

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MEVCUT BİR YÜKSEK YAPIDA RÜZGÂR YÜKÜ  
NEDENİYLE MEYDANA GELECEK P-DELTA ETKİLERİ**

**İnşaat Mühendisi Ömer AYZİT**

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Bilge DORAN (YTÜ)**

**İSTANBUL, 2007**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	iv
KISALTIMA LİSTESİ .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	x
ÖNSÖZ .....	xi
ÖZET .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
1 GİRİŞ .....	1
1.1 P - $\Delta$ Etkileri .....	3
1.2 Dinamik Yüklü Bir Sistemde P - $\Delta$ Etkileri .....	3
1.3 Statik Esaslara Dayanarak P - $\Delta$ Etkilerinin İhmal Edilebilme Koşullarını Açıklayan Çalışmalar .....	3
1.4 Dinamik Esaslara Dayanarak P - $\Delta$ Etkilerinin İhmal Edilebilme Koşullarını Açıklayan Çalışmalar .....	4
1.5 Statik Esaslara Dayanarak Yapıların P - $\Delta$ Etkilerine Göre Tasarlanma Koşullarını Açıklayan Çalışmalar .....	5
1.6 TDY 2006'ya Göre İnceleme .....	6
2 P - $\Delta$ ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN ÇÖZÜM METODLARI .....	9
2.1 Büyütme Çarpanı Yöntemi .....	9
2.2 İterasyon Yöntemi .....	12
2.3 İterasyonlu Yerçekimi Yöntemi .....	15
2.4 Direkt Yöntem .....	17
2.5 Negatif Fiktif Eleman Yöntemi .....	18
3. ÖRNEK YAPI: YAPI VE KREDİ BANKASI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ MERKEZ BİNASI .....	21
3.1 Analizlerde Kullanılan Paket Program Hakkında Bilgi .....	24
3.2 Modelleme Aşaması .....	30
3.3 Yapısal Analizde Dikkate Alınan Dış Etkiler .....	45
3.3.1 Düşey Yükler .....	45
3.3.2 Rüzgar Yükleri .....	49
3.3.3 Deprem Yükü .....	50
4 DEĞERLENDİRME ve İRDELEMELER .....	66

4.1	Yaklaşık Yöntem (Moment Büyültme Yöntemi) .....	66
4.2	Nümerik Çözümleme .....	69
5	SONUÇLAR .....	1
KAYNAKLAR .....		78
EKLER .....		79
Ek 1 Rüzgar Yükleri .....		80
ÖZGEÇMİŞ .....		82

## SİMGE LİSTESİ

$A_i$	İ'inci katın yüzey alanı
$C_f$	Aerodinamik yük katsayısı
$C_m$	Burkulma momenti katsayısı
$d_i$	Binanın i'inci katında deprem yüklerine göre yer değiştirme
$E_c$	Beton elastisite modülü
$EI_o$	Yapının tabanındaki eğilme rijitliği
$E_s$	Donatı elastisite modülü
$F$	Serbest uçta oluşan şekil değiştirme
$F_d$	Tasarım yük etkisi
$G_i$	İ'nci katın ağırlığı
$H$	Sisteme etkileyen yanal kuvvet
$H_i$	Yanal kuvvetteki artış miktarı
$H_o$	P-Δ etkisini içermeyen yanal kuvvet
$k$	Kolon etkili boyu katsayısı
$k_i$	İ'inci sistemin rijitliği
$K_o$	P-Δ etkisini içermeyen elastik rijitlik
$K_s$	Geometrik rijitlik matrisi
$K_{si}$	İ'inci katın kayma rijitliği
$L$	Kat yüksekliği
$l_k$	Kolon etkili boyu
$m$	Kat kütlesi
$M$	Toplam taban momenti
$M_d$	Tasarım eğilme momenti
$M_i^*$	P-Δ etkisini i'inci kattaki moment
$M_1, M_2$	Kolon uç momentleri
$N_d$	Tasarım aksenal kuvveti
$N_{gd}$	Tasarım aksenal kuvvetinin kalıcı yükten kaynaklanan bölümü

$P$	Sisteme etkiyen aksenal yük
$P_{cr}$	Kritik burkulma yükü
$P_o$	Konsol sisteminin tabanındaki toplam yerçekimi kuvveti
$P_{ocr}$	Konsol sistemin tabanında oluşan plastik burkulma kuvveti
$Q$	Kattaki hareketli yük toplamı
$R$	Taşıyıcı sistemin davranış katsayısı
$R_m$	Sünme kat sayısı
$S_i$	İ'inci katın dış kesme kuvveti
$S(T)$	Spektrum kat sayısı
$t$	Zaman değişkeni
$T_A, T_B$	Spektrum karakteristik periyotları
$u$	Deplasman, deformasyon
$u_g$	Yer hareketi
$\ddot{u}_g$	Yer ivmesi
$V_i$	Deprem doğrultusunda oluşan kesme kuvveti
$W$	Yapının ağırlığı
$w$	Zorlayıcı Frekans
$Z1-Z4$	Reel Zemin sınıfı parametreleri
$x,y$	Kartezyen koordinatlar
$\Delta_t$	Zaman aralığı
$\theta$	Duyarlılık göstergesi
$\mu$	Süneklik çarpanı
$\delta_i$	Kat içindeki elemanlarının ötelenmesi
$\Delta_i^*$	P- $\Delta$ etkisini içeren serbest uçtaki yer değiştirmesi
$\Delta_y$	Akma anındaki görelî kat ötelenmesi
$\Delta_u$	Göçme anındaki görelî kat ötelenmesi
$\beta$	Newmark metodunun parametresi
$\Delta^*$	P- $\Delta$ kat ötelenmesini içeren son durum kat ötelenmesi
$\theta$	Stabilite çarpanı

$\gamma$	Newmark metodunun parametresi
$\tau$	Çok küçük zaman değişkeni
$\Delta_{\text{ort}}$	Ortalama görelî kat ötelemesi
$\Delta_i$	İ katındaki görelî kat ötelemesi

## **KISALTIMA LİSTESİ**

TDY	Türk Deprem Yönetmeliği
SANZ	Yeni Zelanda Yönetmeliği
CQC	Tam Karesel Birleştirme
SRSS	Karelerin Toplamının Karekökü
BSD	Tek Serbest Dereceli Sistemler
ÇSD	Çok Serbest Dereceli Sistemler
TS500	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Konsol bir sistemde P - $\Delta$ etkisi (MacRae, 1994) .....	2
Şekil 1.2 Değişik deprem bölgelerinde P - $\Delta$ etkisi (MacRae,1994).....	4
Şekil 1.3 P - $\Delta$ 'ya göre tasarım için statik esaslara dayanan metotlar (MacRae,1994).....	6
Şekil 2.1 Eğilme konsol bir eleman (Gaiotti,1989) .....	9
Şekil 2.2 Düzgün dağıtılmış, yer çekim kuvveti etkisinde eğilme ve kayma kolonu.....	10
Şekil 2.3 Kat yüksekliğinde kolon (Gaiotti, 1989) .....	13
Şekil 2.4 Eşdeğer yanal kuvvet artımı (Gaiotti, 1989) .....	14
Şekil 2.5 Deforme olmuş şekle etkileyen yerçekimi kuvveti (Gaiotti, 1989) .....	15
Şekil 2.6 Deforme olmuş şekle etkileyen yerçekimi kuvveti (Gaiotti, 1989) .....	16
Şekil 2.7 (a) Fiktif kayma kolonu modeli.....	19
Şekil 2.7 (b) Fiktif eğilme kolonu modeli (Gaiotti, 1989) .....	19
Şekil 3.1 Yapı Kredi Bankası A.Ş. Genel Müdürlük Binası	21
Şekil 3.2 Bodrum Kat Planı.....	22
Şekil 3.3 Zemin Kat Planı .....	22
Şekil 3.4 Normal Kat Planı.....	23
Şekil 3.5 Normal Kat Planı .....	23
Şekil 3.6 Sistem eksenleri ve eleman eksenleri .....	25
Şekil 3.7 Eleman eksenlerine örnekler .....	25
Şekil 3.8 Düşün noktası serbestlikleri ve mesnet şartları.....	26
Şekil 3.9 Diyafram hareketi .....	27
Şekil 3.10 Eksenel kuvvet ve burkulma momenti .....	28
Şekil 3.11 (1-3) Düzleminde etkileyen iç kuvvetler .....	28
Şekil 3.12 (1-2) Düzleminde etkileyen iç kuvvetler .....	28
Şekil 3.13 Eleman tipleri .....	29
Şekil 3.14 Alan elemanları için tanımlı iç kuvvetler .....	29
Şekil 3.15 Alan elemanlar için tanımlı gerilmeler.....	29
Şekil 3.16 Sap 2000 Programı Grafik ekranı .....	30
Şekil 3.17 Koordinat sistemi .....	32
Şekil 3.18 Aks sisteminin oluşturulması .....	33
Şekil 3.19 3D Boyutlu sisteminin görünümü .....	33
Şekil 3.20 Çubuk eleman atanması.....	34
Şekil 3.21 Kaset sistemin oluşturulması	34



Şekil 3.22 Shell elemanların tanımlanması .....	35
Şekil 3.23 Kiriş kesitlerinin tanımlanması .....	36
Şekil 3.24 Kolon kesitlerinin tanımlanması .....	37
Şekil 3.25 Poligon kolonlarının tanımlanması .....	38
Şekil 3.26 Perde kesitlerinin oluşturulması .....	39
Şekil 3.27 Perde kesitlerinin atanması.....	39
Şekil 3.28 Perde eleman yerleşimi .....	40
Şekil 3.29 Bazı kolonların döndürülmesi .....	41
Şekil 3.30 Perde eleman için sonlu eleman ağı .....	42
Şekil 3.31 Sonlu eleman ağı oluşturulması .....	42
Şekil 3.32 Bodrum katın oluşturulması .....	43
Şekil 3.33 Kat kopyalama .....	43
Şekil 3.34 Zemin katın oluşturulması .....	44
Şekil 3.35 Çeşitli açılardan 3D nümerik model .....	45
Şekil 3.36 Bodrum kat planında yük dağılımı.....	47
Şekil 3.37 Zemin kat planında yük dağılımı .....	48
Şekil 3.38 Normal kat planında yük dağılımı.....	48
Şekil 3.39 Normal kat planında yük dağılımı.....	49
Şekil 3.40 Spetrum eğrisi .....	53
Şekil 3.41 Deprem kaydı .....	55
Şekil 3.42 Sabit ortalama ivme yöntemi ve doğrusal ivme değişimi yöntemi .....	59
Şekil 3.43 Mod şekilleri -1. mod ( $T_1 = 2.60017$ s) .....	60
Şekil 3.44 Mod şekilleri -2. mod ( $T_2 = 2.39013$ s) .....	61
Şekil 3.45 Mod şekilleri -3. mod ( $T_3 = 0.64413$ s) .....	62
Şekil 3.46 Mod şekilleri -4. mod ( $T_4 = 0.58111$ s) .....	63
Şekil 3.47 Mod şekilleri -5. mod ( $T_5 = 0.31070$ s) .....	64
Şekil 3.48 Mod şekilleri -8. mod ( $T_8 = 0.15763$ s) .....	65

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Yapısal belirlemeler .....	24
Çizelge 3.2 Yapı yüksekliği - rüzgar hızı - dinamik basınç değerleri .....	50
Çizelge 4.1 Kolon yükleri.....	69
Çizelge 4.1 Kolon yükleri(devamı) .....	70
Çizelge 4.2 Uç momentler (doğrusal çözümleme) .....	70
Çizelge 4.2 Uç momentler (dogrusal çözümleme) devamı .....	70
Çizelge 4.3 Uç momentler (P-Δ analizi).....	71
Çizelge 4.3 Uç momentler (P-Δ analizi) devamı .....	72
Çizelge 4.4 İkinci mertebe etkileri .....	72
Çizelge 4.4 İkinci mertebe etkileri (devamı).....	73
Çizelge 4.5 TS-500/2000'ye göre hesaplanan " β " moment büyütme katsayıları .....	73
Çizelge 4.5 TS-500/2000'ye göre hesaplanan " β " moment büyütme katsayıları (devamı)....	74
Çizelge 4.6 Doğrusal çözümleme (dinamik hesap) .....	75

## ÖNSÖZ

Özellikle düşey yükü ve yatay yer değiştirmesi büyük olan, burulma etkisinin önemli olduğu sistemlerde ikinci merteye etkilerin incelenmesi gerekir.

Bu tez çalışmasında, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu tarafından desteklenen “Gerçek Zamanlı Kinematik DGPS Yöntemiyle Uzun Periyotlu Yapıların Dinamik Davranışlarının İrdelenmesi” isim ve 106 M032 no’lu proje kapsamında ele alınan Yapı Kredi Bankası A.Ş.’ne ait olarak hizmet vermekte olan Genel Müdürlük binasında (31 katlı yapı ) rüzgar kuvvetlerinden dolayı oluşan  $P - \Delta$  etkileri incelenmiş ve elcentro depremine göre zaman tanım alanında doğrusal analiz yapılmıştır.

Bu tezin hazırlanmasında her konuda yardımcı olan, manevi desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. Bilge DORAN ’a, yapının modellenmesi esnasındaki katkılarından dolayı Sn. Yrd. Doç. Dr. Sema Noyan ALACALI, Sn. Yrd. Doç. Dr. Bülent AKBAŞ ’a ve desteğini esirgemeyen arkadaşım Salih AYYILDIZ’a teşekkür ederim.

Mayıs 2007

Ömer AYZİT  
İnşaat Mühendisi

# MEVCUT BİR YÜKSEK YAPIDA RÜZGAR YÜKÜ NEDENİYLE MEYDANA GELECEK P-DELTA ETKİLERİ

Ömer AYZİT  
İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Dünya nüfusu hızla arttığı için, özellikle büyük kentlerde yüksek yapılar sıklıkla tercih edilmektedir. Bu durum, araştırmacıları yüksek yapıların düşey yük ve yatay yükler etkisinde gerçek davranışlarının belirlenmesine yöneltmiştir.

Yapıların dinamik özelliği düşünüldüğünde birinci titreşim periyodu önemli bir parametredir. Yapıda yatay rijitlik azaldıkça ve periyot arttıkça yapıya etkiyen yatay yük (deprem, rüzgar) azalır. Ancak özellikle yüksek yapıların yatay yük etkisindeki davranışını belirleyebilmek için periyot tek ve etkin parametre olmayabilir. Bu tip yapılarda yer değiştirmeler oldukça büyük oranda olacağından ikinci mertebe etkilerinin de dikkate alınması gerekir. Yatay yükler altındaki yapılar, düşey yüklerin uygulandığı noktaların hareket etmesinden dolayı ikinci mertebe kuvvetlere maruz kalırlar. Bu ikinci mertebe etkiler, P- $\Delta$  etkileri olarak bilinir ve yatay yer değiştirmesi büyük olan yapıların analizinde önemli bir rol oynar.

Bu tez çalışmasında, örnek bir yüksek yapı için rüzgar kuvvetlerinden dolayı oluşan P –  $\Delta$  etkileri incelenmiştir. Yapısal sistem SAP 2000-ver.10 yapısal analiz programı kullanılarak modellenmiştir. Sonuçlar (P –  $\Delta$  etkileri), TS-500/2000'e göre hesaplanan moment büyütme katsayıları ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Doğrusal sistem, doğrusal olmayan sistem, P –  $\Delta$  etkileri, P –  $\Delta$  analizi metodları

# P-DELTA EFFECTS DUE TO WIND LOADS ON AN EXISTENT HIGH-RISE BUILDING

Ömer AYZİT  
Civil Engineering, M.S. Thesis

As the world population increases, high-rise buildings are being most frequently used especially in big cities. This situation forces the scientist to investigate the real behavior of high-rise buildings subjected to lateral and vertical load cases.

The first natural vibrational period is a very important parameter for the dynamic behavior of the buildings. As the rigidity of the structure decreases and its period increases, the lateral loads (earthquake, wind) carried by the structural elements will decrease. For high-rise buildings, the period is not the only and effective parameter that affects the horizontal loads. Since the displacements in these structures are very high, the second order effects (P-Delta effects) must be taken into account. In a structure, the vertical load points will move due to lateral loads and the structure will be subjected to second order loads. These loads are known as  $P - \Delta$  loads and they are very effective in static analysis.

In this thesis, P-Delta effects due to the wind loads are investigated for a sample high-rise building. The structural system was modeled in Sap 2000-v10 software. The results are compared with the requirements of TS-500/2000 design code.

**Key Words:** Linear system, non-linear system,  $P - \Delta$  effects, methods for  $P - \Delta$  analysis

## 1. GİRİŞ

### 1.1. P - $\Delta$ Etkileri

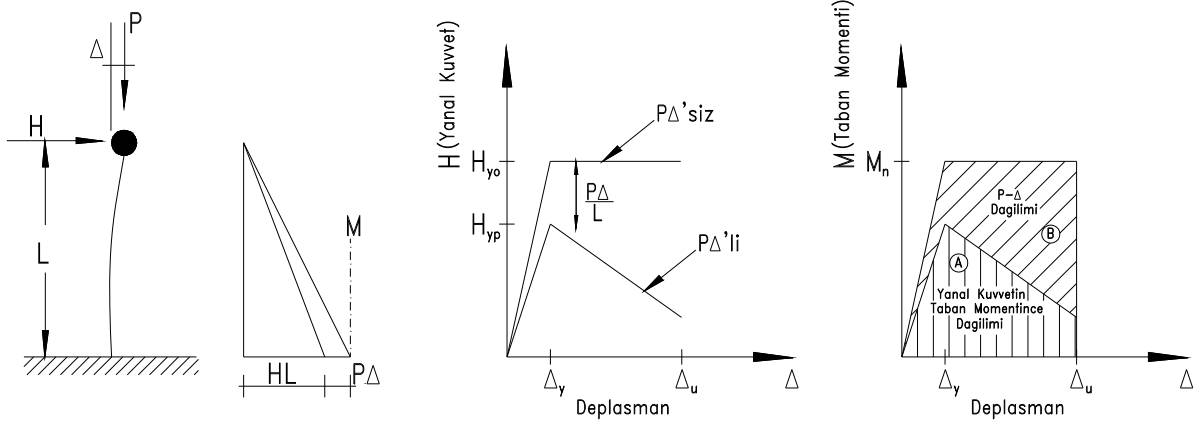
Bir yapıya etkiyen iç kuvvetlerin ve eğilme momentlerinin belirlenmesinde çoğunlukla I. Mertebe Teorisi kullanılır. Bu durumda kesme kuvveti denge denklemlerinde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler ve eksenel kuvvetten dolayı eleman rijitliğindeki artışlar ihmal edilir.

Eksenel kuvvetler çok fazla ise, yapıda II. Mertebe etkilerin dikkate alınması ve bu etkilere göre incelenmesi; yapı boyunca oluşacak iç kuvvetlerin ve eğilme momentlerinin belirlenmesi daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. II. Mertebe analizlerde, denge denklemleri şekil değiştirmiş yapı şekli üzerinden çıkartılır. Bir başka deyişle, II. Mertebe etkileri deyimi ile, yapının doğrusal olmayan yer değiştirmeleri dikkate alınarak düşey yüklerden dolayı oluşan ikincil momentler ve kuvvetler kastedilmektedir ve P- $\Delta$  etkileri olarak adlandırılır (Gaiotti, 1989).

P –  $\Delta$  etkisinin önemli olduğu durumlar aşağıdaki gibi düşünülebilir (Z.Celep, N.Kumbasar, 2003).

1. Çok katlı yüksek yapılar
2. Yatay yer değiştirmesi büyük ve burulma etkisine maruz sistemler, ağır depolar,
3. Dayanımı düşük olan zeminler

Bir sisteme etkiyen  $P$  kuvveti nedeniyle, kuvvet etkime noktası  $\Delta$  kadar yer değiştirecektir. Bu yer değiştirme ile kuvvetin çarpımından meydana gelecek ilave eğilme momenti P -  $\Delta$  etkisini açıklar (MacRae, 1994).



(a) Taban momenti (b) Kuvvet – yer değiştirme ilişkisi (c) Moment – yer değiştirme ilişkisi

şekil 1.1. Konsol bir sistemde  $P - \Delta$  etkisi (MacRae, 1994)

Sistemin tabanında oluşacak toplam moment denklemi, (1.1) ifadesinde verilmiştir.

$$M = H.L + P.\Delta \quad (1.1)$$

(1.1) ifadesinde,  $H$ ;  $P - \Delta$  etkisine maruz sistemin yanal kuvveti ve  $L$  ise yapının ktle merkeziniin yksekliğidir. (1.1) bağıntısının dzenlenmesiyle,  $H$  yanal kuvveti, (1.2) bağıntılarında olduğu gibi elde edilebilir:

$$H = \frac{(M - P.\Delta)}{L} \quad (1.2a)$$

$$H = \frac{M}{L} - \frac{P.\Delta}{L} \quad (1.2b)$$

(1.2b) bağıntısından;  $H_o$ ,  $P - \Delta$  etkisini içermeyen yanal kuvveti işaret etmek üzere;

$$H = H_o - \frac{P.\Delta}{L} \quad (1.3)$$

elde edilebilir.

Bu bağıntıda,  $K_o$ ,  $P - \Delta$  etkisini içermeyen rijitliği ve  $\theta$ ,  $P - \Delta$  stabilite ęarpanını gstermek üzere;

$$K_o = \frac{H_{yo}}{\Delta_y} \text{ ve } \theta = \frac{P}{K_o.L} = \frac{P}{H_{yo}} \cdot \frac{\Delta_y}{L} \quad (1.4)$$

bağıntısı elde edilebilir. (1.4) bağıntılarında,  $H_{yo}$ ,  $P - \Delta$  etkisinin ihmal edildiği durumdaki

akma dayanımı;  $\Delta_y$  ise, akma anındaki yer değiştirmedir. (1.4) bağıntısı (1.3)'de yerine yazılacak olursa;

$$H = H_o - \theta.K_o. \Delta \quad (1.5)$$

elde edilmiş olur. (1.5) bağıntısı incelenecek olursa,  $H$ ,  $H_o$ 'ın azalmasına ve  $\Delta$ 'nın artmasına bağlı olarak azalmaktadır (MacRae, 1994).  $K_p$ ,  $P - \Delta$  etkisi dikkate alınmış haldeki elastik rijitlik olmak üzere (1.6) ifadesinde gösterildiği şekilde bulunabilir:

$$K_p = \frac{\partial H}{\partial \Delta} = \frac{\partial(H_o - \frac{P.\Delta}{L})}{\partial \Delta} = \frac{\partial H_o}{\partial \Delta} - \frac{\partial(\frac{P.\Delta}{L})}{\partial \Delta} = K_o - \frac{P}{L} = K_o.(1 - \theta) \quad (1.6)$$

## 1.2 Dinamik Yüklü Bir Sistemde $P - \Delta$ Etkileri

$P - \Delta$  kuvvetleri, dinamik mukabele özelliklerini arttırdığı için,  $P - \Delta$ 'dan dolayı, dinamik yüklü sistemlerin mukabelelerindeki değişimin belirlenmesi, statik sistemlerinkine göre daha karmaşıktır.  $P \times \Delta$  ilave momentleri, yapısal sisteme denge bozucu bir bileşen ekleyerek tesir ederler; sistemin dengesini de bozan bu bileşen, sistemin yer değiştirmelerinde bir artışa ve muhtemelen kısmen ve/veya toptan gcmeye yol açar.

İlerleyen bölümlerde,  $P - \Delta$  etkilerini dikkate alan çalışmalardan bazılarına yer verilmiştir.

