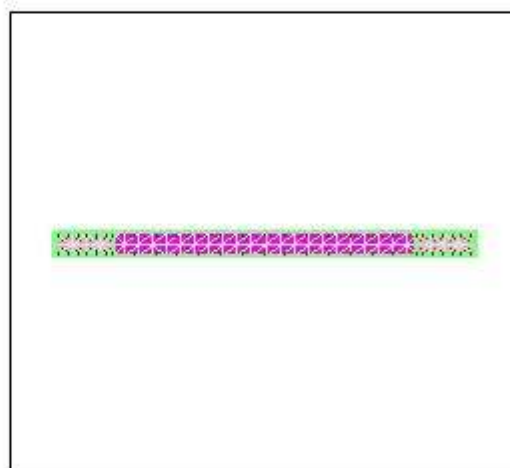
Angle of Loading: 0 deg  
 Number of Points: 200  
 Min.  $\epsilon_{30}$  Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max.  $\epsilon_{30}$  Strain: 1.0000 Ten  
 Min.  $\epsilon_{420}$  Strain: 8.000E-3 Comp  
 Max.  $\epsilon_{420}$  Strain: 8.000E-3 Ten  
 Min. Confinedperde4c30 Strai: 3.327E-3 Comp  
 Max. Confinedperde4c30 Strai: 1.0000 Ten

### Analysis Results:

Max. Compression Load: 32.05E+3 kN  
 Max. Tension Load: -3045 kN  
 Maximum Moment: 1105 kN-m  
 P at Max. Moment: 13.05E+3 kN  
 Minimum Moment: -1105 kN-m  
 P at Min. Moment: 13.05E+3 kN  
 Moment (Max) at P=0: 281.7 kN-m  
 Max. Code Comp. Load: 0 kN  
 Max. Code Ten. Load: 0 kN  
 Maximum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Max. Code Moment: 0 kN  
 Minimum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Min. Code Moment: 0 kN  
 PM Interaction Equation: Units in kN-m

### Comments:

User Comments



$$M(P) = 286.7 + 3551 \cdot (P/P_u) + 4627 \cdot (P/P_u)^2 + 773.6 \cdot (P/P_u)^3$$

## XTRACT Analysis Report - Educational

Imbesen & Associates, Inc. (Education)  
 sad  
 07.01.2004  
 m-k  
 tez  
 Page \_\_ of \_\_

Section Name: Sectionperdefc30  
 Loading Name: pmm0  
 Analysis Type: PM Interaction

### Section Details:

X Centroid: 12.23E-3 cm  
 Y Centroid: .1053E-15 cm  
 Section Area: 7000 cm<sup>2</sup>

### Loading Details:

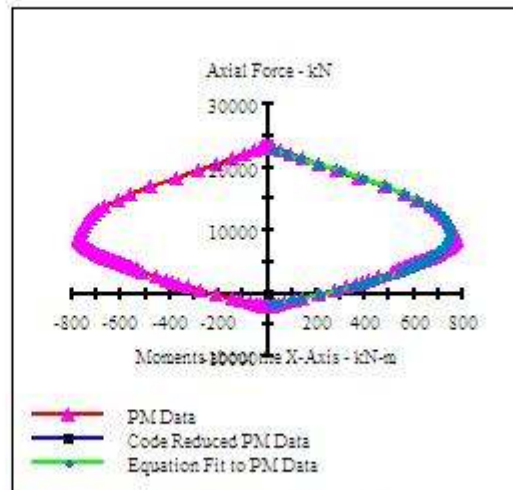
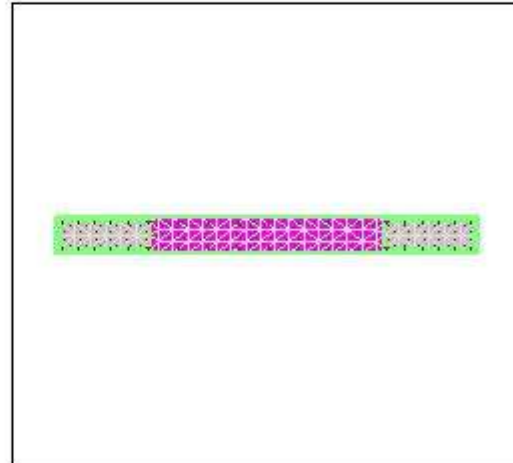
Angle of Loading: 0 deg  
 Number of Points: 200  
 Min. ε30 Strain: 5.000E-3 Comp  
 Max. ε30 Strain: 1.0000 Ten  
 Min. ε420 Strain: 5.000E-3 Comp  
 Max. ε420 Strain: 5.000E-3 Ten  
 Min. Confinedperdefc30 Strai: 3.343E-3 Comp  
 Max. Confinedperdefc30 Strai: 1.0000 Ten