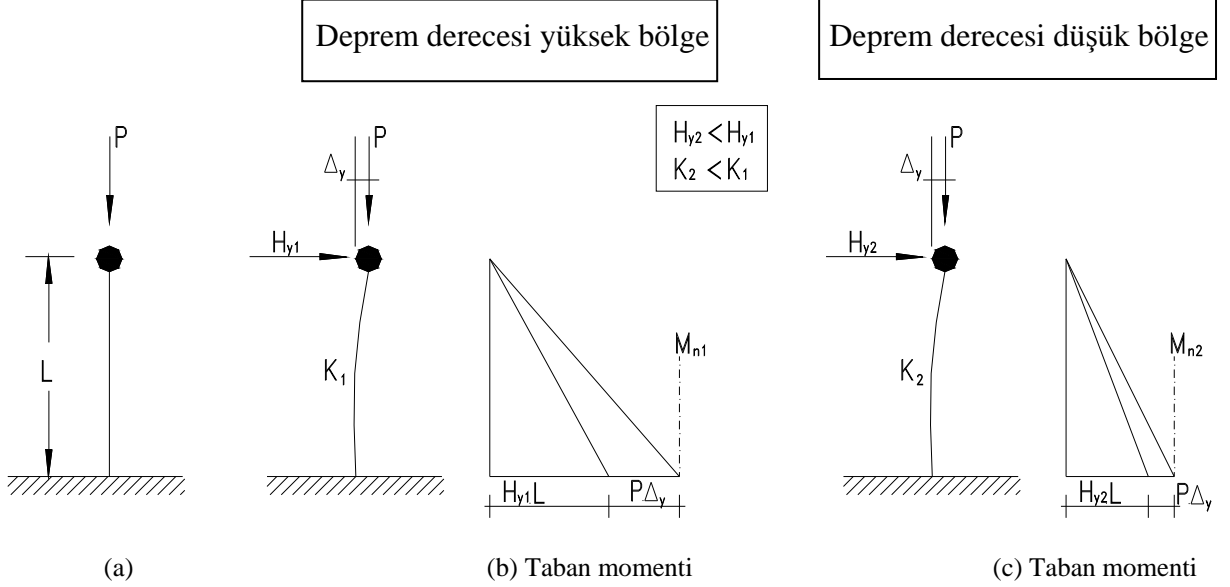
## 1.3 Statik Esaslara Dayanarak $P - \Delta$ Etkilerinin İhmal Edilebilme Koşullarını Açıklayan alışmalar

Andrews (1977), enerji kavramı esaslarına dayanarak yaptığı çalışmasında, eğer bir yapının yanal yer değiştirmesi belirlenmiş bir limit yer değiştirme değerinden küçük ise,  $P - \Delta$  etkisinin ihmal edilebileceğini belirtmiştir. Andrews çalışmasının sonunda,  $P - \Delta$  etkisinin kabul edilebilir seviyesini yine enerji kavramlarına dayanarak açıklamıştır. Andrews,  $P - \Delta$  etkisinde kalmış bir yapının kuvvet – yer değiştirme eğrisinin altında kalan enerjinin,  $P - \Delta$  etkisinde kalmamış bir yapının kuvvet – yer değiştirme eğrisinin altında kalan enerjinin en az %90'ı olduğu seviyeyi limit durum olarak tanımlamıştır.  $\Delta_y / L$ , görelili akma oranı sınır değeri, bu teoriye dayanılarak, Yeni Zelanda Yük şartnamesi (Sanz, 1984) kapsamına alınmıştır.

Bu görelili akma oranı sınır değerine, deprenselliği düşük bölgelerde daha da dikkat edilmelidir. şekil 1.2'de değişik deprem bölgelerinde, aynı görelili akma oranına göre tasarlanmış iki yapı gösterilmiştir. Belirli bir  $\mu$  süneklik değeri için,  $H_I$  deprenselliği yüksek



bölgedeki tasarım kuvvetinin,  $H_2$  depremselliği düşük bölgelerdeki tasarım kuvvetinden daha büyük olması gerektiği bellidir. Buna göre, aynı akma yer değiştirme değerini elde etmek için;  $K_1$ , depremselliği yüksek bölgedeki yapının rijitliği,  $K_2$ , depremselliği düşük bölgedeki yapının rijitliğinden daha büyük olacaktır.



Şekil 1.2 Değişik deprem bölgelerinde P –  $\Delta$  etkisi (MacRae, 1994)

Her iki yapıda, aynı yer değiştirme eşit P- $\Delta$  momentine sahip olacaktır. P- $\Delta$  momentinin yapının tabanında oluşan toplam momente oranı ise, depremselliği düşük bölgede, depremselliği yüksek bölgeye nazaran daha büyük olacaktır. Bu yüzden, depremselliği düşük bölgede olan yapının, P –  $\Delta$  etkisinde kalan kuvvet – yer değiştirme eğrisinin altındaki enerjinin, P –  $\Delta$  etkisinde olmayan kuvvet – yer değiştirme eğrisinin altındaki enerjiye oranı daha azdır. P $\times$  $\Delta$  ilave momentinin toplam momente oranının tüm bölgelerde aynı kalması için, rijitliğin her bölgede aynı olması gerekir. Depremselliği beklenenden daha düşük bölgelerdeki yapılar için ise, ötelenme ya da yer değiştirme limitleri daha da düşük tutulur (MacRae, 1994).

#### 1.4 Dinamik Esaslara Dayanarak P – $\Delta$ Etkilerinin İhmal Edilebilme Koşullarını Açıklayan Çalışmalar

Paulay'ın (1978), P –  $\Delta$  etkilerinin,  $\mu \cdot \Theta$ , kat kararlılık indeksinin küçük olduğu durumlarda ihmal edilebileceğine dair teorisi, bugünkü çok katlı betonarme çerçevelerin analizlerinin temelini oluşturmaktadır. Burada  $\mu$ , yer değiştirme sünekliği ve  $\Theta$  (1.4) denkleminin verilen

stabilite faktörüdür.

Moss ve Carr (1980); 6, 12 ve 18 katlı betonarme çerçeveleri analiz etmişlerdir. Yapıların maksimum iç kat ötelenmelerinin, kat yüksekliğinin % 1'inden fazla olmadığı durumlarda,  $P - \Delta$  etkilerinin ihmal edilebileceğini öne sürmüşlerdir. Buna nazaran,  $P - \Delta$  etkilerinin, büyük iç kat ötelenmelerinde, kat ötelenmelerini aniden arttırarak, yapının süneklik kapasitesini aşmasına yol açtıklarını belirtmişlerdir.

Montgomery (1981), maksimum kat ötelenmesinin, kat akma ötelenmesine oranının 2'den büyük olduğu durumlarda yada;  $V / P < 0.10$ , taban kesme kuvvetinin yapının ağırlığına oranı 0.10'dan az olduğu durumlarda,  $P - \Delta$  etkilerinin dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Elastik veya elastik davranışa yakın mukabeleli yapılarda,  $P - \Delta$  etkisini tanımlamak için, böyle bir kararlık endeksinin tanımlanması tutarlı bir yaklaşımdır.

Mahin ve Boroschek (1991), Bernal (1987) gibi; deneylere dayanarak, eğer belirli bir sünekliğe ulaşmak için gereken dayanım büyütmesi % 10'dan daha az ise,  $P - \Delta$  etkisinin ihmal edilebileceğini önermişlerdir. Moehle (1992), Mahin ve Boroschek'in (1991) analizlerinden faydalanarak, Paulay (1978) ile aynı yaklaşımı önermiştir.

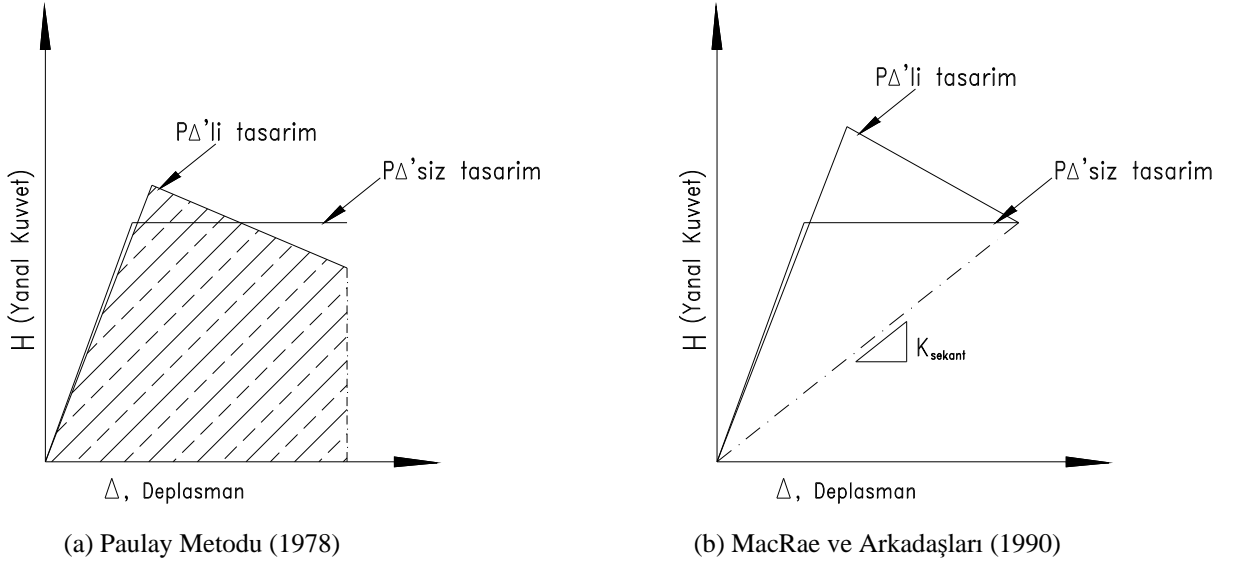
Tjondro, Carr ve Moss (1992); ötelenme oranının 0.02'den büyük olduğu durumlarda,  $P - \Delta$  etkilerinin çok katlı çerçevelerin mukabelelerini arttırdığını bulmuşlardır. Ayrıca, bazı durumlarda  $P - \Delta$  etkisinin yer değiştirme mukabelesini azalttığı da tespit edilmiştir.

### **1.5 Statik Esaslara Dayanarak Yapıların $P - \Delta$ Etkilerine Göre Tasarlanma Koşullarını Açıklayan Çalışmalar**

Paulay (1978); betonarme bir çerçevenin,  $P - \Delta$  etkilerine karşı davranışında, rijitliğin artırılmasından daha çok dayanımın arttırılmasının daha önemli rol oynadığını belirtmiştir. Rijitliğin arttırılması ise, çerçeveyi daha büyük periyotlu deprem mukabelesine zorlayacaktır.  $P - \Delta$  etkisini dikkate alan tek çevrimli eğri altındaki enerji,  $P - \Delta$  etkisi dikkate alınmadığı enerji ile benzer sayılabilir. Bunun için, büyük görelî kat ötelenmelerinde, dayanımın belli bir değerde arttırılması önerilir (Şekil 1.3a).

Neuss, Maison ve Bouwkamp (1983), çalışmalarında, muhtemel elastik olmayan yer değiştirmelerin sonucu olan, büyütülmüş  $P - \Delta$  kuvvetlerini belirlemede bir geometrik rijitlik matrisi çarpanı kullanmanın faydalı olacağını vurgulamışlardır. Bu yaklaşımda; etkin  $P - \Delta$

yanal kuvveti,  $P$  eksenel yükü ile  $\Delta_u / L$ , maksimum elastik olmayan ötelenme oranının çarpılmasıyla bulunur. Şekil 7.3.b'de; MacRae, Carr ve Walpole (1990) tarafından önerilen ve sekant rijitliği ile açıklanan yöntem gösterilmiştir. MacRae ve arkadaşları, esas periyot ve sönüm kavramlarına dayanarak, dayanımın artırılması gerektiğini belirtmişlerdir. Böylece, sekant rijitliğinin son durum yer değiştirmede,  $P - \Delta$  etkisine göre tasarlanmış ve tasarlanmamış yapılarda aynı olacağını söylemişlerdir. Periyot, sekant rijitliğine bağlı olduğu için,  $P - \Delta$  etkisi dikkate alınmadan önce ve alındıktan sonra periyotlar aynıdır. Ancak,  $P - \Delta$  etkisi dikkate alınan sistemin, yuttuğu enerji ve buna bağlı olan sönüm değeri daha fazladır. Buna göre,  $P - \Delta$  etkileri dikkate alınarak tasarlanmış sistemlerin mukabeleleri daha düşük olur (MacRae, 1994).



Şekil 1.3  $P - \Delta$ 'ya göre tasarım için statik esaslara dayanan metotlar (MacRae, 1994)

## 1.6 TDY 2006'ya Göre İnceleme

Türk deprem yönetmeliğinde de, görelî kat ötelemelerinde ve II. Mertebe etkilerinin dikkate alınması gereken durumlarla ilgili çeşitli sınırlamalar vardır. Deprem yönetmeliğinde, herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden  $\Delta_i$ , azaltılmış görelî kat ötelemesi, (1.7) bağıntısı ile elde edilecektir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (1.7)$$

Burada,  $d_i$  ve  $d_{i-1}$ , binanın  $i$ 'inci ve  $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaptan elde edilen yatay değiştirmeleri

göstermektedir.

Her bir deprem doğrultusu için, binanın  $i$ 'inci katındaki kolon veya perdeler için, etkin görelî kat ötelemesi,  $\delta_i$ , (1.8) bağıntısı ile elde edilecektir.

$$\delta_i = R \cdot \Delta_i \quad (1.8)$$

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir  $i$ 'inci katındaki kolon veya perdelerde, (1.8) bağıntısı ile hesaplanan etkin görelî kat ötelenmelerinin,  $\delta_i$ , kat içindeki en büyük değeri  $(\delta_i)_{\max}$ , (1.9)'da verilen koşulu sağlayacaktır.

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (1.9)$$

Bilindiği üzere, yatay yer değiştirme rijitliği küçük olan bir yapı, deprem etkisi altında büyük yer değiştirmeler yapar. Özellikle kolon – kiriş birleşim noktalarında meydana gelen oldukça büyük açısâl yer değiştirmelerin karşılanabilmesi için kolon-kiriş düğüm noktasının yeterli sünekliğe sahip olması gerekir. Eğer bu süneklik sağlanamazsa, sonuçta kırılma ve çökme meydana gelecektir (Atımtay, 2000).

Yatay yer değiştirmelerin büyük olması, büyük ikinci mertebe momentlerinin de büyümesine yol açar. Kolon uçlarındaki momentler, ikinci mertebe momentlerinin eklenmesi ile daha da artar. Bu bağlamda görelî kat ötelemelerinin artması, dayanım ve süneklik başta olmak üzere, yapının deprem davranışını olumsuz etkiler. (1.9) denklemi ile verilen koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır. Ancak verilen koşul sağlansa bile, yapısal olmayan gevrek elemanların (cephe elemanları vb.) elde edilen etkin görelî kat ötelemeleri altında kullanılabilirliği hesapla doğrulanmalıdır.

Tüm bu tanımlamalardan; deprem yönetmeliğinde, rijitlik koşuluna ne kadar önem verildiği ortaya çıkmaktadır. Söz konusu koşullar sağlanmamış ise, binanın deprem davranışı kabul edilmeyecek kadar olumsuz olacaktır. Öyle ise, tek çare yapının ötelenme rijitliğini büyütürerek deprem hesabını tekrarlamaktadır. Binanın yatay yer değiştirme rijitliğini artırmanın en etkin yolları şu şekilde sıralanabilir (Atımtay,2000):

- Eğer perde kullanılmamış ise, perde kullanmak
- Eğer perde mevcut ve buna rağmen koşulları sağlamıyor ise, birbirine dik her iki deprem doğrultusunda da, perde alanları toplamını arttırmak.

- Belirli nedenlerle perde kullanılması istenmiyor ise, kolon ya da kiriş en kesit alanlarını büyütme.

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her iki katta, İkinci Mertebe Göstergesi Değeri,  $\theta_i$ 'nin Denklem(1.10) ile verilen koşulu sağlanması durumunda, ikinci mertebe etkileri daha önce açıklanan şartlara göre değerlendirilirler.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort.} \sum_{j=1}^N w_j}{v_i \cdot h_i} \leq 0.12 \quad (1.10)$$

Bu bağlamda,  $(\Delta_i)_{ort.}$ ,  $i$ 'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış görece kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değerini;  $w_j$ , yapının  $j$ 'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı;  $V_i$ , yapının  $i$ 'inci katının düşey taşıyıcılarında göz önüne alınan deprem doğrultusunda oluşan kesme kuvvetlerinin toplamını ve  $h_i$  ise yapının  $i$ 'inci katının kat yüksekliğini göstermektedir.

(1.10) koşulunun herhangi bir katta sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği yeterli ölçüde artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

## 2. P – Δ ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN ÇÖZÜM METOTLARI

Orta katlı yapılarda P – Δ etkileri ihmal edilebilir. Yapı yüksekliği arttıkça, söz konusu etkiler artarak daha da belirginleşecektir. Bu durumda, tasarımda seçilen taşıyıcı sistem eleman boyutlarının büyütülmesi bile gerekebilir. Bir sistemin P – Δ etkilerine karşı tasarlanabilmesi için, ileriki bölümlerde değinilmiş olan metotlardan herhangi bir tanesi kullanılabilir.

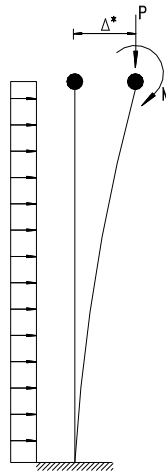
### 2.1 Büyütme Çarpanı Yöntemi

Büyütme çarpanı metodu, yaklaşık bir yöntemdir. Bu metotta; sisteme etkileyen yanal kuvvetlerin I. Mertebe analizleri sonucu bulunan momentleri ve enine yer değiştirmeleri, belirli bir katsayı oranında genişletilirler. Büyütme çarpanı, eksenel yüklü herhangi bir elemanın ilk enine yer değiştirmelerin bulunmasıyla belirlenebilir (Şekil 2.1).

Bir sistemin P- Δ etkisini de içeren serbest uçtaki şekil değiştirmesi, şekil değiştirme eğrisinin (2.1) diferansiyel denkleminin çözümünden bulunabilir ( Timoshenko ve Gere, 1961).

$$\Delta_i^* = \Delta_i \cdot \left[ \frac{1}{1 - \frac{P}{P_{cr}}} \right] \quad (2.1)$$

Bu denklemde;  $\Delta^*$ , P – Δ etkisini içeren serbest uçtaki son durum yer değiştirme;  $\Delta$ , I; Mertebe analizinden elde edilen yer değiştirme; P, konsol sistemin serbest ucuna etkileyen eksenel kuvvet;  $P_{cr}$ , ise konsol sisteminin elastik burkulma yükünü temsil etmektedir.



Şekil 2.1 Eğilmeli konsol bir eleman (Gaiotti, 1989)

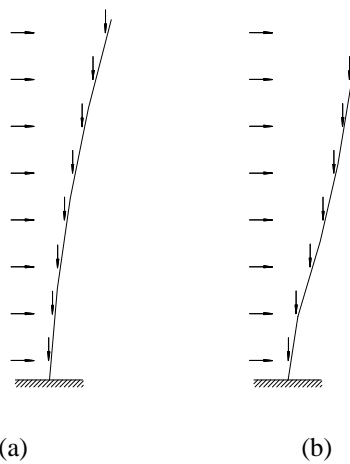
Denklemin incelenmesinden de görüleceği gibi; mevcut aksenal bir P kuvveti altında, düzgün yayılı yanal yükleden dolayı, serbest uçta oluşan şekil değiştirme  $F$ , büyütme çarpanı kadar artırılmıştır.

$$F = \frac{1}{1 - \frac{P}{P_{cr}}} \quad (2.2)$$

Büyütme çarpanı metodu, çok katlı yapılarda da uygulanabilir. Yerçekimi kuvveti, yapı yüksekliği boyunca etki ettirilir (Şekil 2.2). Her ne kadar, (2.1) ifadesi ile konsol sistemin ucundaki maksimum yer değiştirme bulunsa da, pratikte yapının herhangi bir  $i$ 'inci katındaki yer değiştirmeleri bulmak için de kullanılır.

$$\Delta_i^* = \Delta_i \cdot \left[ \frac{1}{1 - \frac{P_o}{P_{cr}}} \right] \quad (2.3)$$

Bu denklemde;  $\Delta_i^*$ ,  $P - \Delta$  etkisini içeren  $i$ 'inci kattaki son durum yer değiştirme;  $\Delta_i$ ,  $i$ 'inci katta I. Mertebe analizinden elde edilen yer değiştirme;  $P_o$ , konsol sisteminin tabanındaki toplam yerçekimi kuvveti;  $P_{0cr}$ , ise konsol sisteminin tabanında oluşan elastik burkulma yükünü temsil etmektedir. Bu yöntemde, büyütme çarpanının yapı yüksekliği boyunca sabit kaldığı kabul edilmiştir (Gaiotti, 1989).



Şekil 2.2 Düzgün dağıtılmış yer çekim kuvveti etkisinde: a) Eğilme kolonu; b) Kayma kolonu

(Gaiotti, 1989).

Bir  $P - \Delta$  analizinde, yer değiştirmeler ve yerçekimi yükleri arasındaki bağıntı doğrusal değildir. Bu yüzden analizlerde, sistemi göçmeye götürececek  $P_{0cr}$  yükünün dikkate alınması gerekmektedir. Büyütölmüş yükler son limit durum analizlerinde, diğer yükler ise kullanılabilirlik limit durumu analizlerinde dikkate alınmalıdır.  $P_{0cr}$  yükünün değişik sistemlerde bulunması için, Goldberg çeşitli bağıntılar öne sürmüştür.

- Eğer sistem üniform yayılı kuvvetler altında, eğilmeli konsol sistem gibi davranıyorsa,  $P_{0cr}$  yükü, (2.4) bağlantısıyla bulunabilir (Goldberg, 1973). Bu bağıntıda  $EI_0$ , yapımı tabanındaki eğilme rijitliğini;  $EI_0(1-0.3\beta)$  ifadesi, yapının üstündeki eğilme rijitliğini ve  $L$ , tüm yapı yüksekliğini göstermektedir.

$$P_{0cr} = \frac{7.82EI_0}{L^2}(1-0.3\beta) \quad (2.4)$$

- Kayma modunda deforme olan ankastre bağlı, rijit çerçevelerin burkulma yükleri, (2.5a) denklemi uyarınca bulunur. Eğer çerçeve kolonları mafsallı bağlı ise o zaman (7.14 b) denklemi kullanılır(Goldberg, 1973).

$$P_{0cr} = \frac{12E\left(1 + \frac{C_1}{6G_1}\right)}{h_1\left(\frac{1}{C_1} + \frac{2}{3G_1}\right)} \quad (2.5a)$$

$$P_{0cr} = \frac{12E}{h_1\left(\frac{4}{C_1} + \frac{3}{3G_1}\right)} \quad (2.5b)$$

Bu iki bağıntıda da  $E$ , elastisite modölü;  $h_1$ , ilk katın yüksekliği;  $C_1 = \sum\left(\frac{I_c}{h}\right)_1$  olup, ilk kattaki tüm kolonların toplamını;  $G_1 = \sum\left(\frac{I_g}{I}\right)_1$  olup, ilk katın üstündeki döşemenin tüm kirişlerin toplamını göstermektedir.

- Hem kayma hem de eğilme etkisindeki bir sistemin kritik burkulma yükünü bulmak için ise, (2.6) bağıntısı kullanılır. (Goldberg, 1973).



$$\frac{1}{P_{0cr}} = \frac{1}{P_{of}} + \frac{1}{P_{os}} \quad (2.6)$$

Bu bağıntıda  $P_{of}$  ve  $P_{os}$  değerleri sırasıyla, (2.4) ve (2.5) denklemlerinden bulunan kritik burkulma yükleridir.

P – Δ etkileri enine yer değiştirmeleri artırdığı gibi iç momentlerin iç momentlerin artmasına da yol açar. Bu artan momentler de (2.7) ifadesi ile bulunabilirler (Timoshenko ve Gere, 1961).

$$M_i^* = M_i \cdot \left( \frac{1}{1 - \frac{P_0}{P_{cr}}} \right), \quad \beta = M_i^* / M_i \quad (2.7)$$

Bu denklemde;  $M_i^*$ , P-Δ etkisini içeren i'inci kattaki son durum momenti;  $M_i$  i'inci katta, I. Mertebe analizinden elde edilen momenttir.

Büyütme çapanı metodu, P – Δ etkilerinin belirlenmesinde hızlı fakat yaklaşık bir yöntemdir. Her ne kadar, P – Δ etkilerinin belirlenmesinde hızlı fakat yaklaşık bir yöntemdir. Her ne kadar, P – Δ etkilerinin belirlenmesinde pratik bir metotsa da, daha çok bu etkilerin ihmal edilip edilmeyeceğinin belirlenmesinde kullanılır (Gaiotti, 1989).