### Analysis Results:

Max. Compression Load: 23.39E+3 kN  
 Max. Tension Load: -2216 kN  
 Maximum Moment: 772.9 kN-m  
 P at Max. Moment: 5423 kN  
 Minimum Moment: -772.9 kN-m  
 P at Min. Moment: 5423 kN  
 Moment (Max) at P=0: 215.5 kN-m  
 Max. Code Comp. Load: 0 kN  
 Max. Code Ten. Load: 0 kN  
 Maximum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Max. Code Moment: 0 kN  
 Minimum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Min. Code Moment: 0 kN  
 PM Interaction Equation: Units in kN-m

### Comments:

User Comments



$$M(P) = 214.4 + 2684*(P/P_u) + -3679*(P/P_u)^2 + 776.6*(P/P_u)^3$$

## XTRACT Analysis Report - Educational

Imbsen & Associates, Inc. (Education)  
 sad  
 07.01.2004  
 m-k  
 ter  
 Page \_\_ of \_\_

Section Name: Sectionperde6c30  
 Loading Name: pmm0  
 Analysis Type: PM Interaction

### Section Details:

X Centroid: -63.22E-6 cm  
 Y Centroid: 4753E-3 cm  
 Section Area: 7000 cm<sup>2</sup>

### Loading Details:

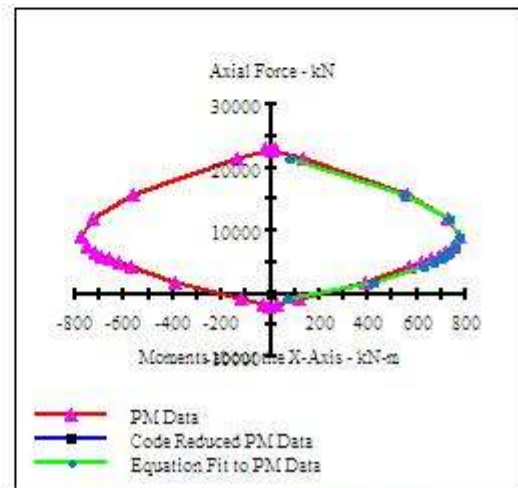
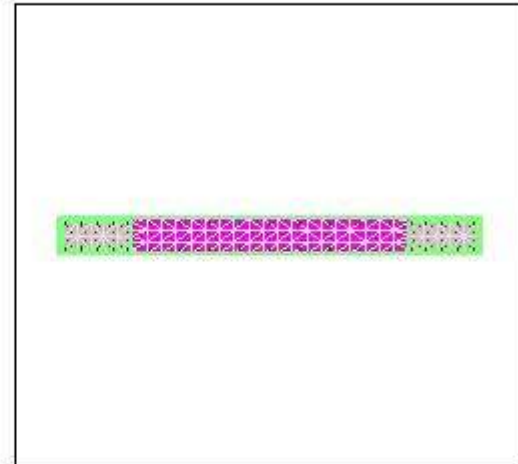
Angle of Loading: 0 deg  
 Number of Points: 40  
 Min. ε30 Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max. ε30 Strain: 1.000E-3 Ten  
 Min. ε420 Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max. ε420 Strain: 3.000E-3 Ten  
 Min. Confinedperde6c30 Strai: 3.313E-3 Comp  
 Max. Confinedperde6c30 Strai: 1.000E-3 Ten

### Analysis Results:

Max. Compression Load: 23.07E+3 kN  
 Max. Tension Load: -2148 kN  
 Maximum Moment: 772.2 kN-m  
 P at Max. Moment: 9070 kN  
 Minimum Moment: -772.3 kN-m  
 P at Min. Moment: 9070 kN  
 Moment (Max) at P=0: 207.3 kN-m  
 Max. Code Comp. Load: 0 kN  
 Max. Code Ten. Load: 0 kN  
 Maximum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Max. Code Moment: 0 kN  
 Minimum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Min. Code Moment: 0 kN  
 PM Interaction Equation: Units in kN-m

### Comments:

User Comments



$$38(p) - 201.3 - 3034*(p/P_u) - 4446*(p/P_u)^2 - 1159*(p/P_u)^3$$

## XTRACT Analysis Report - Educational

Section Name: Sectionperde7c30  
 Loading Name: pmm0  
 Analysis Type: PM Interaction

Imbsen & Associates, Inc. (Education)  
 sad  
 07.01.2004  
 m-k  
 tes  
 Page \_\_ of \_\_

### Section Details:

X Centroid: 23.30E-3 cm  
 Y Centroid: .9999E-16 cm  
 Section Area: 3310 cm<sup>2</sup>