## 2.2 İterasyon Yöntemi

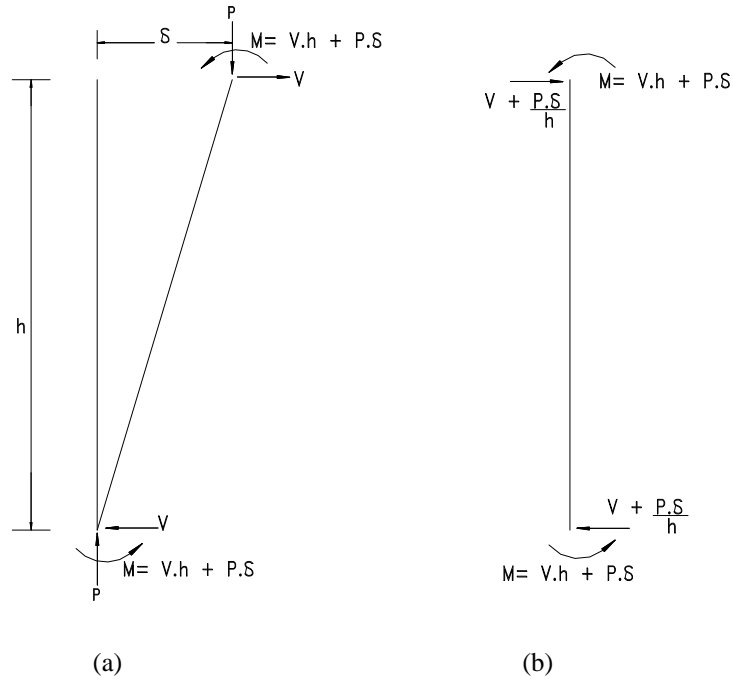
Bu metotta yapı üzerine etkiyen eksantrik yerçekimi kuvveti eşdeğer yanal kuvvete dönüştürülür (Adams 1974). Bu dönüştürülmüş eşdeğer yanal kuvvetin, yapı üzerine etkiyen gerçek yanal kuvvete eklenerek analiz edilmesiyle bulunan sonuçlar, P – Δ etkilerini içerirler.

Şekil 2.3a'da, yer değiştirmiş durumdaki kolon için, P – Δ etkisi gösterilmiştir. Kolon uçlarındaki açılmalık yer değiştirmeler ihmal edilmiş ve kolon uçlarının tutulu olduğu varsayılmıştır. Bu yaklaşımla, yer çekim kuvveti P'nin sadece kolon ucunda  $P\delta^*$  büyüklüğünde bir momente yol açtığı sonucuna varılabilir. Kolonun üstünde ya da altında oluşacak moment;

$$M^* = Vh + P\delta^* \quad (2.8)$$

ile bulunabilir. Burada  $M^*$ , kolonun altındaki veya üstünde,  $P - \Delta$  momenti etkilerini içeren son durum moment;  $V$ , kolonunun yanal kesme kuvveti;  $P$ , kolondaki yer çekimi kuvveti;  $\delta^*$ ,  $P - \Delta$  kat ötelemesini içeren son durum kat ötelemesi ve  $h$ , kat yüksekliğidir. Bu teoriye göre, eğer  $V$ , yatay kesme kuvveti  $\frac{P\delta^*}{h}$  oranında artırılır ve kolonun moment analizi yapılırsa, kolon uçlarında bulunan momentler  $P - \Delta$  etkilerini içerirler ( Şekil 2.3.b) (Gaiotti,1989).

Kolon momentlerinin tek bir işlemle bulunması için,  $\delta^*$ , son durum kat ötelemesinin bilinmesi gerekir. İlk başta son durum kat ötelemesi bilinmediği için, iterasyona I. Mertebe ötelemeden bulunacak  $\frac{P\delta}{h}$  artımıyla başlanır. İterasyona  $\delta$  kat ötelemesi,  $\delta^*$  değerine yaklaşıncaya kadar devam edilir.



Şekil 2.3 Kat yüksekliğinde kolon (Gaiotti, 1989).

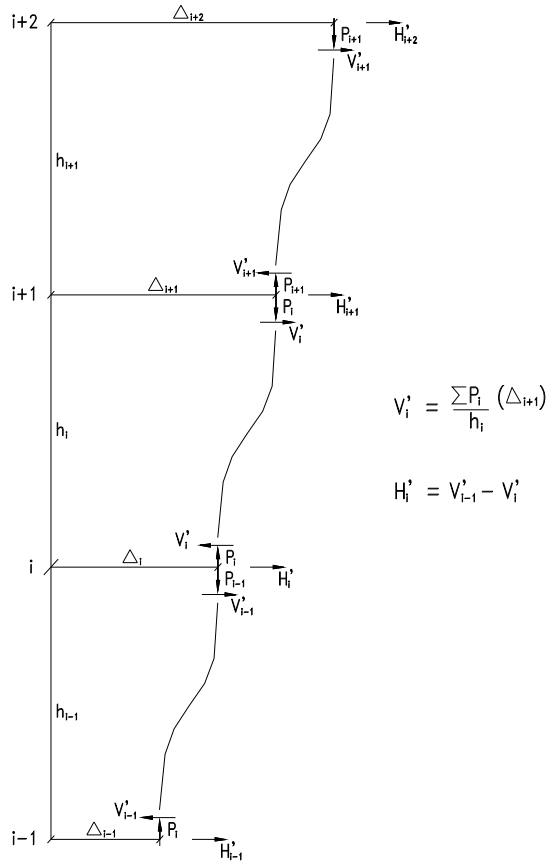
Tek bir kolon için açıklanan bu yöntem, kolaylıkla çok katlı yapılara da uygulanabilir. Şekil 2.4'de çok katlı bir yapının sıralı katları gösterilmiştir. Burada “ $i$ ”, kat seviyesini belirlemektedir. Bir “ $i$ ” katındaki yanal kesme kuvvetlerindeki artış aynı kattaki yer çekimi yüklenmesinden dolayı oluşan eksantirisiteye eşittir:

$$V_i' = \frac{\sum P_i}{h_i} (\Delta_{i+1} - \Delta_i) \quad (2.9)$$

Bu denklemde  $\sum P_i$ ,  $i$ 'inci kattaki kolon ve perdelerle etkileyen aksel yüklerin toplamı;  $h_i$ ,  $i$ 'inci katın kat yüksekliği  $\Delta_{i+1}$ ,  $i+1$ 'inci kat seviyesindeki düşey eksene göre yer değiştirmesi;  $\Delta_i$  ise  $i$ 'inci kat seviyesindeki düşey eksene göre yer değiştirmesini belirtmektedir.  $\Delta$  yer değiştirmesinin ilk iterasyon değeri, gerçek yatay yükler etkisindeki yapının I.Mertebe analizinden bulunan değeridir. Eşdeğer yanal kuvvet ise, bir kat seviyesinin üstündeki ve altındaki kat kesme kuvvetlerinin farkına eşittir (2.10).

$$H_i' = V_{i+1}' - V_i' \quad (2.10)$$

$H_i'$ , eşdeğer yanal kuvvetteki artış miktarı, dış yanal kuvvete eklenerek yapı tekrar analize tabi tutulur. Bu iterasyona, eşdeğer yanal kuvvet değerleri bir önceki iterasyonla aynı değere ulaşıncaya kadar devam edilir.



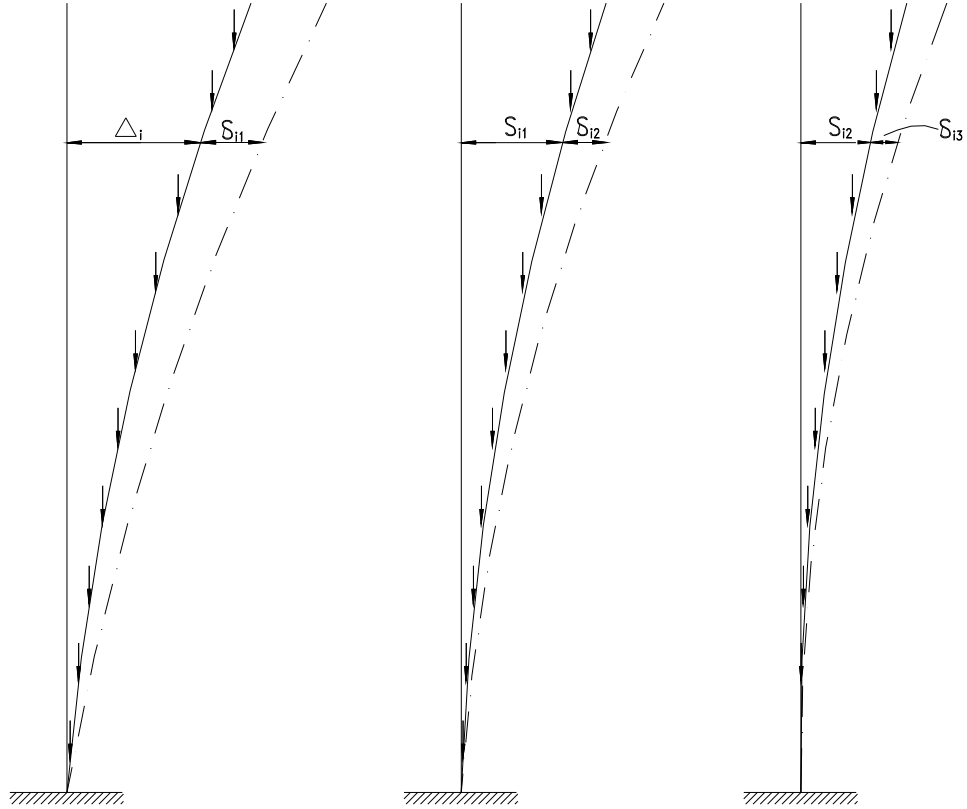
Şekil 2.4 Eşdeğer yanal kuvvet artımı (Gaiotti,1989)

Böylece, yapının analizi sonucu bulunan momentler ve yer değiştirmeler  $P - \Delta$  etkisini içermiş olurlar. Genellikle iki veya üç iterasyon yeterli gelir. Eğer beş iterasyon sonucunda sonuçlar birbirine yaklaşmazlar ise, sistem kararsız olabilir (Gaiotti,1989).

Bu metod, ikinci merteye analiz yapan programlarla yakın sonuçlar verse de, yüksek katlı yapılarda uygulanması hem zaman alıcı ve hem de yorucudur.

### 2.3 İterasyonlu Yerçekimi Yöntemi

Yanal kuvvetlerin iterasyonla artırılması metodu hem uzun zaman, hem de bilgisayar desteği gerektirir. Bunun için daha kolay ve daha gerçekçi, bilgisayarla uyumlu iteratif bir  $P - \Delta$  metodu geliştirilmiştir (Smith ve Gaiotti, 1988).



Şekil 2.5 Deforme olmuş şekle etkileyen yerçekimi kuvveti (Gaiotti, 1989).

Bu yöntemde, bir çerçeve analiz programı kullanarak, sistem I. Mertebe yanal yüklere göre analiz edilir. Sistemin,  $\Delta_i$  yer değiştirmesi sonucu deforme olmuş şekli elde edilir. Daha sonra bu deforme olmuş yüksüz şekle yerçekimi yükleri etki ettirilerek,  $\delta_{i1}$  yer değiştirme artımı bulunur (Şekil 2.5a). Bundan sonraki adım ise,  $\delta_{i1}$  artımı altında, deforme olmuş şekle tekrar yerçekimi yükleri etki ettirmektir. Bu iterasyon sonucunda da, yeni  $\delta_{i2}$ , artırılmış yer değiştirme bulunur (Şekil 2.5b). Bu işlemlere yer değiştirmedeki ek artım miktarı ihmal edilebilecek seviyeye gelene kadar devam edilir (Şekil 2.5c).

$P - \Delta$  etkisini de içeren  $i$ 'inci kattaki  $\Delta_i^*$ , son durum defarmasyonu, I. Mertebe analizinden

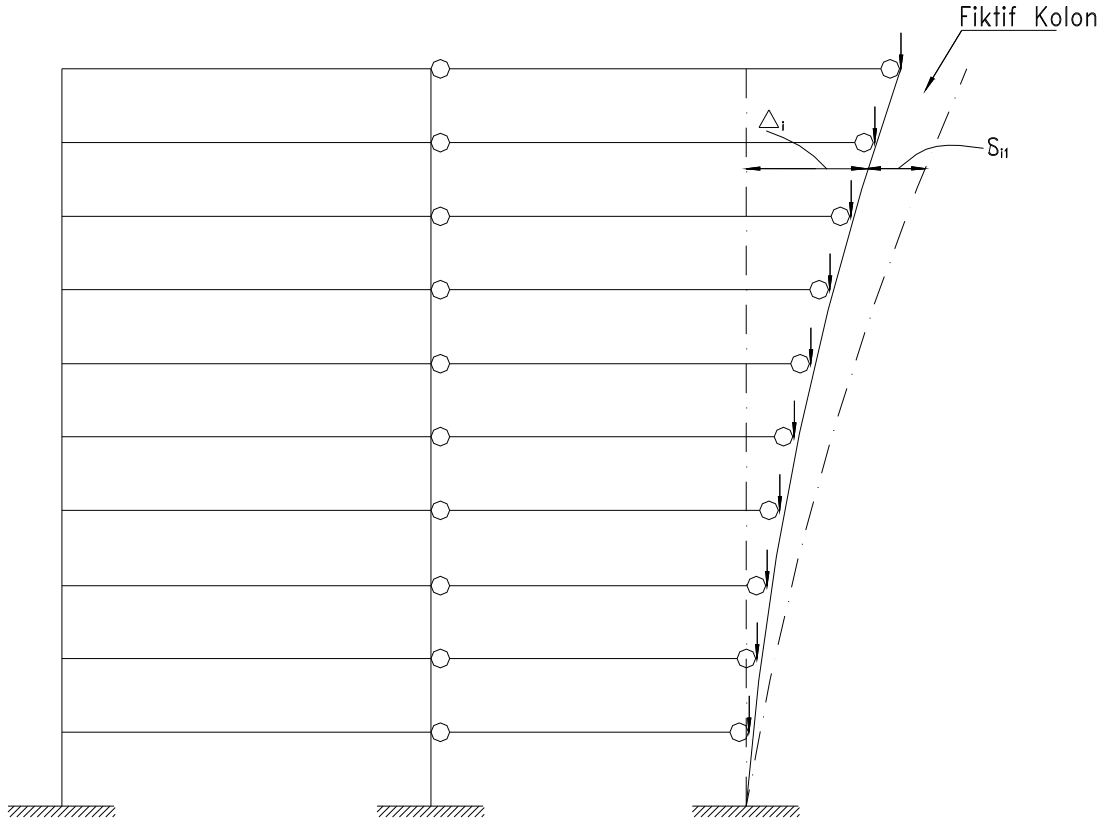
bulunan yer değiştirmeyle, diğer tüm ek yer değiştirmelerin toplamına eşittir:

$$\Delta_i^* = \Delta_i + \delta_{i1} + \delta_{i2} + \delta_{i3} + \dots \quad (2.11)$$

Düşey yükler, deforme olmuş Şekle etki ettirilmediklerinden iterasyon gerekmektedir.  $i$ 'inci katta  $P - \Delta$  etkisine içeren,  $M_i^*$  sonuç momenti, I. Mertebe analizinde bulunan momente, ek kuvvet artımda oluşan ek momentlerin eklenmesi ile bulunur:

$$M_i^* = M_i + \delta.M_{i1} + \delta.M_{i2} + \delta.M_{i3} + \dots \quad (2.12)$$

Pratikte bu metod, tüm yapı yüksekliği boyunca uzanan, eğilme rijitliği sıfıra eşit olan ve yapıya aksenal rijit bağlarla bağlanmış bir aksenal rijit fiktif kolon ekleyerek kolaylaştırılabilir (Şekil 2.6). Bir kata etkileyen yeręekimi kuvveti, deforme olmuş fiktif kolonun o kata karşı gelen kısmına yüklenir. Bu sayede, tüm yapının koordinatları yerine fiktif kolonunkilerin bilinmesi yetecektir (Gaiotti, 1989).



Şekil 2.6 Deforme olmuş Şekle etkileyen yeręekimi kuvveti (Gaiotti, 1989).

Bu metodun sonuçları, artımsal yanal kuvvet iterasyon metodu ile aynı olup, analiz zamanı bakımından 1/3 oranında daha hızlıdır.

## 2.4 Direkt Yöntem

Önceki bölümlerde açıklanan iterasyon yöntemlerinden farklı olarak, bu yöntemde direkt ikinci mertebe etkiler dikkate alınır. Bu ikinci mertebeler etkiler, her katta I. Mertebe yanal analizlerinden bulunan ve katın yanal rijitliğine bağlı olan direkt etkilerdir. İterasyon esasına dayanan yöntemlerde olduğu gibi,  $i$ 'inci kattaki yer değiştirmiş kolonlara,  $P_i$  düşey yükünün etki ettirilmesi sonucu,  $i$ 'inci katın  $S_i$ , dış kesme kuvveti (2.13) denklemi kadar artar:

$$\delta S_i = \frac{P_i \delta_i^*}{h_i} \quad (2.13)$$

Bu denklemde,  $\delta_i^*$  bir  $P-\Delta$  etkisini de içeren son durum yer değiştirmedir. Sisteme sadece yanal kuvvetler söz konusuysa,  $i$ 'inci katın kayma rijitliği (2.14) ifadesi ile bulunur:

$$K_{si} = \frac{S_i}{\delta_i} \quad (2.14)$$

$\delta_i$ ,  $i$ 'inci katın I. Mertebe yanal ötelenmesidir.  $\delta_i$ , başlangıçtaki kesme kuvveti olmak üzere,  $P-\Delta$  etkisini de içeren toplam kesme kuvveti ifadesi;

$$S_i^* = S_i + \delta S_i = S_i + \frac{P_i \delta_i^*}{h_i} \quad (2.15)$$

şeklindedir. Herhangi bir çerçevede, kat ötelenmesinin kattaki kesme kuvveti ile orantılı olduğunu kabul edilecek olursa;

$$S_i^* = \delta_i^* K_{si} \quad (2.16)$$

Bağıntısına ulaşılmış olur.(2.15) bağıntısı dikkate alınır,  $i$ 'inci katın son durum yer değiştirmesi;

$$\delta_i^* = \frac{\left[ S_i + \left( \frac{P_i \delta_i^*}{h_i} \right) \right]}{K_{si}} \quad (2.17)$$

şeklinde olur. (2.14) bağıntısı bu denklemde yerine yazılırsa ifade;

$$\delta_i^* = \frac{\delta_i}{\left[1 - \left(\frac{P_i S_i^*}{S_i h_i}\right)\right]} \quad (2.18)$$

haline gelir. Bu durumda  $i$ 'inci katta,  $^*P - \Delta$  etkisini de içeren toplam yer değiştirme;

$$\Delta_i^* = \sum_{j=1}^i \delta_j^* \quad (2.19)$$

şeklinde bulunabilir. (2.18) denklemindeki,  $1/[1 - (P_i \delta / S_i h_i)]$  çarpanı, yapı yüksekliği boyunca, yerçekimi yükünün doğrusal olmayan bir fonksiyonu şeklinde değişir.

Benzer olarak, son durum moment de;

$$M_i^* = \frac{M_i}{\left[1 - \left(\frac{P_i \delta_i}{S_i h_i}\right)\right]} \quad (2.20)$$

bağıntısı ile bulunabilir (Gaiotti,1989).

Direkt yöntem, az yada orta katlı rijit çerçevelerde kesin ve yeterli sonuçlar vermektedir.

## 2.5 Negatif Fiktif Eleman Yöntemi

Rutenberg (1981) tarafından önerilen bu yöntemde, sistem yanal kuvvetler etkisinde analiz edildiğinde moment ve yer değiştirmelerin  $P - \Delta$  etkilerini de içermesi yapısal modelde çeşitli değişiklikler yapılır. Bu değişiklik sisteme negatif rijitlik oranlı fiktif bir kolon eklemektedir. Bu kolonun rijitliği ise, yerçekimi yüklemesi ile orantılı olmalıdır. Bu sayede, her katın yanal rijitliği azalmış olur. Son durum yer değiştirme ve artırılmış eleman momentleri de, yanal yükleme ve yerçekimi yüklenmesinin bir fonksiyonu olarak belirlenebilir(Gaiotti,1989).

Fiktif kolon yönteminin incelenmesinde, Şekil 2.4 ele alınacaktır.  $H', P - \Delta$  etkilerini de içeren yanal kuvvetteki artış miktarı matris formunda yazılacak olursa (2.21) elde edilir.

$$\begin{Bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ \vdots \\ H_i \\ \vdots \\ H_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{P_o}{h_o} + \frac{P_1}{h_1} & -\frac{P_1}{h_1} & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \\ -\frac{P_1}{h_1} & \frac{P_1}{h_1} + \frac{P_2}{h_2} & -\frac{P_2}{h_2} & 0 & \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \\ 0 & -\frac{P_2}{h_2} & \frac{P_2}{h_2} + \frac{P_3}{h_3} & -\frac{P_3}{h_3} & \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \frac{P_{i-1}}{h_{i-1}} + \frac{P_i}{h_i} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \frac{P_{n-1}}{h_{n-1}} + \frac{P_n}{h_n} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \\ \vdots \\ \Delta_i \\ \vdots \\ \Delta_n \end{Bmatrix} \quad (2.21)$$

Bu bağıntı Clough, Panzien ve Nair (1975)'de, çok katlı yapılarda P – Δ etkilerinin göz önüne alınması için önerilmiştir. (2.22) bağıntısını aşağıdaki formda yazılabilir:

$$\{H'\} = [K_g] \{\Delta^*\} \quad (2.22)$$

Burada  $[K_g]$ , geometrik rijitlik matrisidir.  $H$ , yanal kuvvetlerine,  $H'$  artım miktarı eklenirse;

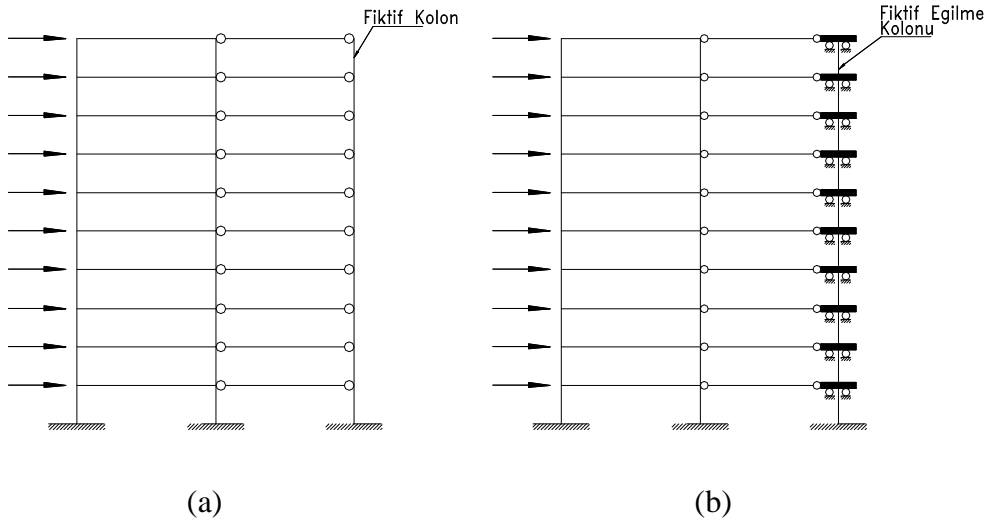
$$\{H\} + \{H'\} = [K] \{\Delta^*\} \quad (2.23)$$

elde edilir. Burada,  $[K]$ , I. Mertebe yanal rijitlik matrisidir.

(2.22) ifadesini, (2.23)de yerine yazılırsa;

$$\{H\} = [K - K_g] \{\Delta^*\} = [K_s] \{\Delta^*\} \quad (2.24)$$

bulunur. Burada,  $[K_s]$ , II. Mertebe yanal rijitlik matrisidir (Gaiotti,1989).



Şekil 2.7 (a) Fiktif kayma kolonu; (b) fiktif eğilme kolonu modeli (Gaiotti,1989)



Tüm yapı yüksekliği boyunca uzanan ve yanal rijitliği-  $P_i/h_i$  olan fiktif kolon, yapıya aksenal rijit bağlantılarla bağlanmıştır (Şekil 2.7a). Böylece, I.mertebe bilgisayar programları II. Mertebe rijitlik matrisinin tüm terimlerini üretebilir. Eğer, analiz programı kayma alanında giriş tanımıyorsa, aynı sonuçlara eğilmeli kolon davranışıyla da ulaşılabilir (Şekil 2.7b).

Bu yöntem,  $P - \Delta$  etkilerini göz önüne almasından ve iterasyon gerektirmediğinden daha elverişlidir.

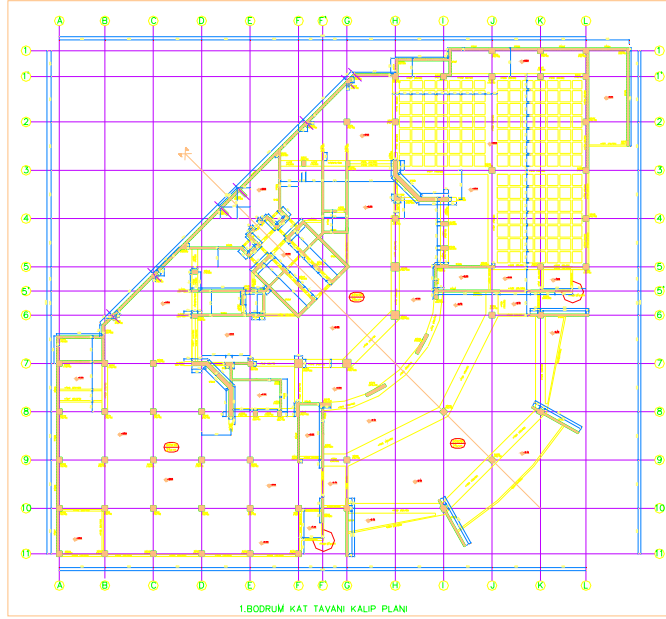
### 3. ÖRNEK YAPI: YAPI VE KREDİ BANKASI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ BİNASI

Yapı Kredi Bankası A.Ş.'ne ait olarak hizmet vermekte olan Genel Müdürlük binası, 1994 yılında projelendirilmiş olan 31 katlı bir yapıdır (Şekil 3.1).