### Loading Details:

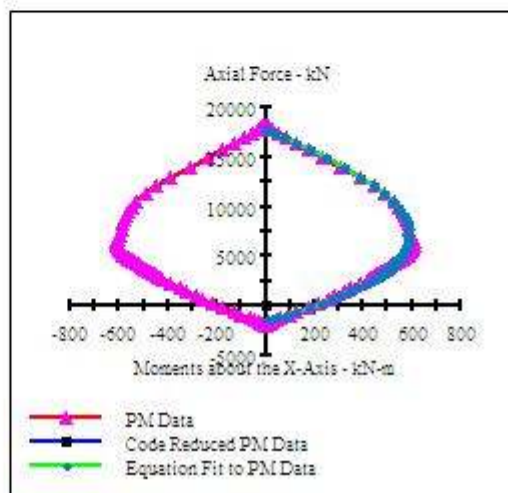
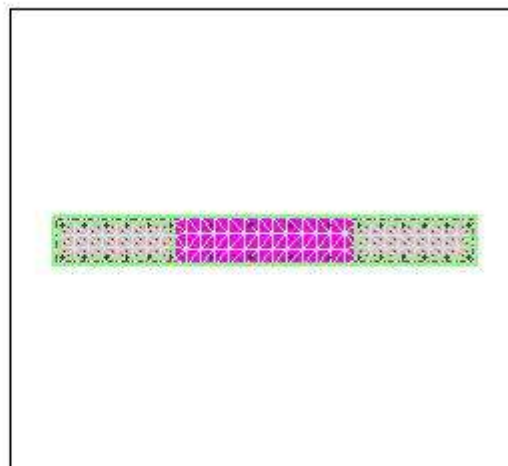
Angle of Loading: 0 deg  
 Number of Points: 100  
 Min. c30 Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max. c30 Strain: 1.000E Ten  
 Min. s420 Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max. s420 Strain: 3.000E-3 Ten  
 Min. Confinedperde7c30 Strai: 3.340E-3 Comp  
 Max. Confinedperde7c30 Strai: 1.000E Ten

### Analysis Results:

Max. Compression Load: 18.17E+3 kN  
 Max. Tension Load: -1931 kN  
 Maximum Moment: 609.7 kN-m  
 P at Max. Moment: 6145 kN  
 Minimum Moment: -609.7 kN-m  
 P at Min. Moment: 6145 kN  
 Moment (Max) at P=0: 189.3 kN-m  
 Max. Code Comp. Load: 0 kN  
 Max. Code Ten. Load: 0 kN  
 Maximum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Max. Code Moment: 0 kN  
 Minimum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Min. Code Moment: 0 kN  
 PM Interaction Equation: Units in kN-m

### Comments:

User Comments



$$169) - 199.9 + 2047*(P/P_u) - 2934*(P/P_u)^2 + 679.8*(P/P_u)^3$$



## XTRACT Analysis Report - Educational

Imbse & Associates, Inc. (Education)  
 sad  
 07.01.2004  
 m-k  
 ter  
 Page \_\_ of \_\_

Section Name: Sectionperde8c30  
 Loading Name: pmm0  
 Analysis Type: PM Interaction

### Section Details:

X Centroid: -2.871E-3 cm  
 Y Centroid: .1831E-15 cm  
 Section Area: 5310 cm<sup>2</sup>

### Loading Details:

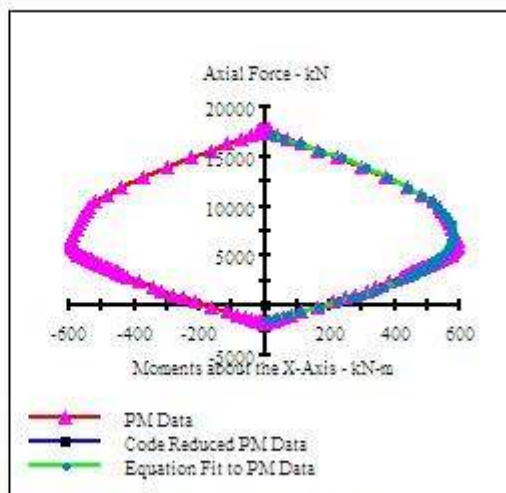
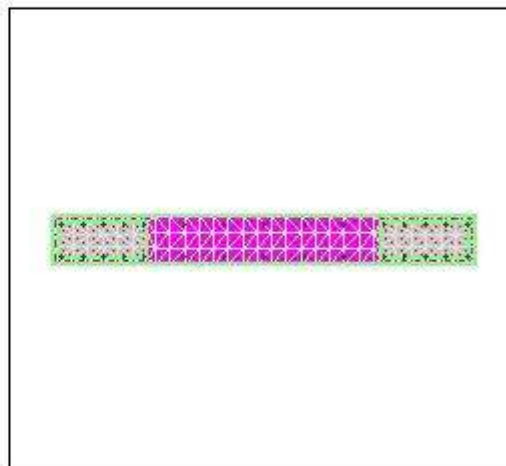
Angle of Loading: 0 deg  
 Number of Points: 200  
 Min. ε30 Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max. ε30 Strain: 1.0000 Ten  
 Min. ε420 Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max. ε420 Strain: 3.000E-3 Ten  
 Min. Confinedperde8c30 Strai: 3.313E-3 Comp  
 Max. Confinedperde8c30 Strai: 1.0000 Ten