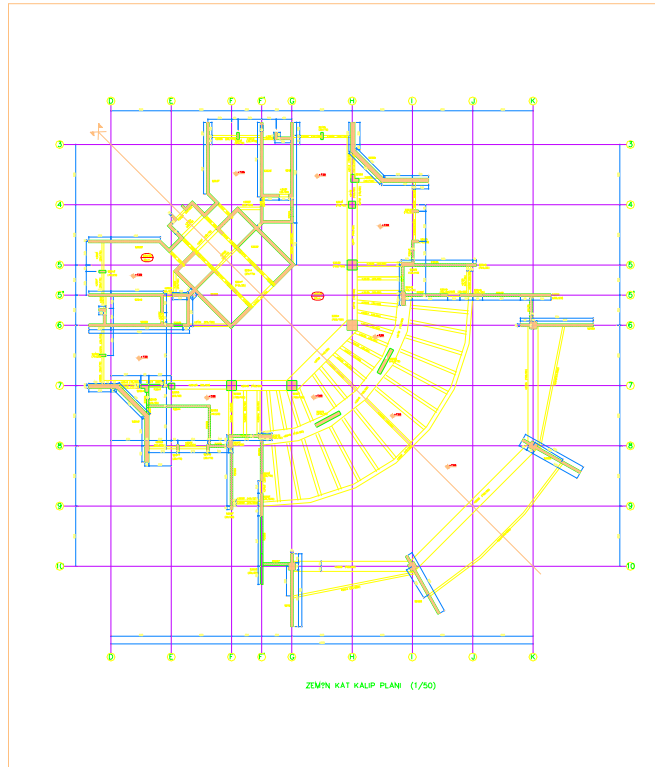


Şekil 3.1. Yapı Kredi Bankası A.Ş. Genel Müdürlük Binası

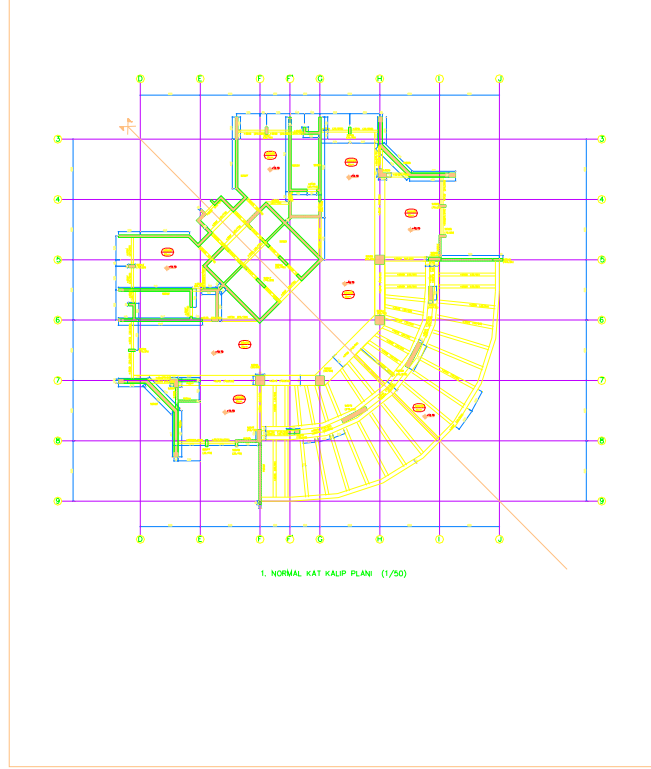
Yapıya ait onaylı mimari ve statik-betonarme projeler üzerinde gerekli incelemeler yapılarak, modelleme aşamasında kolaylık olması açısından sistem STA-4 cad programı yardımıyla modellenerek AUTO-CAD ortamında çizim dosyaları oluşturulmuştur. Programın çıktısı olarak vermiş olduğu çizim paftaları ile mevcut paftalar kıyaslanarak eksik ve/veya hatalar tespit edilmiş, gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Şekil 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5'de farklı kat planları görülmektedir.



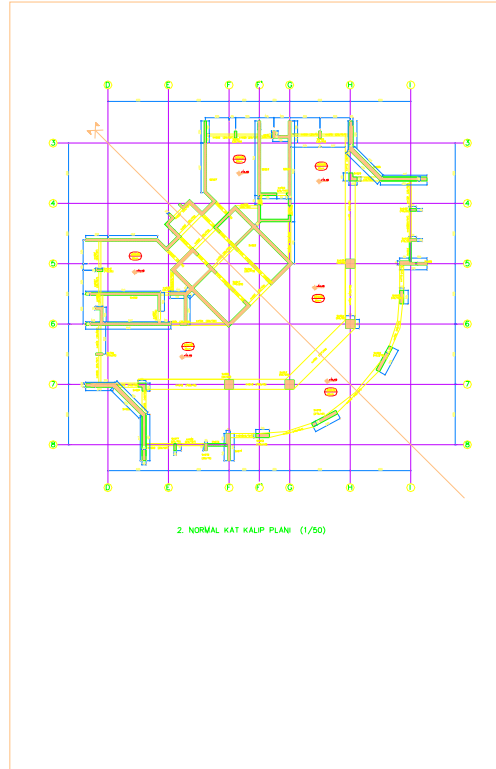
Şekil 3. 2. Bodrum Kat Planı



Şekil 3.3. Zemin kat planı



Şekil 3.4. Normal kat planı



Şekil 3.5. Normal kat planı

Bu çalışmanın inceleme konusu olan bina, 7 bodrum kat + 1 zemin kat + 23 normal kat olmak üzere toplam 31 katlı betonarme karkas bir yapıdır. Yapıya ait bazı özellikler Çizelge 3.1’de özetlenmiştir. Yapının taşıyıcı sistemi perde-çerçeve sistem, döşeme sistemi 1.bodrum katın bir bölümü kaset döşeme olup, diğer katlar plak döşeme ve temel sistemi kademeli radye temeldir.

Çizelge 3.1. Yapısal belirlemeler

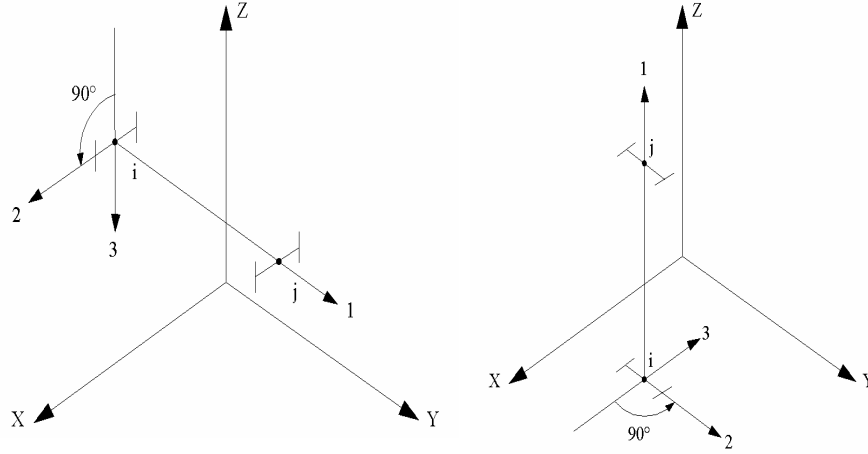
Yapı özellikleri	
Kullanım Amacı Malzeme	İş Merkezi C35/BÇI-III
Kat yükseklikleri (cm)	
1. Bodrum kat	600
Zemin kat	650
1.-12. kat	370
13. kat	430
14.-22. kat	370
Tesisat ve Asansör Mak.Dairesi	320-430
Dinamik ve geoteknik parametreler	
Deprem Bölgesi	1.derece ( $A_0 = 0.40$ )
Zemin sınıfı	Z2
Zemin Emniyet Gerilmesi	40 t/m <sup>2</sup>

### 3.1 Analizlerde Kullanılan Paket Program Hakkında Bilgi

Yapısal analizler SAP2000-ver.9 yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda modellemede temel olarak dikkat edilen hususlar ve genel kavramlar aşağıda sıralanmıştır:

#### a) Düğüm Noktası ve Elemanlar

Sonlu eleman ağının belirleyeceği tüm noktalar (gerçek veya fiktif), süreksizlik noktaları birer düğüm noktası, bu noktaların sınırladığı sistem parçaları ise eleman olarak dikkate alınır. Her nokta üç boyutlu uzayda yer aldığından koordinatları global koordinat sistemine (sistem eksenleri; X, Y, Z) göre belirlenir. Şekil 3.6’da eleman ve sistem eksenleri görülmektedir.

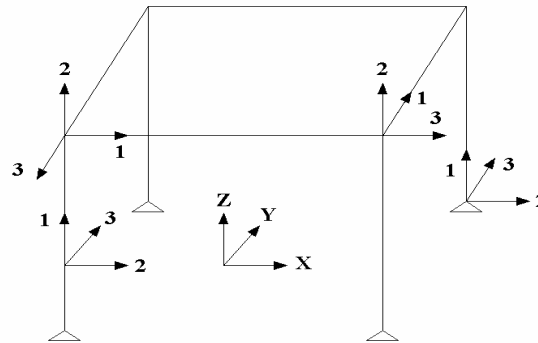


Şekil 3.6. Sistem eksenleri ve eleman eksenleri (Doran, 2004)

Düğüm noktası koordinatları dışında, düğüm noktası yükleri, deplasmanları ve bazı eleman yükleri yine global koordinat sistemine göre belirlenebilir. Sistem eksenleri ile tanımlanan düğüm noktası kuvvetleri ve deplasmanları ise çıktı dosyalarında yer alır.

Elemanlar ile ilgili yön ve doğrultu, eksen takımları arası ilişkiler, sağ el kaidesine göre belirlenir (SAP 2000 yapısal analiz programında bu işlem otomatik olarak yapılır). Eleman eksenlerine göre belirlenebilecek yön ve doğrultu parametreleri; eleman kesit özellikleri ve bazı yük şekilleridir. Sözkonusu eksenlerde tanımlı iç kuvvetler ise çıktı dosyalarında görülür.

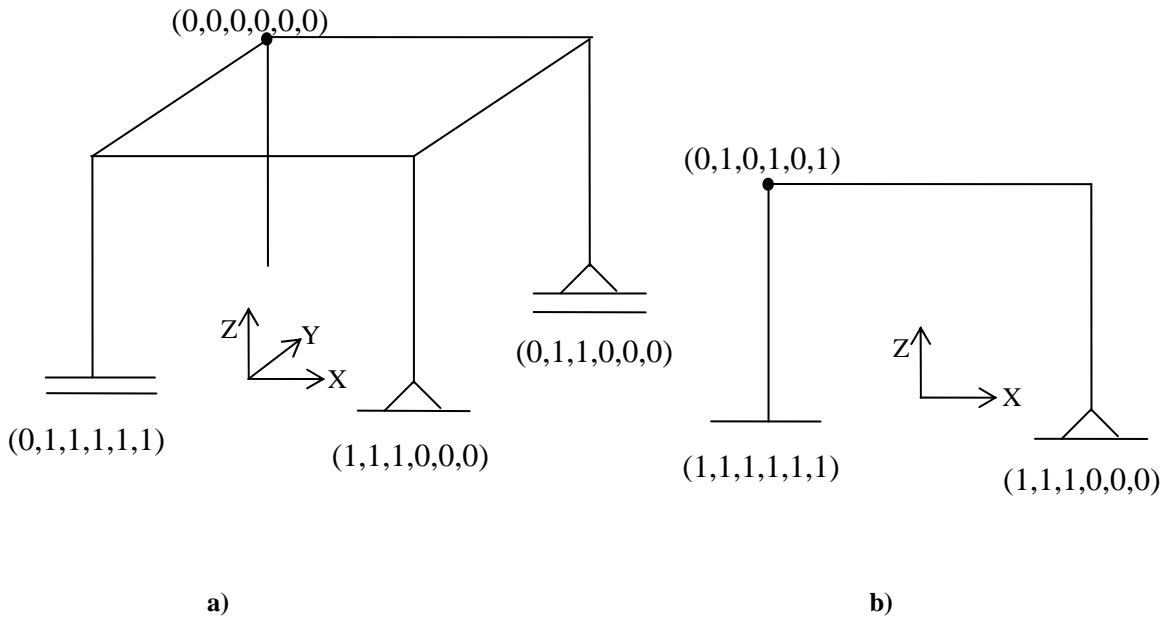
Elemenda sol uçta tanımlanan eksen takımında 1 eksen, eleman eksen doğrultusunda, 3 eksen ise genelde hakim eğilme eksenleri olarak tanımlanır. Dolayısıyla; 1-2 düzlemi yükleme düzlemi, 1-3 düzlemi ise eğilme düzlemi olarak düşünülebilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Eleman eksenlerine örnekler (Doran, 2004)

### b) Toplam Sistem Serbestlik Derecesi

Sistem elemanlarının birbirleriyle bağlantılarını sağlayan düğüm noktaları 3 boyutlu Euklid uzayında tanımlıdır. Dolayısıyla her düğüm noktası için altı serbestlik tanımlanabilir. Üçü öteleme (yer değiştirme;  $U$ ) diğer üçü ise dönme (açısal yer değiştirme;  $R$ ) serbestliğidir. Düzlemde ise bu sayı üçtür. Sistemin genelinde bu yer değiştirmeler toplam sistem serbestlik derecesi olarak anılır. Mesnetlerin hareket kabiliyetlerinin bulunduğu doğrultularda tanımlanabilecek olan mesnet şartları da toplam sistem serbestlik derecesini etkileyen şartlar olarak tanımlanabilir. Gerek mesnet şartları gerekse düğüm noktası serbestlikleri tanımlanırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, sistemin stabilitesini bozmayacak şekilde söz konusu serbestliklerin belirlenmesidir. Tutulan serbestlikler doğrultusunda yük, kütle, deplasman gibi büyüklükler tanımlanamaz. Şekil 3.8’de düğüm noktası serbestlikleri ve mesnet şartları gösterilmiştir.



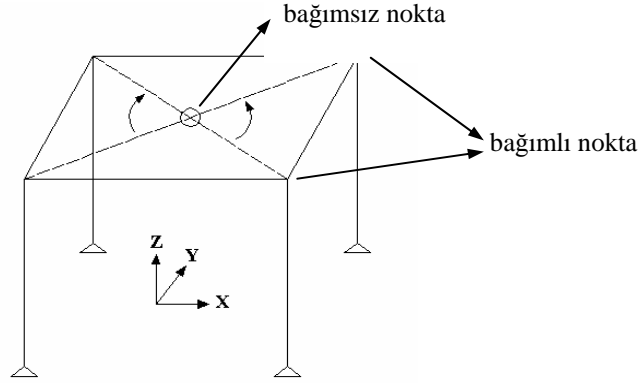
Şekil 3.8. Düğüm noktası serbestlikleri ve mesnet şartları

a) Uzayda b) XZ düzleminde (Doran, 2004)

Şekil 3.8’de serbestlik dereceleri (SD);  $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_z$ ,  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  tanımlanırken, söz konusu düğüm noktalarının,  $U$  veya  $R = 1$  ise tutulu olduğu; hareket etmediği,  $U$  veya  $R = 0$  ise serbest olduğu; hareket ettiği anlaşılmalıdır.

### c) Rijit Diyafram Hareketi

Uzay çerçevelerin yatay yüklere göre hesabında bilinmeyen sayısını azaltmak için betonarme döşemeler pratik olarak kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit kabul edilebilir ve hesaplar bu kabule göre yapılır. Bu durumda bir diyafram hareketinin varlığından sözedilebilir. Bu kabule göre yapılacak hesaplarda bu hareketin sisteme bir şekilde empoze edilmesi gerekir.



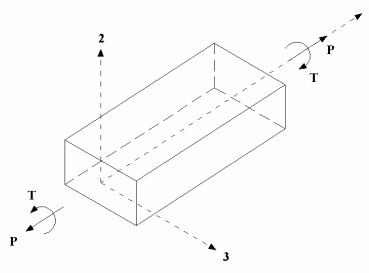
Şekil 3.9. Diyafram hareketi (Doran, 2004)

Bunun için öncelikle döşeme içinde kalmak şartıyla bir nokta (bağımsız nokta) tanımlanır. Daha sonra diğer tüm noktaların (döşeme üzerinde bulunan) bu bağımsız noktaya sonsuz rijit fiktif çubuklarla bağlandığı düşünülür (Şekil 3.9). Bu durumda söz konusu noktaların hareketleri bağımsız düğümün hareketlerine uyacaktır. Çözümlemelerde bu varsayıma sık başvurulur.

### d) Çubuk Eleman Uç İç Kuvvetleri ve Pozitif Yönleri

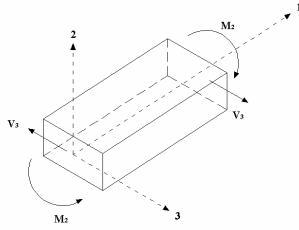
İç kuvvet, birim yüzeye etkileyen değerleri ile ölçülen gerilmeler olarak bilinmektedir. Gerilmelerin bileşkeleri ise kesit tesirleri olarak tanımlanır. Kesit tesirleri, yerel (lokal) koordinat sistemine (eleman eksenleri) göre tanımlanırlar. Buna göre her çubuğun eleman eksenini 1, 2, 3 ile gösterilmektedir. Şekil 3.10, 3.11, 3.12'de, SAP2000 yapısal analiz programında çubuk elemanlar (Frame) için tanımlı 6 adet iç kuvvet, etkidikleri düzlemler ve pozitif yönleri gösterilmiştir.





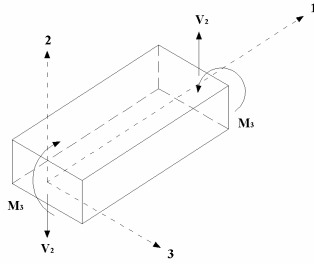
**i) Eksenel Kuvvet ve Burulma Momenti**

Şekil 3.10. Eksenel Kuvvet ve Burulma Momenti (Doran, 2004)



**ii) (1-3) Düzleminde Etkiyen İç Kuvvetler**

Şekil 3.11. (1-3) Düzleminde Etkiyen İç Kuvvetler (Doran, 2004)

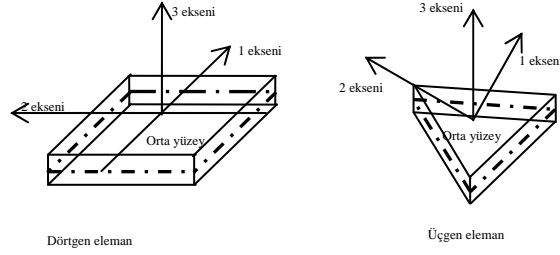


**iii) (1-2) Düzleminde Etkiyen İç Kuvvetler**

Şekil 3.12. (1-2) Düzleminde Etkiyen İç Kuvvetler (Doran, 2004)

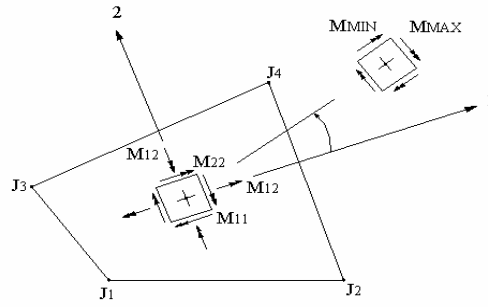
### e) Yüzeysel Elemanlar için Gerilme ve İç Kuvvetler ve Pozitif Yönleri

Yüzeysel elemanlarda (Shell veya Area elemanı) genelde 3 eksenli, 1-2 düzleminde yer alan yüzeyin dış normalidir doğrultusundadır (Şekil 3.13). Şekil 3.14 ve 3.15’de söz konusu düzlemlerde tanımlı olan iç kuvvetler, gerilmeler ve pozitif yönleri verilmiştir.



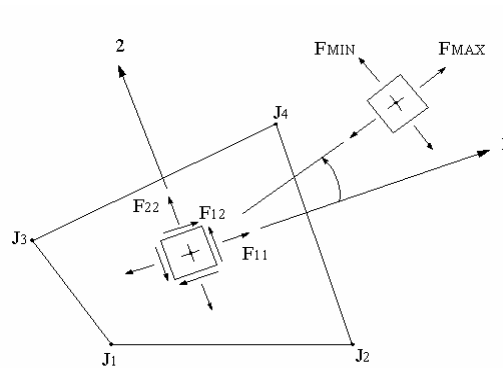
Şekil 3.13. Eleman tipleri (Doran, 2004)

#### i) Birim uzunluk için eğilme ve burulma momentleri



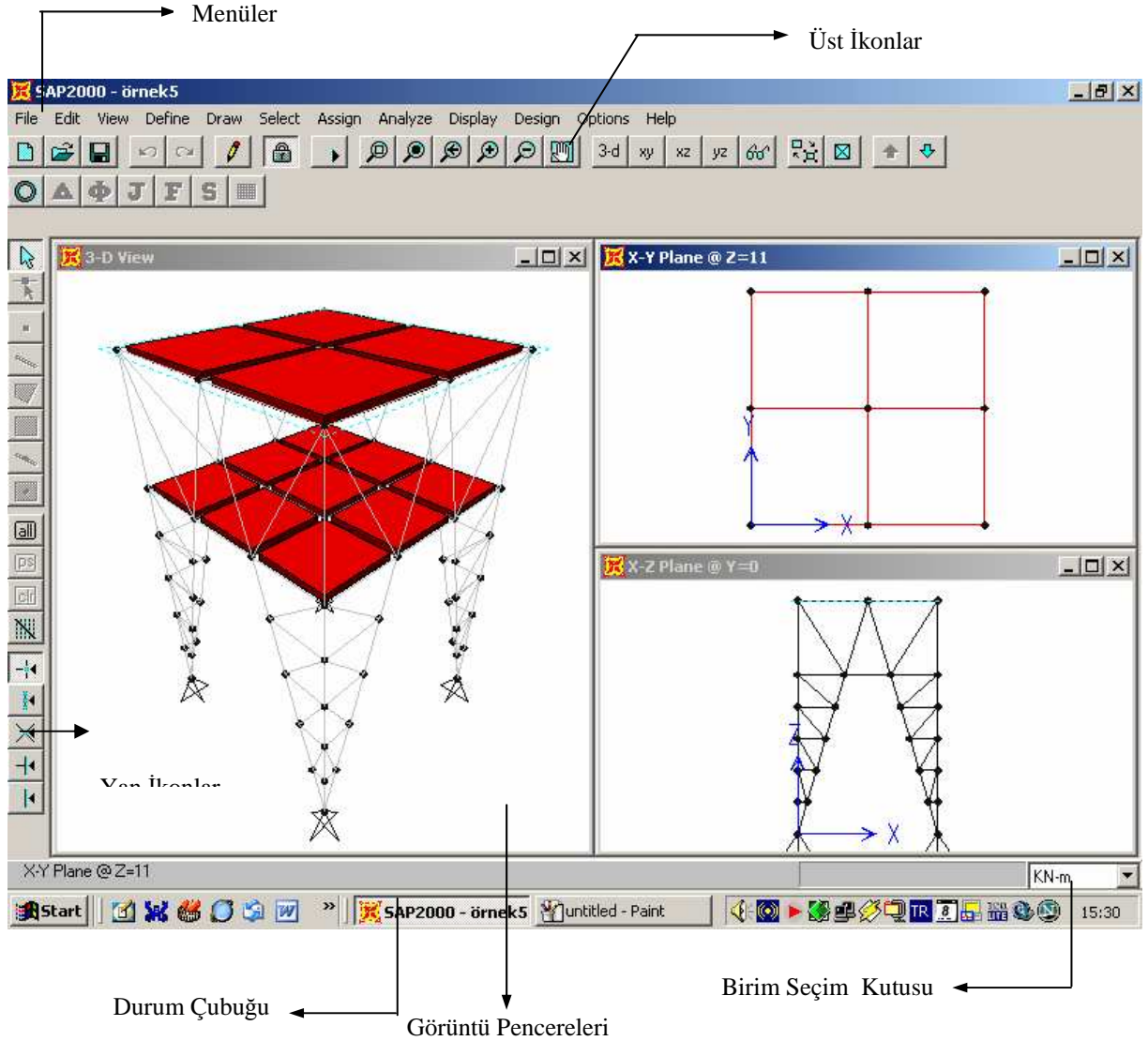
Şekil 3.14. Alan elemanları için tanımlı iç kuvvetler (Doran, 2004)

#### ii) Membran Kuvvetleri



Şekil 3.15. Alan elemanları için tanımlı gerilmeler (Doran, 2004)

### 3.2 Modelleme Aşaması



Şekil 3.16. SAP 2000 programı grafik ekranı

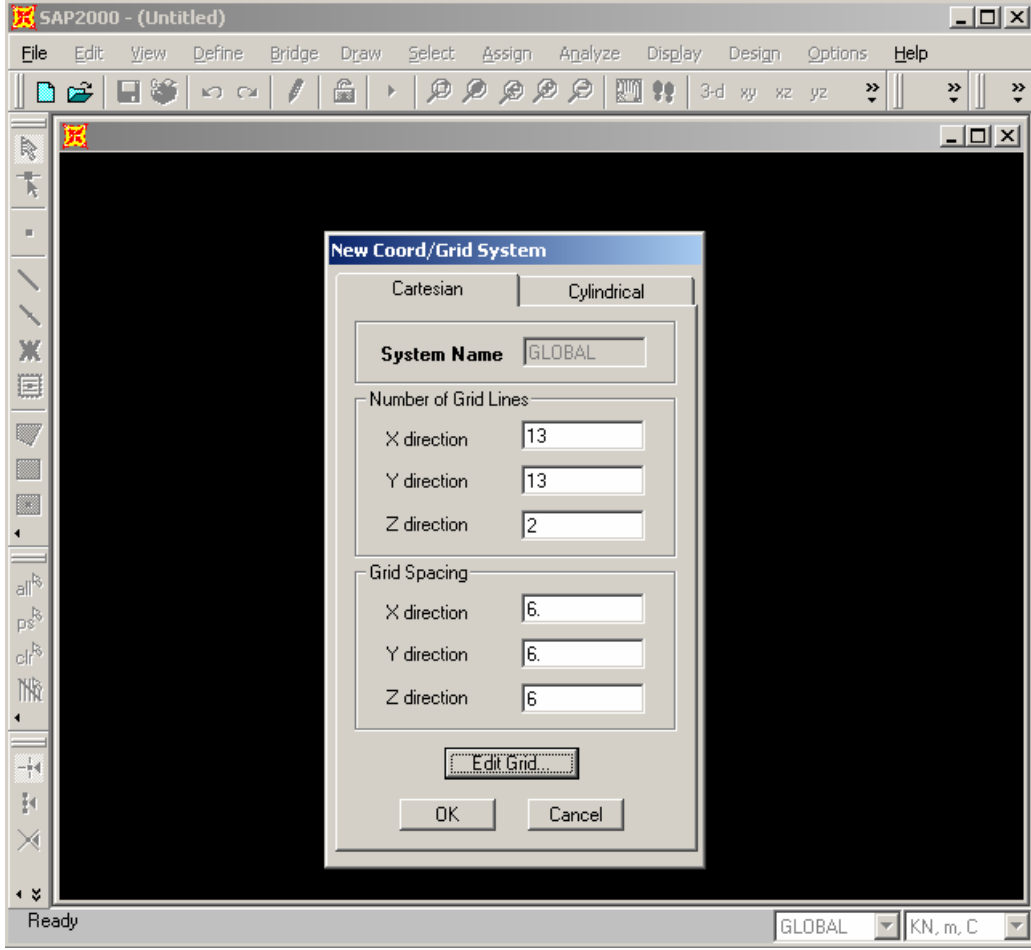
SAP2000 grafik ekranı (Şekil 3.16) birçok farklı işlevleri olan kısımlardan oluşmaktadır. Ekranın büyük bölümünü kaplayan görüntü ekranı, sistem modelinin geometrik olarak görüntülediği alandır. Model üzerinde daha sonra da açıklanacağı gibi birçok özellik (data girdisi ve çıktısı olarak) görüntülenebilmektedir. Ekranın sol üst köşesinde data dosyasına ait başlığın yer aldığı kısım bulunmaktadır (SAP2000 logosu, dosyanın ismi ve aktif olan görünüm). En üst kısımda SAP2000 logosu ve dosya isminin yer aldığı kısmın altında menüler yer almaktadır. Menülerin altında ise menülere hızlı ulaşmayı sağlayan ikonlar

bulunur. Ekranın sol tarafında yine oldukça sık kullanılan yan ikonlar yer alır. Ekranın en alt kısmında durum çubuğu yer almaktadır. Durum çubuğunda fare imlecinin koordinatları bulunur. Durum çubuğunun en sağında ise sistemde kullanılan yük ve uzunluk birimlerinin belirlendiği birim seçim kutusu yer almaktadır. Grafik ekranının ilk görüntülediği an, ikonların tamamı aktif değildir. Öngörülen ve uygulanan komuta bağlı olarak aktif hale gelir.

**SAP2000 de hesap modeli oluşturulurken genel olarak aşağıdaki adımlar izlenebilir.**


1. SAP2000 çalıştırılır.
2. Çalışılacak temel birimler seçilir.
3. New Model From Template seçeneği ile taslak geometri oluşturulur.
4. Kullanılacak malzeme türleri oluşturulur.
  - Define^Materials
5. Kullanılacak kesit özellikleri tanımlanır.
  - Define^Frame Sections
  - Define>Area Sections
6. Hesap modelinde gerekli düzenlemeler yapılır.
7. Statik yüklemeler tanımlanır.
  - Define^Load Cases
8. Çözümleme için kullanılacak yüklemeler tanımlanır ve atanır.
  - Define^Analysis Cases
9. Elemanlara yükler atanır.
  - Assign^Frame/Cable/Tendon Loads
  - Assign^Area Loads
10. Yüklemeler kullanılarak yük birleşimleri tanımlanır.
  - Define->Combinations
11. Çözümleme yapılır.
12. Boyutlandırma yapılır.

## Sistem Geometrisinin Oluşturulması:



Şekil 3.17. Koordinat sistemi

**File** menüsündeki **New Model** komutu seçilir ve pencere açılır.

Bu pencerede **Grid Only**  ikonuna basılır. Bu işlem şekil 1’de görülen New Coord/Grid System penceresini açar.

Bu pencerede ; **Cartesian Tab** bölümü seçilir,

**Number of Grid Lines** kısmındaki **X direction** kutusuna **13**

**Number of Grid Lines** kısmındaki **Y direction** kutusuna **13**

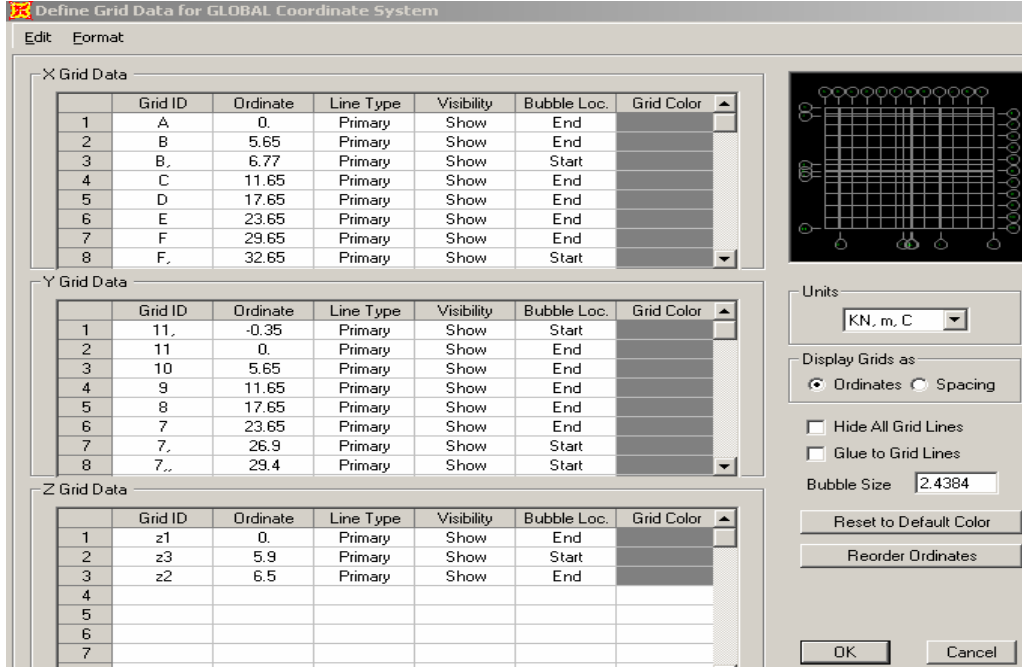
**Number of Grid Lines** kısmındaki **Z direction** kutusuna **2**

**Grid Spacing** kısmındaki **X direction** kutusuna **6**

**Grid Spacing** kısmındaki **Y direction** kutusuna **6**

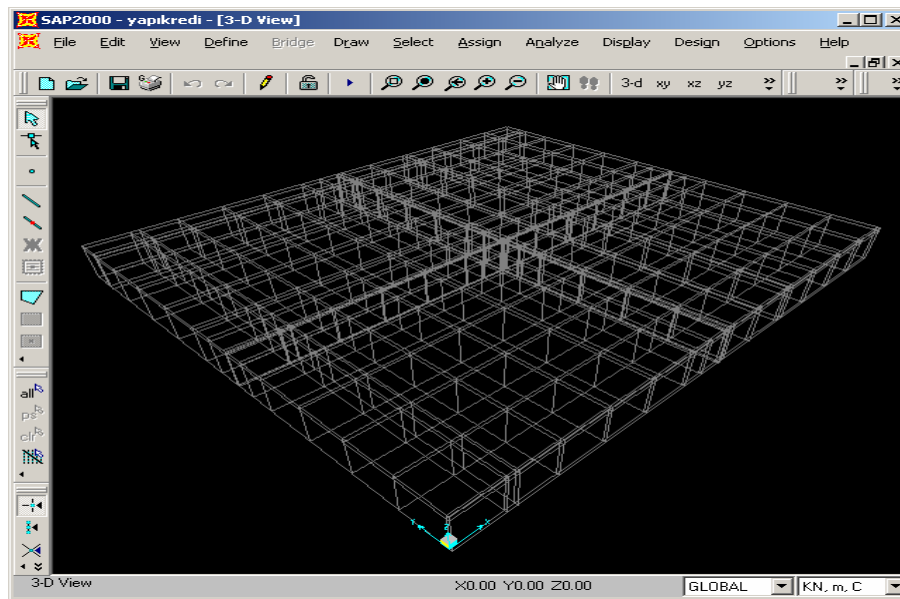
**Grid Spacing** kısmındaki **Z** direction kutusuna **6** yazılır.

Böylece 6m yüksekliğinde, X yönünde 13, Y yönünde 13 akstan oluşan ve bütün aks aralıkları 6m olan yapı, sistemde oluşturulmuş olur.



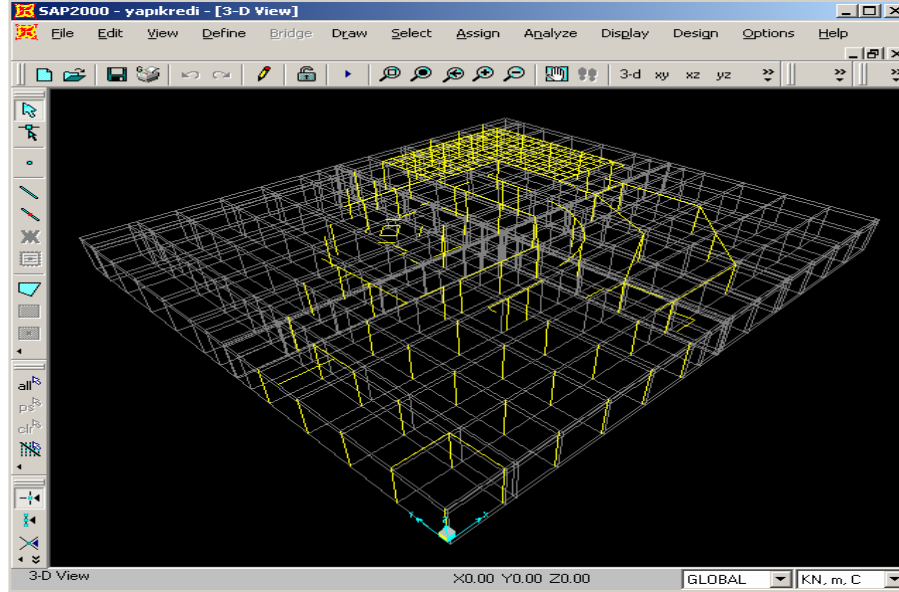
Şekil 3.18. Aks sisteminin oluşturulması

**Define** menüsünden **Coord Systems /Grids** komutu seçilir. Bu işlem **Modify Show/System** penceresini açar. Bu pencerede aks aralıkları gerçek değerleriyle girilir. Yeni akslar da bu işlem sırasında girilir.



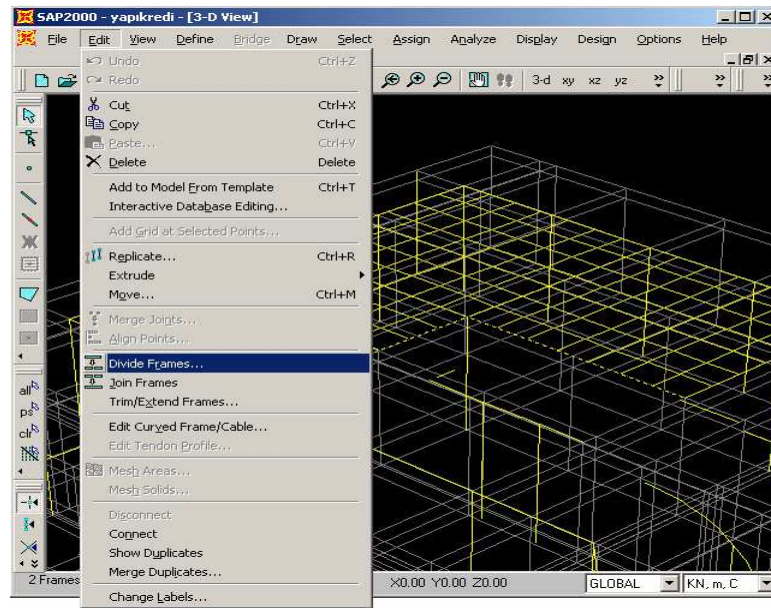
Şekil 3.19. 3D Boyutlu sisteminin görünümü

Böylece yapı aksları gerçek değerlerindedir. Sistem çok detaylı olduğundan modelleme yapılırken, üç boyutlu pencere görüntüsü ile çalışılmıştır.



Şekil 3.20. Çubuk elemanların atanması

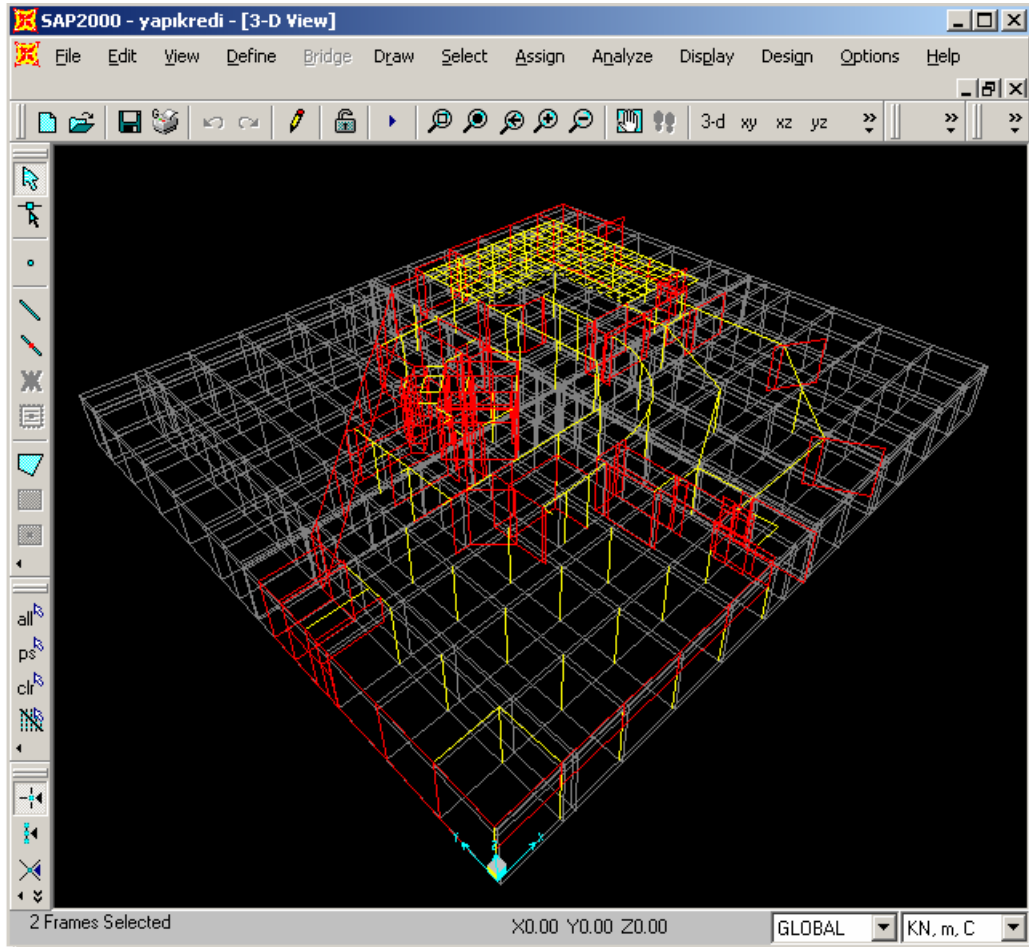
Bu kısımda kolon ve kiriş elemanların çizimi gerçekleştirilmiştir. Bazı kolon ve kirişlerin projedeki yerleri tam aksta olmadığından bunların koordinatları (X, Y) projeden okunmuştur. Sistemde o noktalara karşılık gelen yerlere öncelikle özel düğüm noktaları atanmış ve çubuk elemanlarla birleştirilmiştir. Böylece akslarda olmayan yapı elemanları oluşturulmuştur.



Şekil 3.21. Kaset sistemin oluşturulması

Kaset sistemi oluşturulurken, ızgara kirişlerin oturduğu ana kirişler **Divide Frames** komutuyla parçalara bölünmüştür.

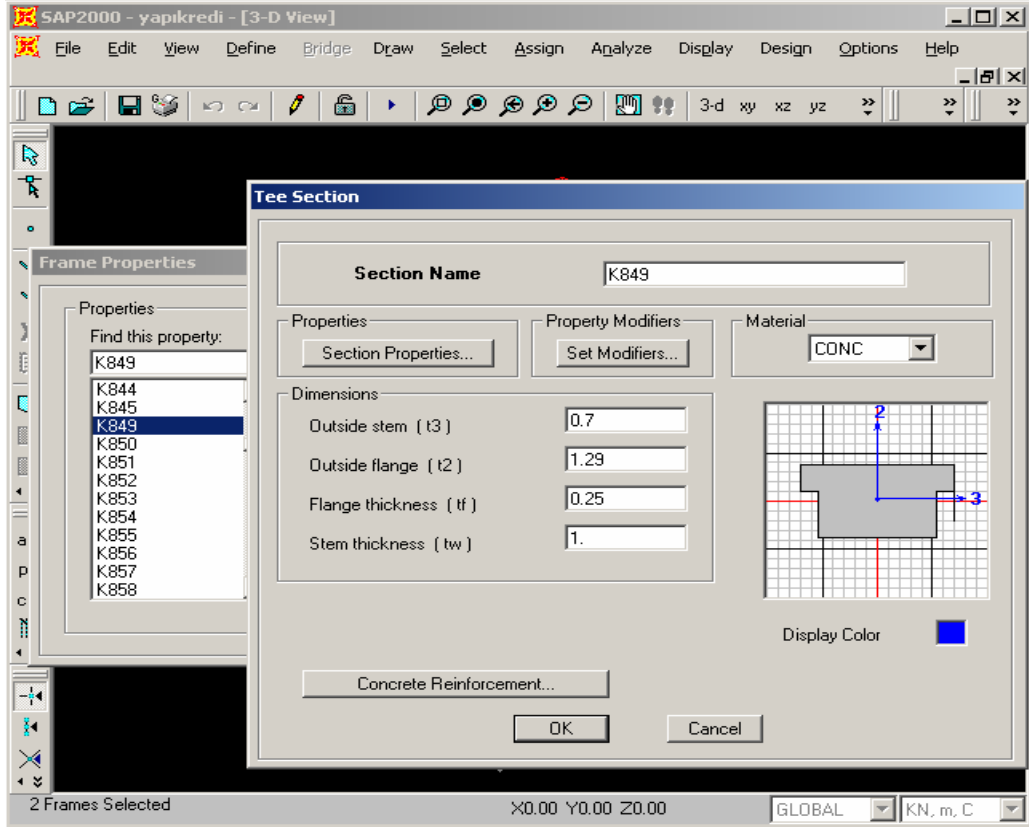
**Edit** menüsünden **Divide Frames** komutu seçilir. Bu işlem **Divide Selected Frames** penceresini açar. Bu pencerede; Ana kirişi üzerindeki seçili düğüm noktaları oranında bölebilmek için **Break at intersection with selected frames and joints** kutusu tıklanır.



Şekil 3.22. Shell elemanların tanımlanması

Yapının esas taşıyıcı sisteminde yer alan tüm Perde, yüksek kiriş ve poligon elemanlar yüzeysel eleman(shell) olarak tanımlanmıştır.





Şekil 3.23. Kiriş kesitlerinin tanımlanması

Burada kirişlerin tabla genişlikleri de dikkate alınarak bu kata ait kirişlerin ebatları girilmiştir.

Kirişler tanımlanırken; **Define** menüsündeki **Frame Sections** komutu seçilir.

Bu pencerede; **Add Tee Section** komutu seçilir,

**Add Tee** komutu seçilir,

**Section Name** kısmına “K849” yazılır,

**Material** kısmında **CONC** seçilir,

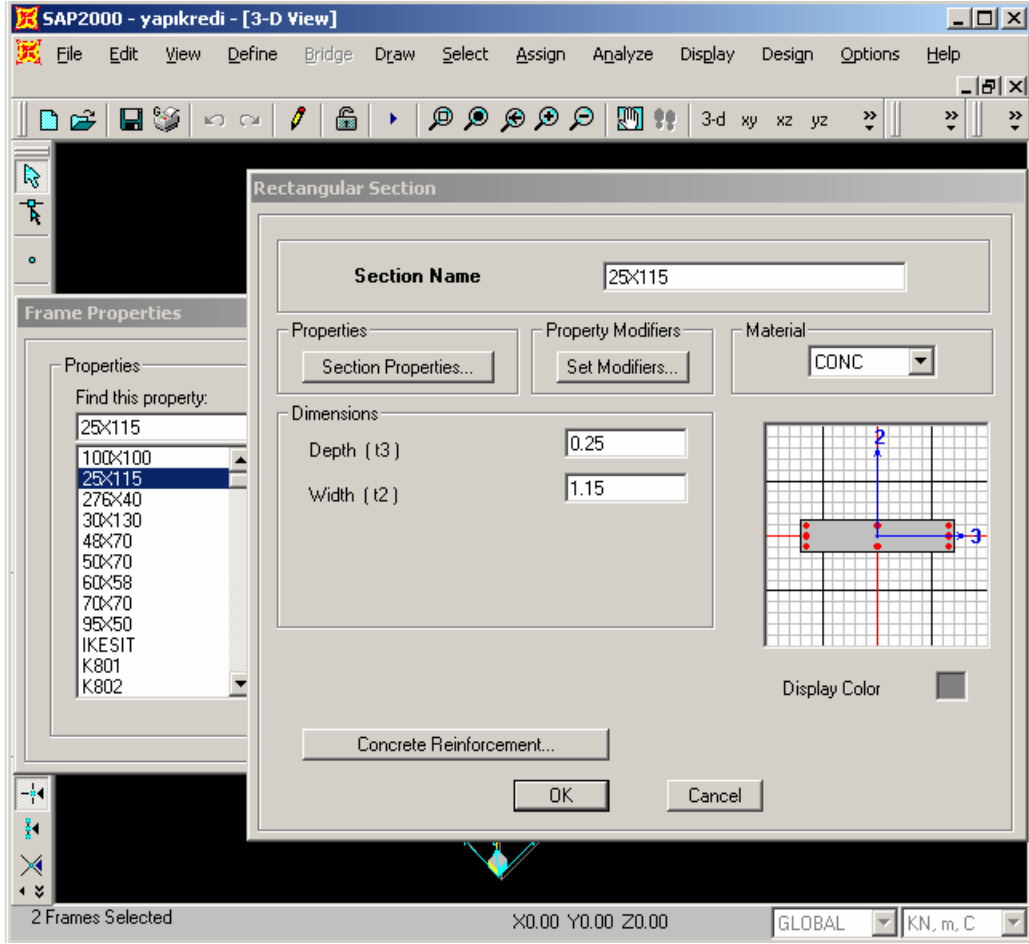
**Outside Stem (t3)** kutusuna 0,70 (kiriş yüksekliği)

**Outside Flange (t2)** kutusuna 1.29 (etkili tabla genişliği)

**Flange Thickness (tf)** kutusuna 0,25 (döşeme kalınlığı)

**Stem Thickness (tw)** kutusuna 1,00 (gövde genişliği) yazılır.

Benzer şekilde diğer kirişler de tanımlanmıştır.