### Analysis Results:

Max. Compression Load: 17.51E+3 kN  
 Max. Tension Load: -1768 kN  
 Maximum Moment: 596.0 kN-m  
 P at Max. Moment: 6163 kN  
 Minimum Moment: -596.0 kN-m  
 P at Min. Moment: 6162 kN  
 Moment (Max) at P=0: 171.6 kN-m  
 Max. Code Comp. Load: 0 kN  
 Max. Code Ten. Load: 0 kN  
 Maximum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Max. Code Moment: 0 kN  
 Minimum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Min. Code Moment: 0 kN  
 PM Interaction Equation: Units in kN-m

### Comments:

User Comments



$$M(P) = 180.3 + 2022*(P/P_u) - 2504*(P/P_u)^2 + 386.2*(P/P_u)^3$$

## XTRACT Analysis Report - Educational

Imbsen & Associates, Inc. (Education)  
 sad  
 07.01.2004  
 m-k  
 ter  
 Page \_\_ of \_\_

Section Name: Section9perdec30  
 Loading Name: pmm0  
 Analysis Type: PM Interaction

### Section Details:

X Centroid: -2.728E-3 cm  
 Y Centroid: 1.091E-3 cm  
 Section Area: 8375 cm<sup>2</sup>

### Loading Details:

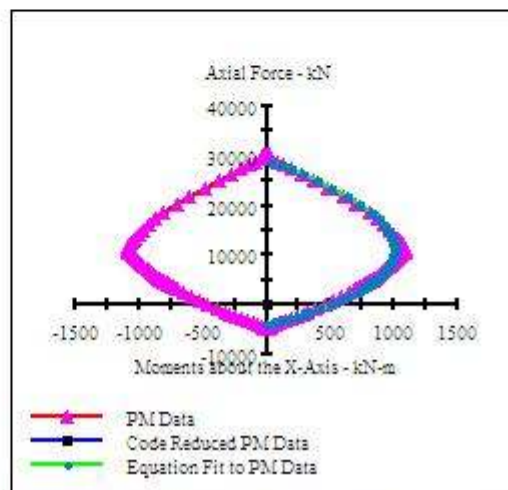
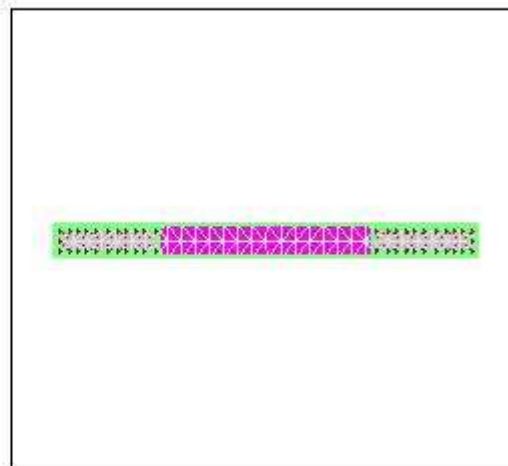
Angle of Loading: 0 deg  
 Number of Points: 200  
 Min. ε30 Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max. ε30 Strain: 1.0000 Ten  
 Min. ε420 Strain: 3.000E-3 Comp  
 Max. ε420 Strain: 3.000E-3 Ten  
 Min. Confined9perdec30 Strai: 3.410E-3 Comp  
 Max. Confined9perdec30 Strai: 1.0000 Ten

### Analysis Results:

Max. Compression Load: 30.23E+3 kN  
 Max. Tension Load: -4917 kN  
 Maximum Moment: 1099 kN-m  
 P at Max. Moment: 10.93E+3 kN  
 Minimum Moment: -1099 kN-m  
 P at Min. Moment: 10.93E+3 kN  
 Moment (Max) at P=0: 443.5 kN-m  
 Max. Code Comp. Load: 0 kN  
 Max. Code Ten. Load: 0 kN  
 Maximum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Max. Code Moment: 0 kN  
 Minimum Code Moment: 0 kN-m  
 P at Min. Code Moment: 0 kN  
 PM Interaction Equation: Units in kN-m

### Comments:

User Comments



$$M(P) = 482.0 - 2693 \cdot (P/P_u) - 4917 \cdot (P/P_u)^2 + 943.0 \cdot (P/P_u)^3$$