Şekil 3.24. Kolon kesitlerinin tanımlanması

Kolonlar tanımlanırken; **Define** menüsündeki **Frame Sections** komutu seçilir.

Bu pencerede; **Add Rectangular** komutu seçilir,

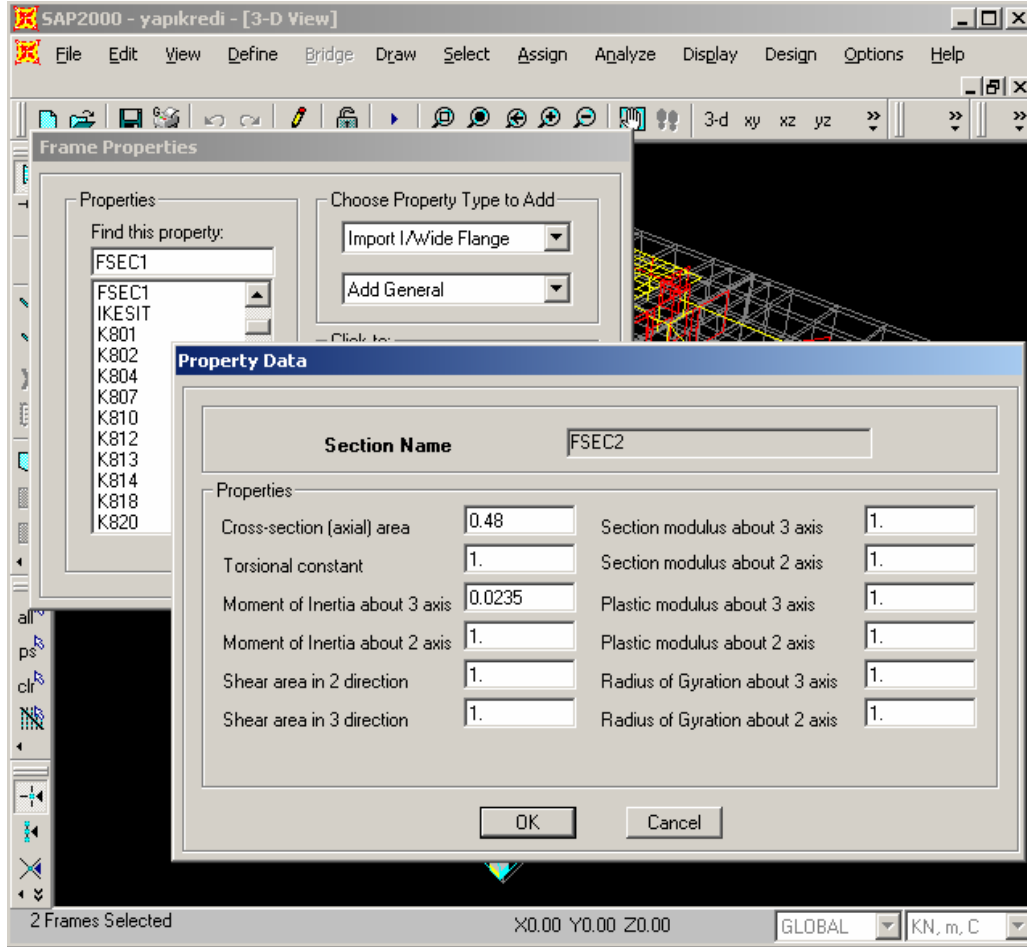
**Section Name** kısmına “25x115” kesit ismi olarak yazılabilir,

**Material** kısmında **CONC** seçilir,

**Depth (t3)** kutusuna 0,25 (elemanda 3 eksenine dik olan boyut)

**Width (t2)** kutusuna 1,15 (elemanda 3 eksenini doğrultusundaki boyut).

Benzer şekilde diğer kolonlar da tanımlanmıştır.



Şekil 3.25. Poligon kolonların tanımlanması

Projede iki adet poligon özelliğinde kolon tanımlanmıştır. Öncelikle bu kolonların alanı ve atalet momentleri hesaplanmıştır.

Bu kolonlar tanımlanırken; **Define** menüsündeki **Frame Sections** komutu seçilir.

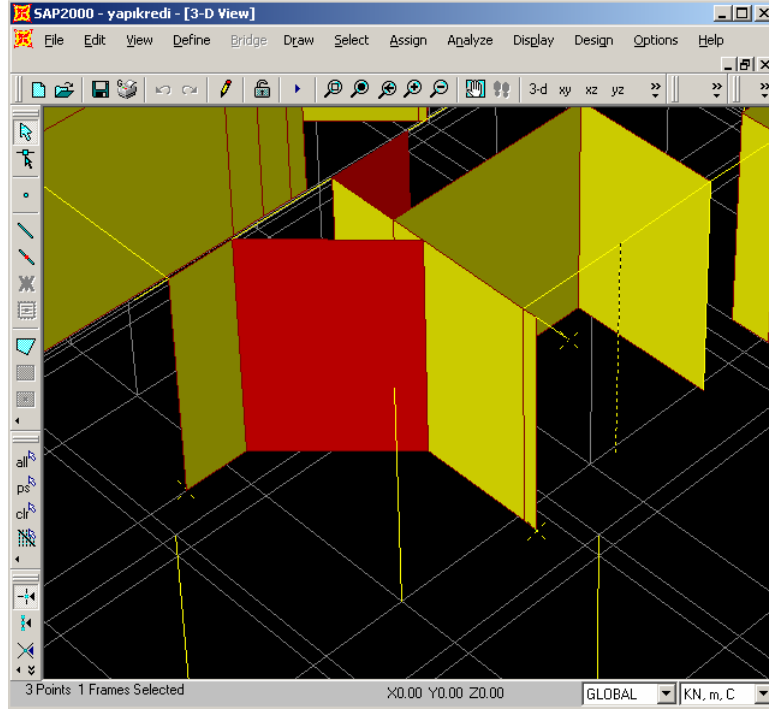
Bu pencerede; **Add General** komutu seçilir,

**Cross-Section Area** kısmına “0,48” (poligon kolonun alanı)

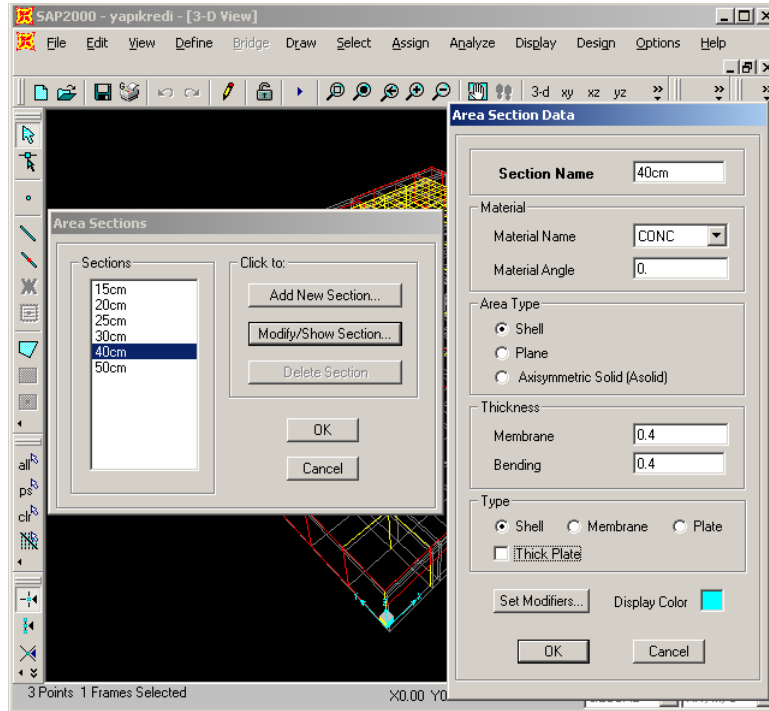
**Moment of inertia about 3 axis** kutusuna “0,0235” (poligon kolonun atalet momenti) yazılır ve onaya basıldığında, **General section** penceresi açılır.

**Depth (t3)** kutusuna 1,00 (elemanda 3 eksenine dik olan boyut)

**Width (t2)** kutusuna 1,00 yazılır (elemanda 3 eksenini doğrultusundaki boyut).



Şekil 3.26. Perde kesitlerinin oluşturulması



Şekil 3.27. Perde kesitlerinin atanması

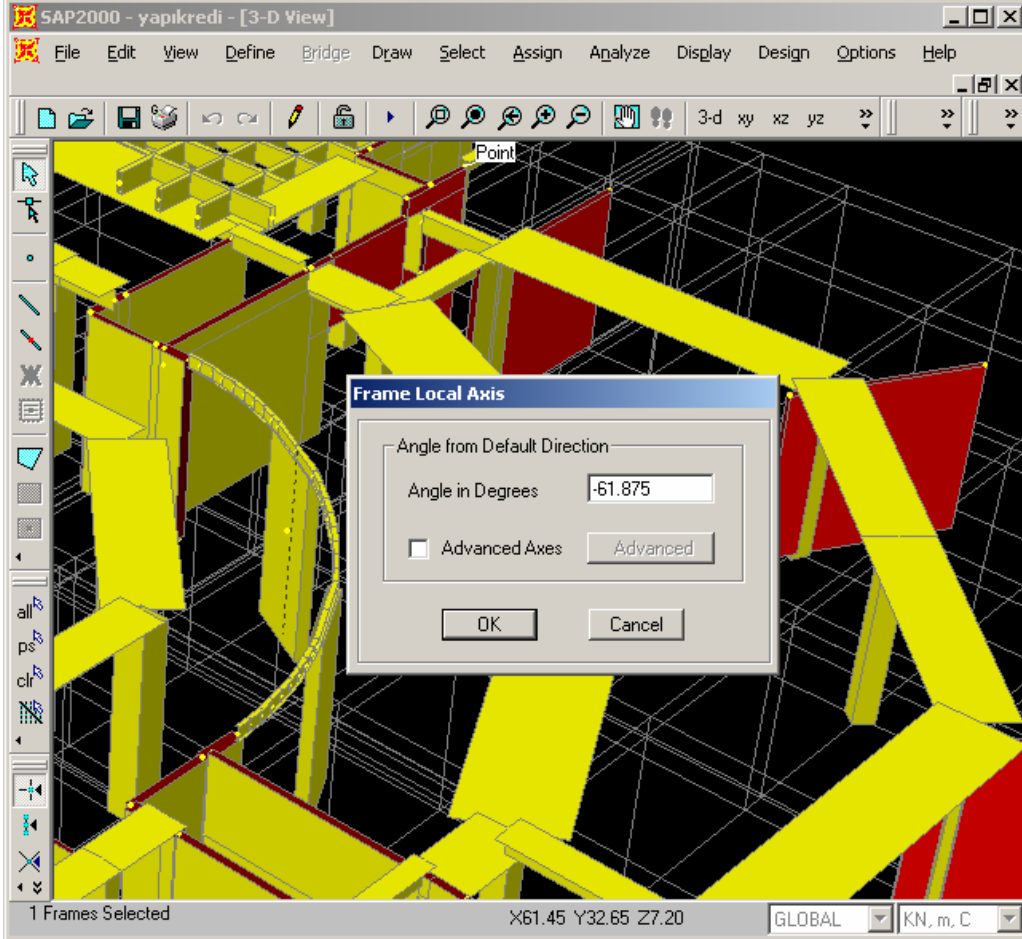
**Define** menüsündeki **Area Sections** komutu seçilir. Bu işlem **Define Area Sections** penceresini açar. Bu pencerede;

**Modify/Show Section** kutusu tıklanır,



Böylece ilgili kesit atanmış olup ve diğer kesitlerde atanmıştır.

Sistemde dairesel kirişler mevcuttur. Bu kirişler yeterince küçük doğrusal eksenli kirişler olarak tanımlanmıştır.



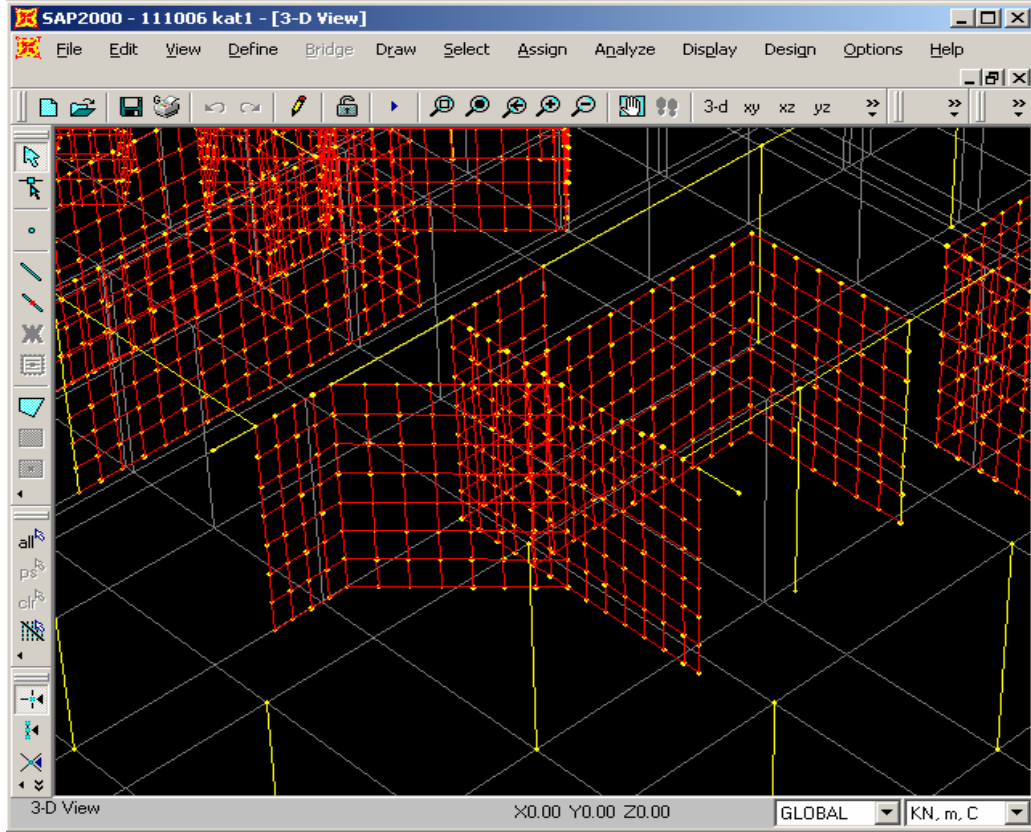
Şekil 3.29. Bazı kolonların döndürülmesi

Projede oluşturulan x,y aks sistemine göre, bazı kolonlar sistem eksenleri ile belirli açılar yapmaktadır. Bu tip elemanların çizimi şu şekilde yapılmıştır:

Döndürülecek kesit seçilir. **Assign** menüsündeki **Frame/Cable/Tendon** seçeneğinin altındaki **Local axes** komutu seçilir.

**Angle in Degrees** kısmına “-61.875” (seçili kolon saat yönünün tersi istikametinde yaklaşık 62 ° açıyla döndürülmüş olur).

Diğer kolonlar da bu şekilde oluşturulmuştur.



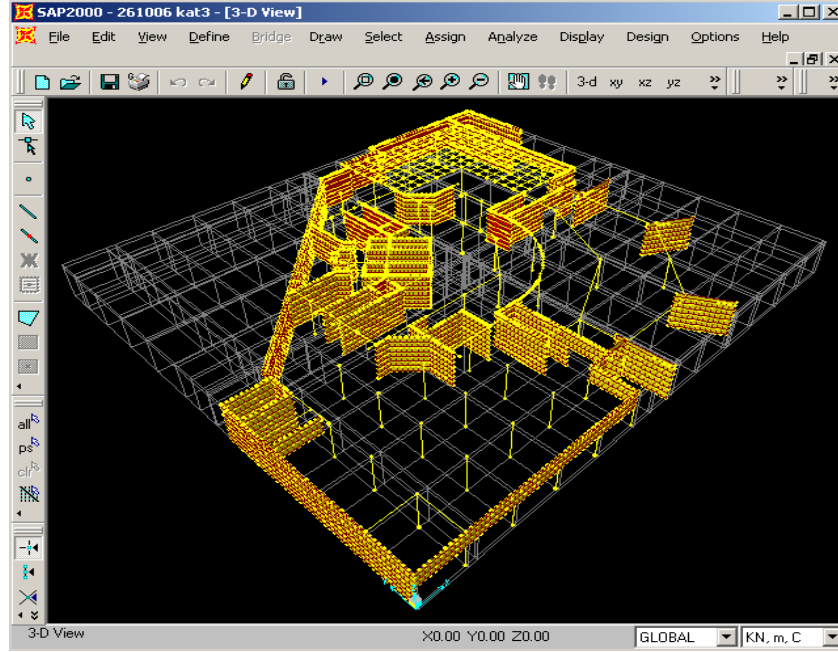
Şekil 3.30. Perde elemanlar için sonlu elemanlar ağı

Daha önce tanımlanan ve atanan perde ve yüksek kirişlerde sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur.



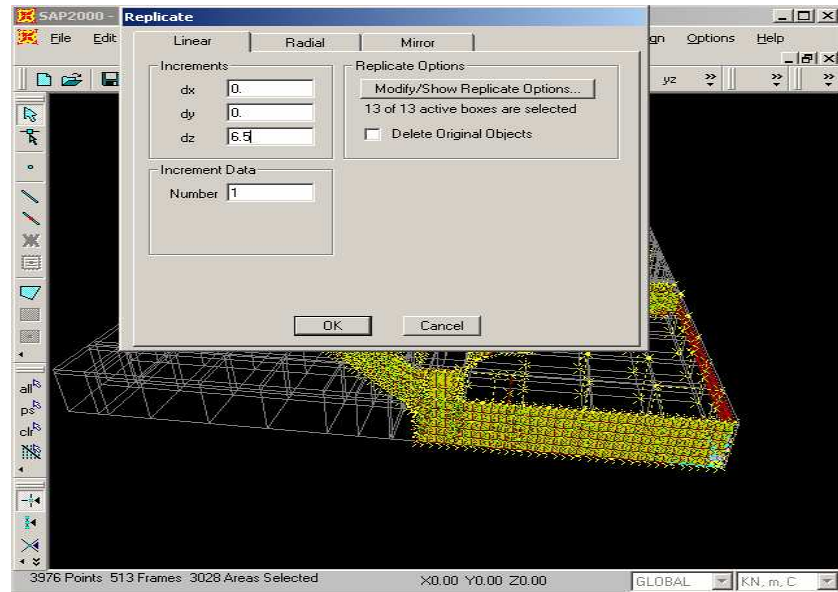
Şekil 3.31. Sonlu eleman ağı oluşturulması

Perdeler ya da yüksek kirişler bölünürken; **Edit** menüsündeki **Mesh Areas** komutu seçilir. Açılan **Mesh Selected Shells** penceresinde daha önce seçili olan elemanın boyuna göre, **mesh into** ve **by** kutucuklarına değerler girilir.



Şekil 3.32. Bodrum katın oluşturulması

Sistemdeki tüm elemanlar atanmış, çubuk elemanlar bölünmüş, perde ve yüksek kirişler için sonlu elemanlar ağı belirlenmiş ve atanmıştır. 1.kat ile ilgili tüm detaylar sistemin oluşturulmasında dikkate alınmıştır.



Şekil 3.33. Kat kopyalama



İkinci katı kopyalamak için;

**Edit** menüsündeki **Replicate** komutu seçilir. Bu işlem **Replicate** penceresini açar.

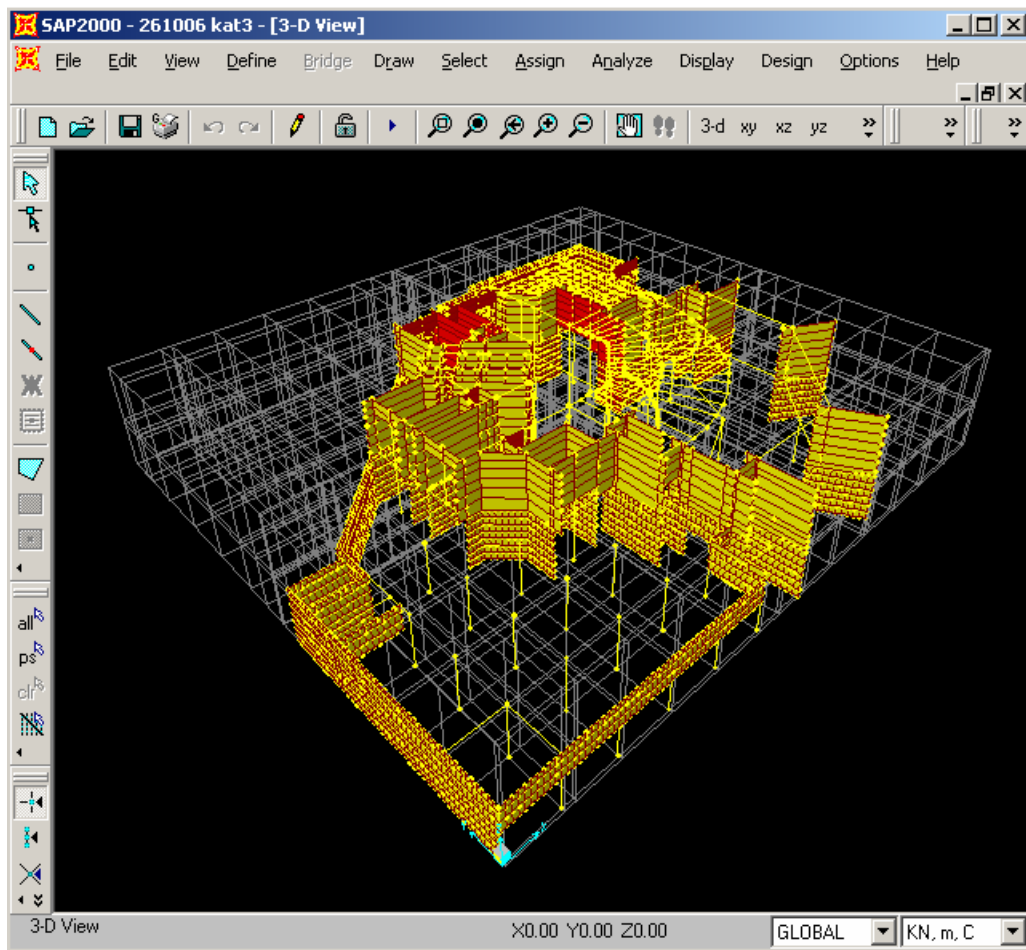
Bu pencerede;

**Increments** kısmındaki **dx** ve **dy** kutularına 0

**Increments** kısmındaki **dz** kutusuna 6,5

**Increment Data** kısmındaki **Number** kutusuna 1 yazılır.

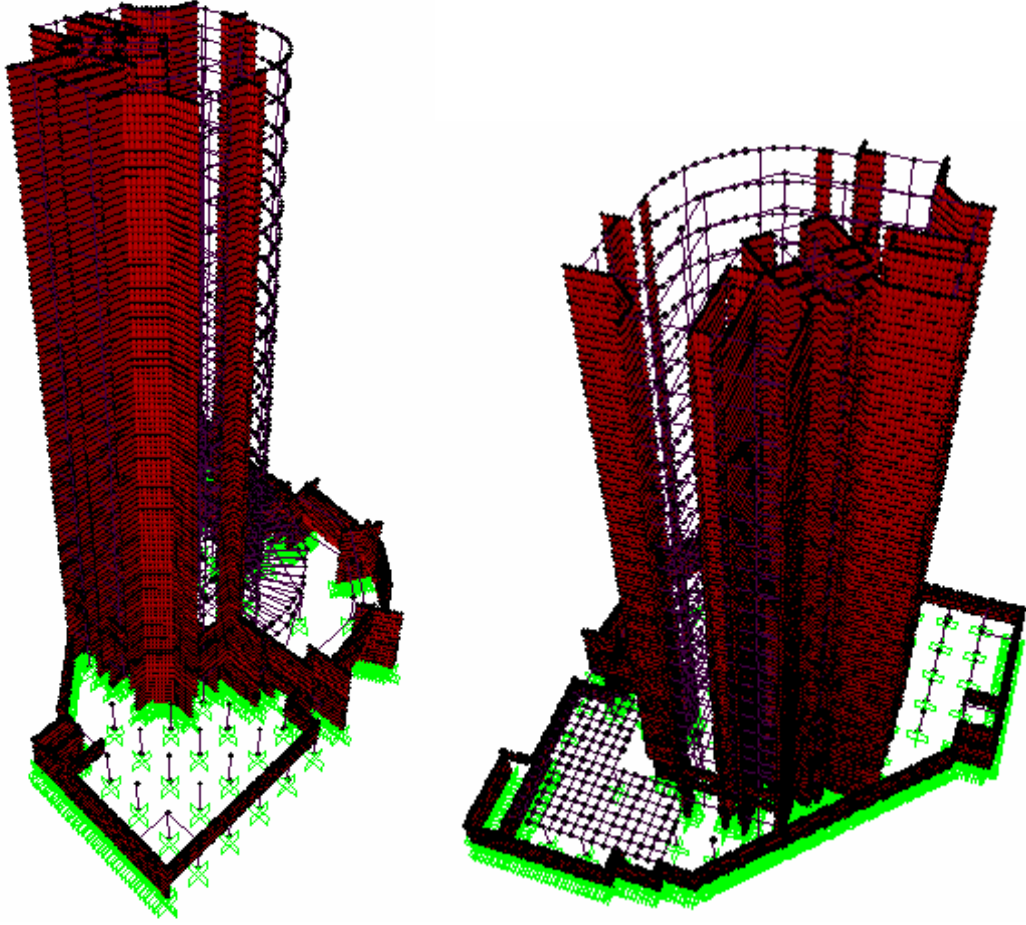
Böylece 2.kat kopyalaması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.34. Zemin katın oluşturulması

İkinci kat kopyalandıktan sonra 1.katta olup, 2.katta olmayan tüm elemanlar silinmiştir. Bu aşamadan sonra yeni perde, yüksek kiriş, kolon ve kiriş kesitleri tanımlanmış ve atanmıştır.

Şekil 3.35’de üç boyutlu numerik model çeşitli açılardan görülmektedir.



Şekil 3.35 Çeşitli açılardan 3D numerik model

### 3.3 Yapısal Analizde Dikkate Alınan Dış Etkiler

Bu kısımda, ikinci mertebeye etkilerini belirleyebilmek açısından ele alınan örnek yapı için dış etki olarak, düşey yükler, rüzgar ve deprem yükleri öngörülmüştür. İleriki bölümlerde bu yüklerin ne şekilde dikkate alındığı detaylı olarak açıklanmıştır.

#### 3.3.1 Düşey yükler

Düşey yükler; eleman ağırlıkları, duvar ve döşem yükleri olarak hesaplanmış ve kirişlere ayrı ayrı etki ettirilmiştir. Döşemelerden kirişlere iletilecek yük şekilleri Şekil 3.36-3.39’da gösterilmiştir. Ayrıca Bölüm 3.3.3’de bahsedileceği üzere dinamik hesapta dikkate alınmak üzere kat kütlelerinin hesabı da bu bölüm içerisinde verilmiştir.

**Döşeme Yükleri**

KAPLAMA
2 cm KAPLAMA HARCI
5 cm ŞAP
25 cm DÖŞEME BETONU
2 cm SIVA

$$0,02 \cdot 2,20 = 0,044 \text{ t/m}^2$$

$$0,05 \cdot 2,20 = 0,110 \text{ t/m}^2$$

$$0,25 \cdot 2,50 = 0,625 \text{ t/m}^2$$

$$\underline{0,02 \cdot 1,80 = 0,036 \text{ t/m}^2}$$

$$= 0,815 \text{ t/m}^2$$

bu değere kat döşemeleri için geçerli olan kaplama yükleri ilave edilmiştir.

**Kaplamalar**

Granit	2cm	2,8 t/m <sup>3</sup>	0,02 . 2,80 = 0,056 t/m <sup>2</sup>
Mermer	3cm	2,8 t/m <sup>3</sup>	0,03 . 2,80 = 0,084 t/m <sup>2</sup>
Yer seramiği	1cm	2,2 t/m <sup>3</sup>	0,01 . 2,20 = 0,022 t/m <sup>2</sup>
Karo	2cm	2,2 t/m <sup>3</sup>	0,02 . 2,20 = 0,044 t/m <sup>2</sup>
Lam.Parke	1,5cm	0,8 t/m <sup>3</sup>	0,015.0,80 = 0,012 t/m <sup>2</sup>

**Duvar Yükleri**

Bodrum kat ve Zemin kat(H= 600-650 cm)

19cm tuğla	2,0 t/m
19cm tuğla(kapı-pencere)	1,7 t/m
13cm tuğla	1,6 t/m
13cm tuğla(kapı-pencere)	1,3 t/m

Diğer katlar(H= 370 cm)

19cm tuğla	1,1 t/m
19cm tuğla(kapı-pencere)	0,8 t/m
13cm tuğla	0,9 t/m
13cm tuğla(kapı-pencere)	0,6 t/m

**Kat Kütleleri****1.Bodrum kat kütlesi**

sabit yükler:

kolonlar:20711 kN, kirişler:4667 kN, döşeme: 27358 kN, duvar: 3474 kN

$$G = 63210 \text{ kN}$$

hareketli yükler:

döşeme: 15195 kN

$$Q = 15195 \text{ kN}$$

$$W = 63210 + 0,30 \times 15195 = 61768,5 \text{ kN}$$

$$m = 61768,5/9,81 = 6908,3 \text{ kNs}^2/\text{m}$$

benzer şekilde diğ er kat kütleleri hesaplanmış ve aşağıda verilmiştir.

**Zemin kat ;**

$$W = 31728,5 \text{ kN}$$

$$m = 31728,5/9,81 = 3234,3 \text{ kNs}^2/\text{m}$$

**1.Normal kat ;**

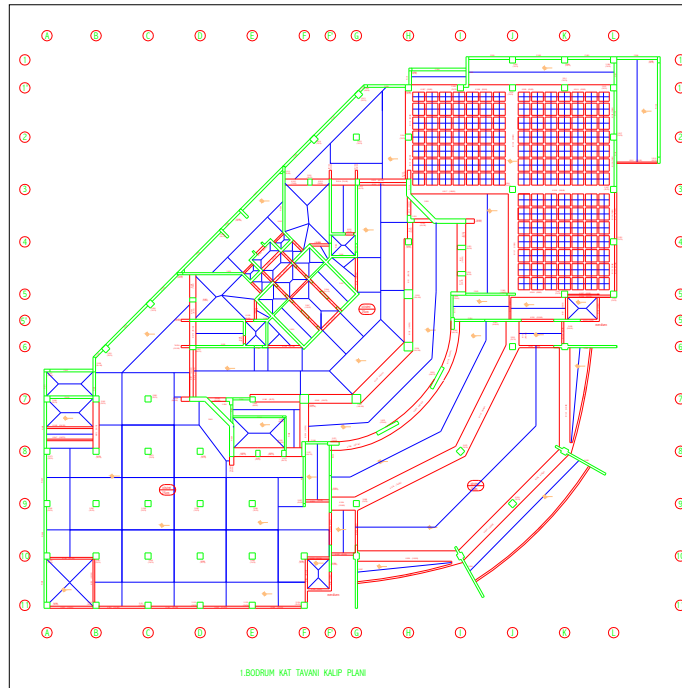
$$W = 19491,5 \text{ kN}$$

$$m = 19491,5/9,81 = 1986,9 \text{ kNs}^2/\text{m}$$

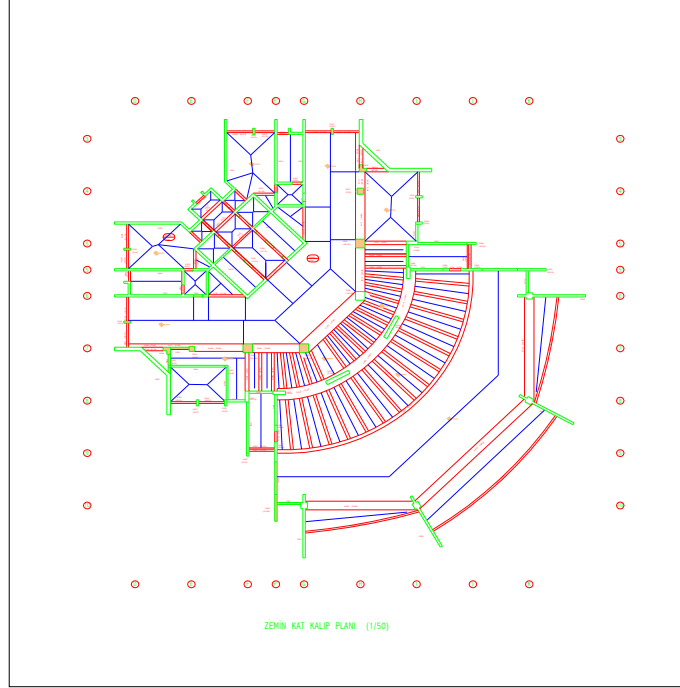
**2.Normal kat ;**

$$W = 14624,5 \text{ kN}$$

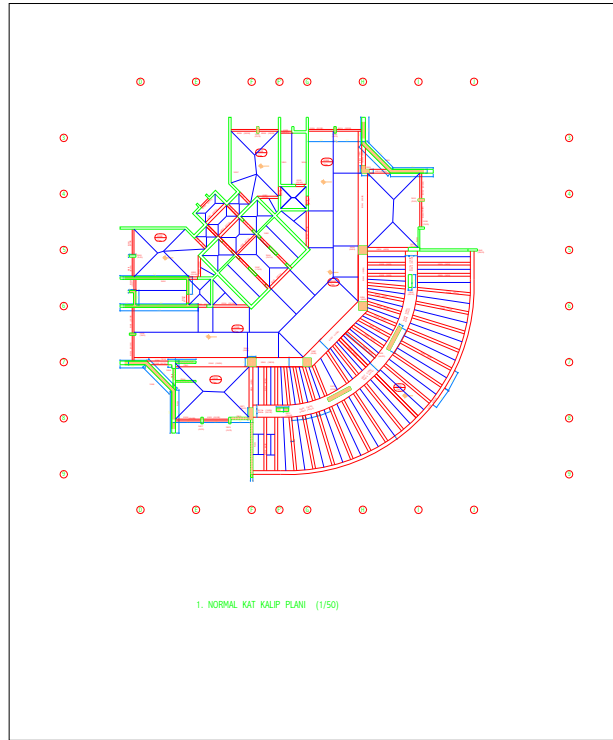
$$m = 14624,5/9,81 = 1490,8 \text{ kNs}^2/\text{m}$$



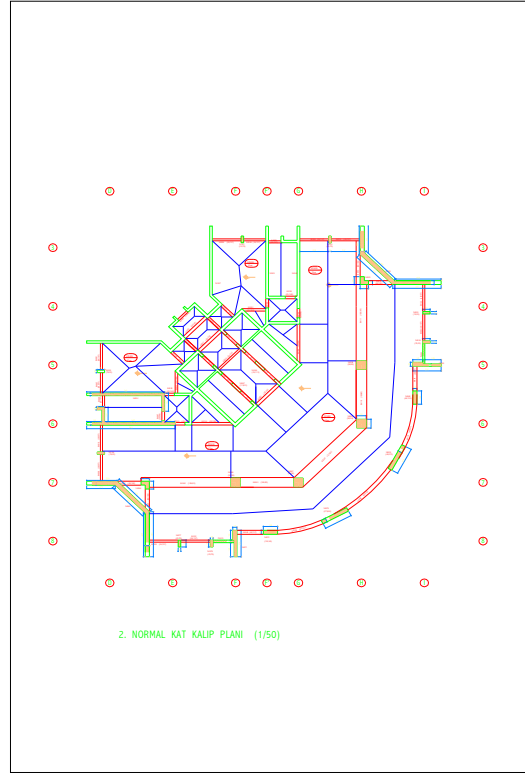
Şekil 3.36. Bodrum Kat Planında Yük Dağılımı



Şekil 3.37 Zemin Kat Planında Yük Dağılımı



Şekil 3.38 Normal Kat Planında Yük Dağılımı



Şekil 3.39. Normal Kat Planında Yük Dağılımı

### 3.3.2 Rüzgar Yükleri

Bir cismin herhangi bir noktasındaki rüzgar basıncının şiddeti, cismin geometrisine, rüzgarın geliş yönüne, rüzgarın hızına ve havanın özgül ağırlığına bağlıdır.

Zemin yüzeyinin engebese rüzgar hızını azaltmakta ve hızı azalan hava kütlesi de daha üstteki hava tabakasının hızına azaltıcı etki yapmaktadır. Yüksekliğin artması ile bu etki yavaş yavaş kaybolmakta ve belirli bir yükseklikten sonra ise, zemin yüzeyinin engebese rüzgar hızını hiç etkilememektedir (Çizelge 3.2).

Tasarım için, rüzgar yüklerini eşdeğer statik kuvvetler olarak düşünmek çoğu zaman geçerlidir. Yüksek bacalar, televizyon kuleleri, asma köprüler, çok yüksek yapılar ... v.b. rüzgarın dinamik özelliklerinin dikkate alınması gereken durumlardır.

Çizelge 3.2 Yapı yüksekliği – rüzgar hızı – dinamik basınç değerleri

Zeminden Yükseklik (h)	Rüzgar Hızı (km/h)	Dinamik Rüzgar Basıncı (kgf / m <sup>2</sup> )
0-8	100	50
9-20	130	80
21 -100	150	110
>100	165	130

Olağanüstü bir özellik göstermeyen yapılarda, rüzgar etkisi eşdeğer yatay bir statik yük olarak düşünülür. Bunun için, rüzgar dinamik basıncı (  $q$  ) yapının geometrik şekline bağlı (Cf) sabiti kullanılarak eşdeğer statik basınca çevrilir:

$$W = C_f \cdot (q) \cdot A \quad (3.1)$$

Rüzgar yükü hesabı, yapının geometrisine bağlıdır ve tipik yapı geometrileri T.S.498' de verilmiştir. Basınç, emme ve sürtünme etkileri birleştirilerek hesaba alınır (T.GÜLCE, 2004). Çalışmada, her kat için hesaplanan rüzgar yükleri Ek1'de verilmiştir.

### 3.3.3 Deprem Yüğü

Dünyanın derinliklerinde 'aktif fay' denilen bölgelerde rölatif hareket ile biriken enerji kırılma sonucu açığa çıkar. Bu noktaya deprem odağı ( focus ) adı verilir. Deprem odağının tam üstüne etki eden yer kabuğu üzerindeki noktaya ise 'deprem merkezi' ( epicenter) denilir.

Deprem odağında açığa çıkan büyük enerji, her yönde enerji dalgaları olarak yayılır. Bu enerji dalgaları yeryüzü kabuğuna ulaşır ve taban kayasında hareketler oluştururlar. Bu dalga hareketi zamanla değiştiği için genellikle deprem ölçüm aletleri tarafından zamana bağlı ivmeler olarak kaydedilir. Ancak bu ivmeler yerçekimi ivmesi olan  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 'nin bir oranı olarak verilmektedir.

Deprem esnasında açığa çıkan enerji, yeraltı zemin katmanlarının içinden geçerek taşıyıcı sistemin temeline ulaşır ve yapıda (  $x$  ) , (  $y$  ) v e (  $z$  ) doğrultusunda hareketlere sebep olur. Taşıyıcı sistemlerin düşey yük taşıma kapasitesi ve dolayısı ile bu yönde emniyet

faktörü büyük olduğundan, özel durumlar dışında, genellikle (z) doğrultusundaki hareketler ihmal edilir.

( x ) ve ( y ) doğrultusundaki yer hareketleri taşıyıcı sistemde ivmeler oluştururlar. Bu ivmeler, taşıyıcı sistem içinde,  $F = m.a$  ilişkisine bağlı olarak kuvvetlerinin oluşmasına neden olur.

Deprem kuvveti, yayılı kütlesi olan yapının ani bir ivmeye maruz kalmasından dolayı yapı bünyesinde oluşan bir zorlamadır. Bu özelliğinden dolayı, deprem kuvveti 'eylemsizlik kuvveti' olarak tanımlanır.

Deprem bir enerji yüklemesi olduğu düşünülür ve enerji de iş yapma potansiyeli olarak tanımlanırsa, depreme maruz yapı iş yaparak bu deprem enerjisini tüketmek durumundadır. Yapının enerji tüketimi değişik şekillerde oluşur :

- i. Taşıyıcı sistemin ötelenmesi,
- ii. çatlakların oluşması,
- iii. Plastik mafsalların oluşması,
- iv. Bölme duvarların çatlaması ve ezilmesi,
- v. Moleküller arasında sürtünmeden oluşan ısı,

Deprem enerjisini tüketirken dinamik yatay ötelenmeler yapan taşıyıcı sistem salınım modları oluşturur ve bunları ötelenme grafikleri olarak göstermek mümkündür. Bu salınım modları, yapının ötelenmesinin maksimum ve hareket hızının sıfır olduğu durumları yansıtır.

Taşıyıcı sistem üzerinde oluşabilecek eylemsizlik kuvvetlerinin şiddeti;

1. Yapı kütlesi,
2. Taşıyıcı sistemin doğal periyodu ve sönümleme,
3. Yer ivmesi,
4. Zemin - yapı etkileşimi,

Sönümleme, parametrelerine bağlıdır.



### **Yapı kütlesi**

Deprem yükü eylemsizlik kuvveti olduğu için ( yani ivmeli bir kuvvet) yapı kütlesi arttıkça yapıya etki eden deprem kuvveti de büyür.

### **Taşıyıcı sistemin doğal periyodu**

Depreme karşı gösterdiği tepkiyi belirlemesi açısından, taşıyıcı sistemin en önemli özelliği doğal periyodudur. Doğal periyot, yapı kütlesine, yanal ötelenme rijitliğine ve sönümlemeye bağlıdır.

### **Yer İvmesi**

Etkin yer ivmesi, deprem sonucu oluşan ve yapıya intikal ettiği düşünülen, yerçekimi ivmesinin bir oranı olarak ifade edilen ivmedir. Etkin yer ivmesi, taşıyıcı sistem altındaki zeminden geçerken etkilenir ve böylece yapıya intikal eder.

### **Zemin - yapı etkileşimi**

Zemin özellikleri yapının dinamik hareketlerini, yapının hareketleri de zeminin dinamik hareketlerini etkiler. Deprem şartnamelerinde zemin - yapı etkileşimi, deprem yükleri hesaplanırken kullanılan tepki spektrumunda (  $Z1 - Z4$  ) ' ün bir parametre olarak alınması ile yansıtılır.

### **Sönüm oranı**

Deprem hareketlerine maruz zemin, kendine özgü bir periyot oluşturarak dinamik tepki gösterir. Bu zemin içerisinde temeli bulunan sistemde, kendine özgü bir periyot oluşturarak dinamik tepki gösterir. Eğer taşıyıcı sistemin periyodu, zeminin periyoduna eşit olursa ( veya yakın olursa ) rezonans oluşabilir ve  $m$  kütlesinin ivmeleri büyür. Ancak bu büyüme hiçbir zaman teorik formüllerin gösterdiği mertebede olmaz. Bunun nedeni sönümlemedir. Deprem hareketlerine maruz yapıda sönümleme birkaç kaynaktan oluşabilir; havanın viskozitesi, yapı malzemelerinin moleküllerinin iç sürtünmeleri, bağlantı noktaları ve mesnetlerde oluşan sürtünme, elastik ötesi sınırlarda ve yük tersinmelerinden oluşan histerisis olayında tüketilen enerji ve zemin içerisinde oluşan enerji kayıpları.

Taşıyıcı sistemin dinamik analizi, sönümlemeye katkı yapan tüm etkilerin tek bir grup olarak düşünülerek ve kritik sönümlemenin bir oranı olarak ifade edilmesi ile yapılır. Kritik sönümleme taşıyıcı sistemin dinamik hareketini tamamen durduracak minimum sönüm oranı olarak tanımlanabilir. Betonarme yapılarda sönüm için 0.05 değeri alınır.

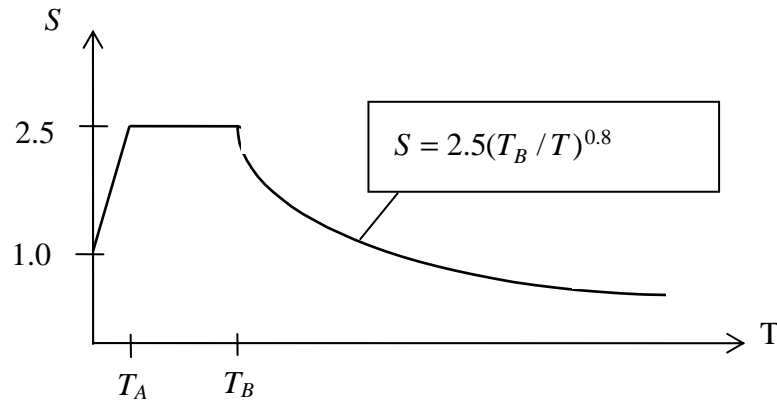
## Spektral Hesap

SAP serisi programlar ile taşıyıcı sistem doğal titreşim özellikleri (frekans, periyot, açısal frekans, mod vektörleri, modal katılım oranları) hesaplanabileceği gibi, spektral hesap (modal maksimumların birleştirilmesi ile hesap), zaman artımı yöntemi ile hesap (time history analysis), kararlı harmonik yük altında hesap yaptırılabilir.

Özel değerlerin hesabında eigen analiz veya Ritz analizi yaptırma imkanı vardır. Bunun için, dikkate alınması istenen mod sayısının tanımlanması gerekir.

Ülkemizde, yapının belirli bir yer hareketinde modal mukabelelerinin bulunarak bunların belirli bir şekilde süperpoze edilmesi yoluyla yapılan hesapların hepsine **Dinamik hesap** veya **Modal Süperpozisyon Yöntemi** denilmektedir. Modal mukabelelerin eş zamanlı toplanması suretiyle yapılan hesap **Zaman Artımı Yöntemi**, modal mukabelelerin maksimumlarının (spektral değerlerinin) belirli bir yöntemle birleştirilmesi suretiyle yapılan hesap ise **Spektral Hesap** adını alır.

Bu durumda deprem spektrumları devreye girer. Deprem spektrumları, deprem etkisine maruz BSD sistemin davranışının (hız, ivme, yer değiştirme) serbest titreşim periyoduna bağlı olarak gösterildiği eğrilerdir (Şekil 3.40).



Şekil 3.40 Spektrum eğrisi (Doran, 2004)

Program modal maksimumların birleştirilmesinde CQC (complete quadratic combination) denilen bir yöntem kullanır. Bu yöntem, klasik modal maksimumların karelerinin toplamının karekökü (RMS veya SRSS) yönteminin geliştirilmiş halidir. RMS (root-mean-square) yöntemi, modal mukabelelerin yakın frekanslı olması halinde hatalı sonuç verir; CQC bu

hatayı telafi etmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Spektral analizde sönüm oranının sıfır alınması hali RMS ile üst üste düşer; yani CQC yi kontrol eden sönüm oranıdır. Standart hesaplarda sönüm oranı 0.05 alınır.

Herhangi bir yöntemle deprem etkisinde kalan bir sistemi çözmek ve elastik kuvvetleri bulabilmek için öncelikle hareket denklemini ifade etmek gerekir,

BSD için hareket denklemi;

$$\ddot{y} + \omega^2 y = -\ddot{x}_g \text{ (sönümsüz)} \quad (3.2)$$

ÇSD için ise tüm büyüklükler matris formda olacaktır,

$$[m]\{\ddot{y}\} + [k]\{y\} = -[m]\{I\}\ddot{x}_g \quad (3.3)$$

Yukarıdaki ifade genelleştirilmiş koordinatlarda ifade edilerek düzenlenecek olursa bu defa hareket denklemi,

$$M_j \{\ddot{Y}_j\} + K_j \{Y_j\} = -\{\phi_j\}^T [m]\{I\}\ddot{x}_g \quad (3.4)$$

olacaktır. Burada  $M_j = \{\phi_j\}^T [m]\{\phi_j\}$  genelleştirilmiş kütle,  $K_j = \{\phi_j\}^T [k]\{\phi_j\}$  genelleştirilmiş yay matrislerini ifade etmektedir.

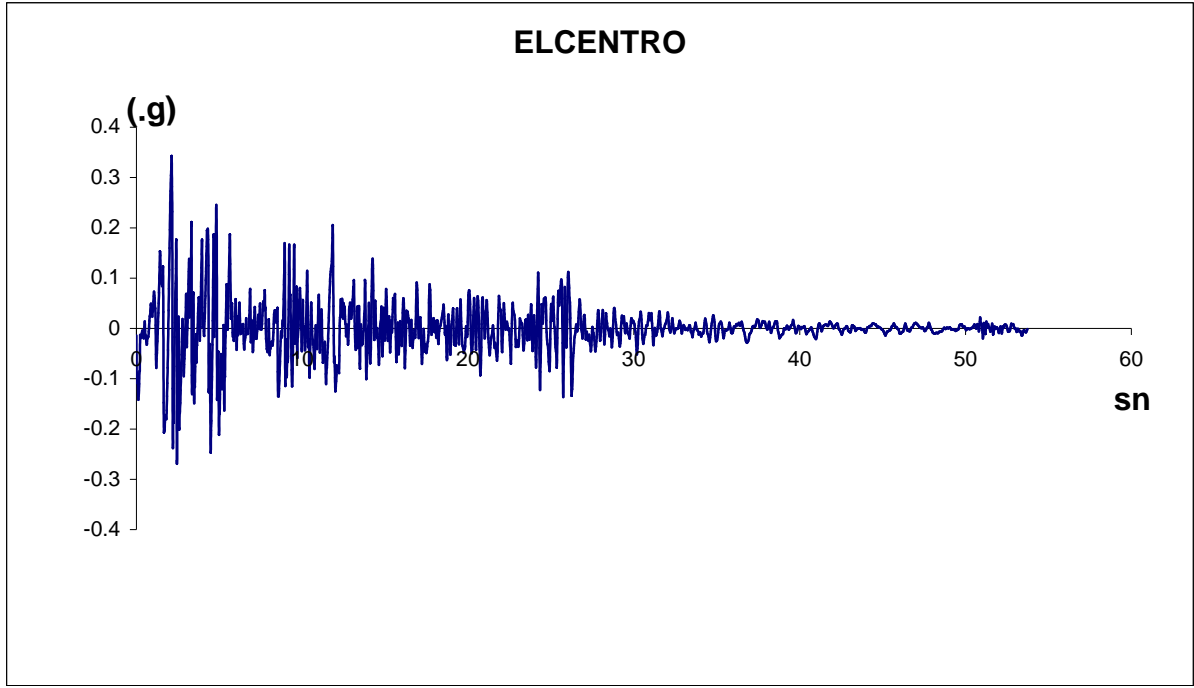
$q_j = -\{\phi_j\}^T [m]\{I\}\ddot{x}_g / M_j$ -katılım çarpanı şeklinde düşünülürse (3.4) ifadesi;

$$\{\ddot{Y}_j\} + \omega^2 \{Y_j\} = -q_j \ddot{x}_g \quad (3.5)$$

şeklini alır.

(3.2) ve (3.5) bağıntıları karşılaştırıldığında, her iki denklemin  $q_j$  katılım çarpanı farkıyla özdeş olduğu görülmektedir. Eğer yapının özel değerleri, katılım çarpanları ve BSD sistemin hareket denkleminin çözümü biliniyorsa ÇSD sistemin hareket denklemi çözülerek elastik kuvvetler hesaplanabilecektir. Ancak BSD sistemin çözümü bile oldukça zor olduğundan spektral hesap yöntemi tercih edilir.

Bu çalışmada dikkate alınan deprem kaydı Şekil 3.41'de verilmiştir.



Şekil 3.41. Deprem kaydı

max ivme =  $341.70 \text{ cm/s}^2$  (2.12. saniyede)

max hız =  $33.45 \text{ cm/s}$  (2.18. saniyede)

max deplasman =  $10.87 \text{ cm}$  (8.58. saniyede)

### Zaman Tanım Alanında Hesap

Zaman tanım alanında hesap yöntemi hem elastik hem de elastik olmayan analiz için kullanılabilir. Metod zaman tanım alanında adım adım direkt integrasyondan oluşur ve her bir zaman aralığında hareket denkleminin çözümü için bir önceki adımdan elde edilen hız ve yer değiştirme kullanılır.

Elastik analizde yapının rijitlik değerleri deprem hareketi süresince sabit kabul edilirken, elastik olmayan analizde yalnızca küçük zaman artımları içerisinde sabit kabul edilir. Başka bir deyişle taşıyıcı sistem, zaman alanında boyutlama için kabul edilen benzetilmiş veya gerçek bir deprem hareketi esas alınarak adım adım çözülür.

Boyutlandırma sırasında gerçek deprem kaydının esas alınması, hesaba esas olan deprem büyüklüğü, merkez üssü ve odak uzaklığı, kaynak mekanizması ve zemin koşullarının gerçek durumla en iyi bir şekilde uyuşturulması bakımından tercih edilir. Böylece pek çok belirsizlik önlenmiş olur.

Deprem kaydının bulunmaması durumunda, deprem hareketini rastgele bir titreşim kabul ederek yapay deprem kayıtları elde edilebilir. Genellikle deprem hareketinin, başlangıç ve son devreleri dışındaki orta bölümü kararlı rastgele titreşim olarak alınır. Ancak, bu durumda da, yapay depremin büyüklüğü ve frekans içeriği hakkında kabuller yapmak gerekir.

Yapının bütünü için anlık gerilmeler deprem süresince ya da depremin önemli bir kısmı boyunca kritik zaman artımları için hesaplanır. Daha sonra deprem süresince herhangi bir elemanda oluşan en büyük gerilme kayıtları taranarak bulunulabilir.

Analiz prosedürü genellikle aşağıdaki adımları içerir;

1. Beklenen depremi temsil eden bir deprem kaydı seçilir.
2. Kayıt verilen her bir aralıktaki ivme düzeyinin saniyenin 0.02 ile 0.05'i arasında böldürülmesi ile oluşan seri ile sayısallaştırılır.
3. Yapının matematik modeli oluşturulur. Bu model genellikle bir noktada toplanmış kütle ve bu kütleleri birbirine bağlayan sönümlü elastik bağlardan oluşur. Burada her bir kütle bir katı ve her bir bağda sistemi oluşturan elemanların elastik rijitliklerini temsil eder.

Sayısallaştırılan kayıt yapının bulunduğu tabandaki ivme şeklinde modele uygulanır.

Bilgisayar her bir kütle için hareket denklemini integre ederek her bir kütle için ivme, hız ve yer değiştirme kaydını verir.

Bir noktada toplanmış kütle için ivme ve rölatif yer değiştirmeler eleman gerilmelerine çevrilir. En büyük değerler çıktı kaydının incelenmesi ile bulunabilir. Bu prosedür otomatik olarak değişik titreşim modlarının içerir ve böylece spektrum analizinde doğal olarak var olan modların birleştirilmesindeki belirsizliği ortadan kaldırır (T.GÜLCE, 2004).

## Yapı Sisteminin Dinamik Yanıtının Zaman Alanında İncelenmesi

Deprem yönetmelikleri depreme dayanıklı yapı tasarımında yapı sistemlerinin elastik olduğunu varsayarak hesaplanan taban kesme kuvvetini R davranış katsayısına bölerek hesaba katar. Ancak yapılar deprem yer hareketleri altında elastik ötesi davranış göstereceğinden yapı davranışının elastik kalacağı varsayımı ile yapılan analizler yapıda oluşacak maksimum deplasmanın doğru belirlenmesini sağlayamazlar. Bunun yanında Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde deprem yer hareketleriyle yapıda oluşacak gerçek kuvvetler ve deformasyonlar direkt olarak belirlenemez.

Lineer olmayan dinamik analiz yöntemleriyle yapı sistemlerinin deprem yer hareketi altındaki davranışları daha gerçekçi bir şekilde yapılır. Hareket denklemi zaman tanım alanında adım adım integrasyon yöntemleri ile sayısal olarak integre edilerek yapının yer değiştirme-zaman, hız-zaman, ivme-zaman davranışları belirlenir. Çok serbestlik dereceli zamana bağlı yatay kuvvetler ve deprem yer hareketi etkisi altında bulunan, lineer ve lineer olmayan sistemlerin Newmark  $\beta$  yöntemi ile dinamik analizi incelenmiştir.

Çok serbestlik dereceli lineer olmayan bir yapı sisteminin zamana bağlı olarak değişen herhangi bir dış zorlamaya vereceği dinamik yanıtı belirlemek, sistemin hareket denklemlerinin ayrıştırılarak çözülmesi ve Modların Süperpozisyonu yönteminin kullanılması ile olanaklı değildir. Lineer olmayan yapı sistemlerinin hareket denklemlerinin çözümünde sayısal yöntemler uygulamak en etkili yoldur.

Dinamik yanıtın belirlenmesinde kullanılan en etkin sayısal yöntemler hareket denklemlerine zaman tanım alanında adım adım sayısal integrasyon uygulayan yöntemlerdir. Hem doğrusal sistemlerin hem de doğrusal olmayan sistemlerin zaman bölgesinde sismik davranışı sayısal integrasyon yöntemleriyle hesaplanabilir.

Başlangıç koşullarına da bağlı olarak, daha önce belirtilen, lineer olmayan tek serbestlik dereceli sistem için sayısal olarak çözülecek hareket denklemleri, dış zorlamanın zamana bağlı yatay kuvvetler ve deprem yer hareketi olması durumunda sırasıyla aşağıda verildiği gibidir (T.GÜLCE, 2004):

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u, \dot{u}) = p(t) \quad (3.6)$$

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u, \dot{u}) = -m\{1\}\ddot{u}_g(t) \quad (3.7)$$

Başlangıç koşulları  $t = 0$  için;  $u = u(0)$  ve  $\dot{u} = \dot{u}(0)$ , sisteme etkiyen dış zorlama Denklem

(3.6)'da zamana bağılı yatay kuvvet vektörü  $p(t)$ , Denklem (3.7)'de ise deprem yer hareketine ait ivme  $\ddot{u}_g(t)$ 'dir. Sistemin hareket denkleminde  $m$  kütle matrisi,  $c$  sönüm matrisi ve  $f_s(u, \ddot{u})$  elastik olmayan yay kuvvetini göstermektedir. Zamana bağılı yatay  $p(t)$  kuvveti verilen  $p_i = p(t_i)$ , ( $i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$ ) kuvvetinden oluşmaktadır. Zaman aralığı genellikle sabit alınır.

Sisteminin zaman tanım alanında davranışı belirlemek için üç temel parametre olan yer değiştirme, hız ve ivme vektörlerinin zamana göre değişimlerinin belirlenmesi gerekir. Başlangıç koşulları ile verilen başlangıç yer değiştirme vektörü ile başlangıç hız vektörü sistemin hareket denkleminde yerine konularak başlangıç ivme vektörü elde edilir. Çok serbestlik dereceli bir sisteminin  $t_i$  zaman adımında yer değiştirme, hız ve ivme yanıtları  $u$ ,  $\dot{u}$  ve  $\ddot{u}$ , olarak bilindiği farz edilirse;

$$m\ddot{u}_i + c\dot{u}_i + (f_s)_i = p_i \quad (3.8)$$

$t_{i+1}$  zaman adımında sistemin yer değiştirme, hız ve ivme yanıtları  $u_{i+1}, \dot{u}_{i+1}$  ve  $\ddot{u}_{i+1}$  Denklem (3.6)'da yerine yazılırsa;

$$m\ddot{u}_{i+1} + c\dot{u}_{i+1} + (f_s)_{i+1} = p_{i+1} \quad (3.9)$$

Hız ve ivme değerleri yer değiştirmenin bir fonksiyonu olarak ve bir önceki zaman adımındaki değerleri ile ifade edilirler. Sistemin  $t_{i+1}$  anındaki yer değiştirme, hız ve ivme yanıtları  $t_i$  anındaki değerlerine bağılı olarak bulunur.

Sayısal integrasyon yöntemlerinin sağlanması için gereken iki önemli koşul vardır. Bunlar,

1. Yakınsaklık, zaman aralığı düştükçe sayısal çözüm gerçek çözüme yaklaşır.
2. Stabilitate, sayısal çözümün yuvarlatma hatalarına duyarlı olması gerekir.

### **Newmark $\beta$ Yöntemiyle Sistemlerinin Sayısal Çözümü**

1959 yılında, Newmark aşağıdaki sonlu fark formüllerine dayalı bir zaman artım yöntemi geliştirmiştir.  $i+1$  zamanındaki  $\ddot{u}_{i+1}$  ve  $u_{i+1}$  vektörleri;

$$\ddot{u}_{i+1} = \ddot{u}_i + [(1 - \gamma)\Delta t]\ddot{u}_i + (\gamma.\Delta t)\ddot{u}_{i+1} \quad (3.10)$$

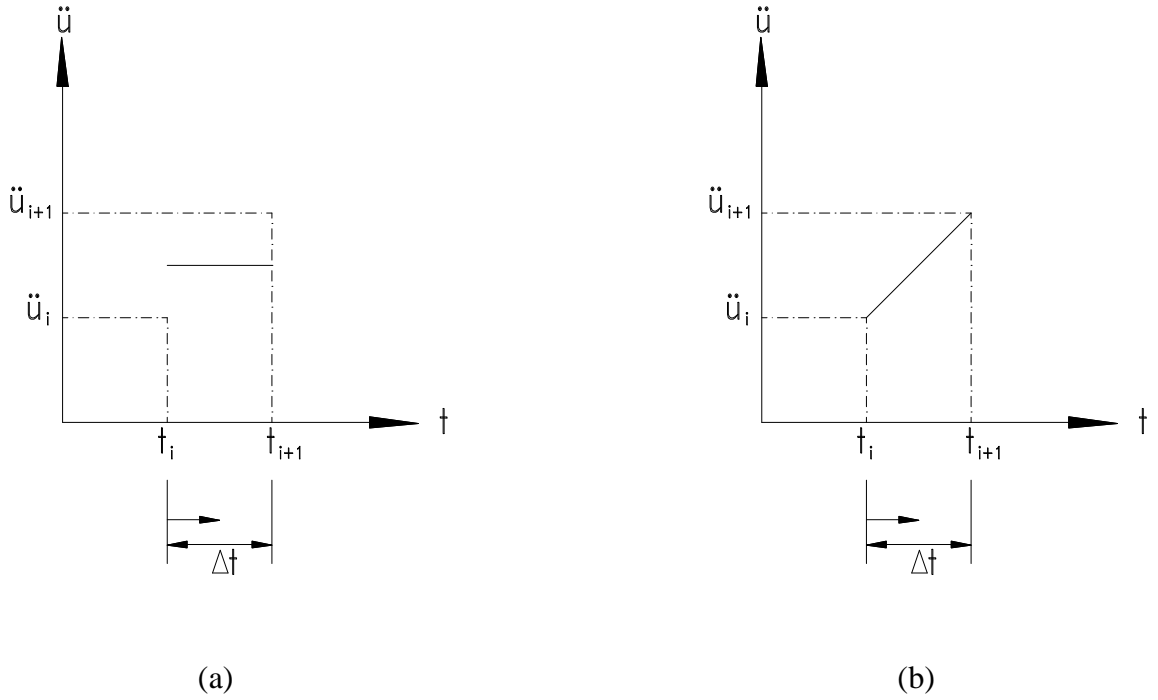
$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t)\dot{u}_i + [(0.5 - \beta)(\Delta t)^2]\ddot{u}_i + [\beta(\Delta t)^2]\ddot{u}_{i+1} \quad (3.11)$$

denklemiyle iki parametreye bağılı olarak verilmektedir.  $\gamma$  ve  $\beta$  parametreleri ivmenin zaman adımında değişimini tanımlamaktadır.  $\gamma = 1/2$  ve  $1/6 \leq \beta \leq 1/4$  çözüm metodunun sağlaması gereken koşullardır.

### Özel Durum

Newmark'ın sonlu fark formülleri  $\gamma = 1/2$  ve  $\beta = 1/4$  olduğunda sabit ortalama ivme yöntemine,  $\gamma = 1/2$  ve  $\beta = 1/6$  olduğunda doğrusal ivme değişimi yöntemine dönüşür.

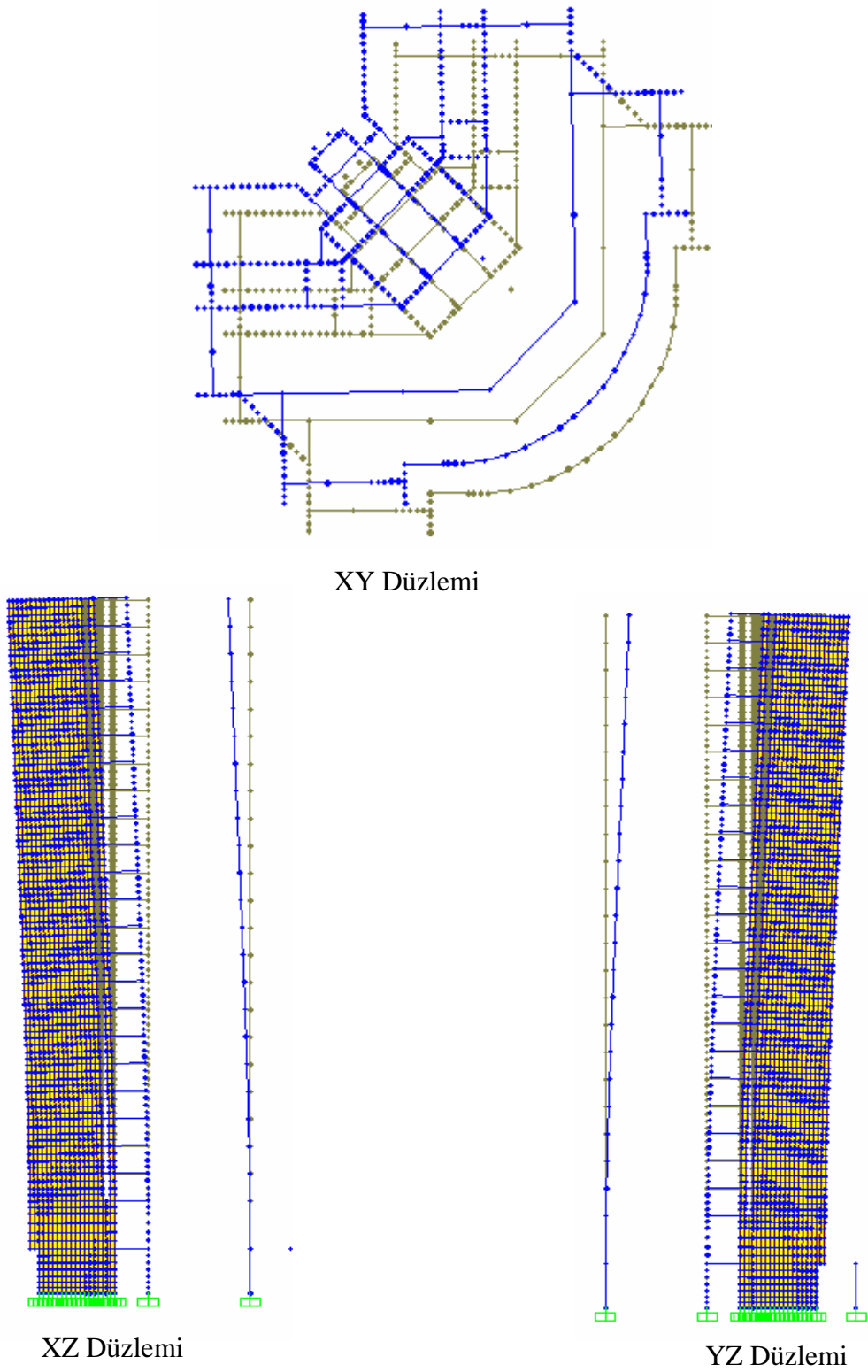
Şekil 3.42 (a)'da ivmenin  $\Delta t$  zaman aralığındaki değişiminin sabit olması durumu, Şekil 3.42 (b)'de ivmenin  $\Delta t$  zaman aralığındaki değişiminin lineer olması hali gösterilmiştir.



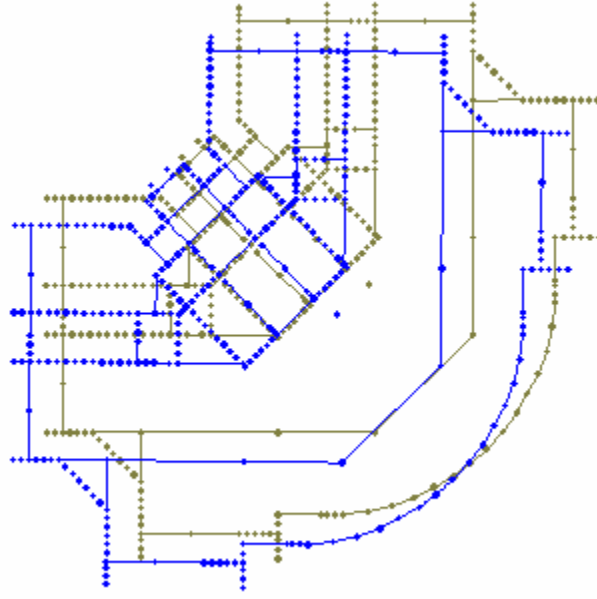
Şekil 3.42 Sabit Ortalama İvme Yöntemi ve Doğrusal İvme Değişimi Yöntemi

Yapısal analiz, önceki bölümlerde açıklanan dış etkiler dikkate alınarak gerçekleştirilmiş ve ikinci mertebe etkileri araştırılmıştır. Serbest titreşim periyotları ve bazı mod şekilleri Şekil 3.43-3.48'de verilmiştir.

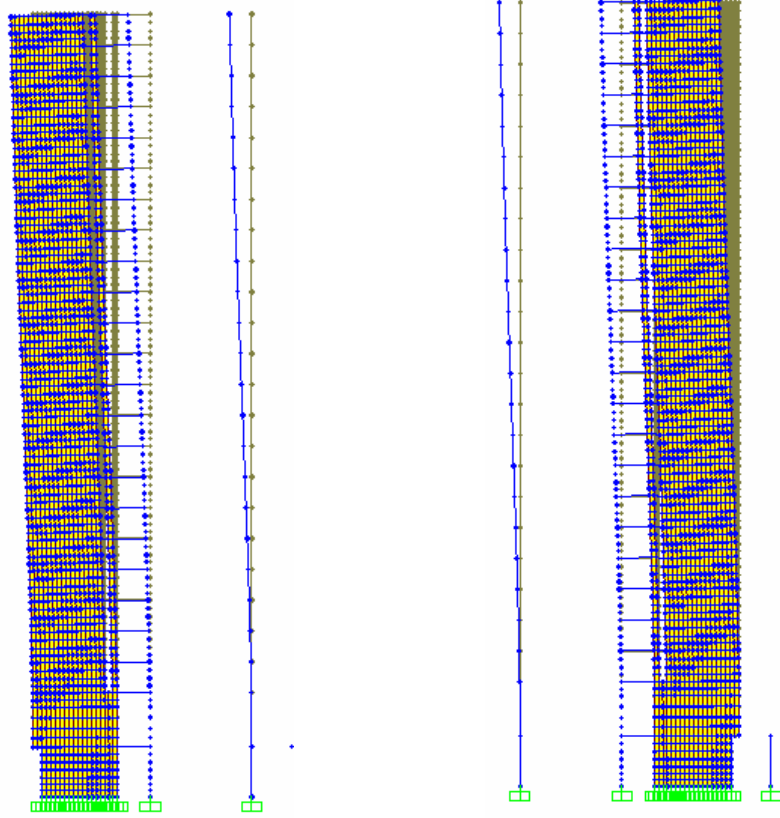




Şekil 3.43 Mod şekilleri-1.mod (T1=2.60017 s)



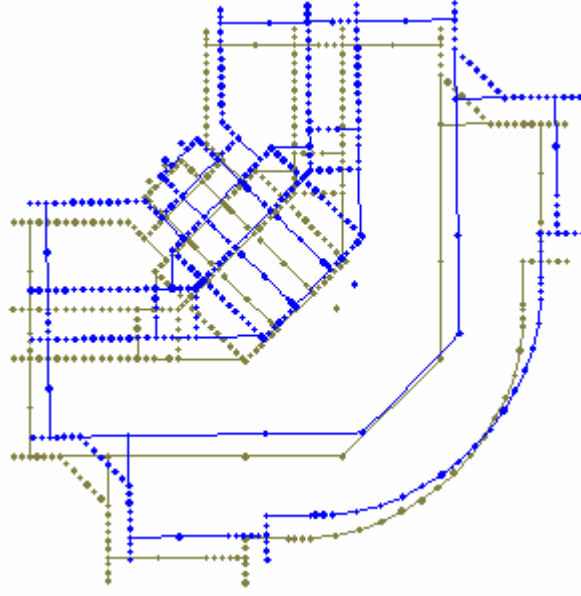
XY Düzlemi



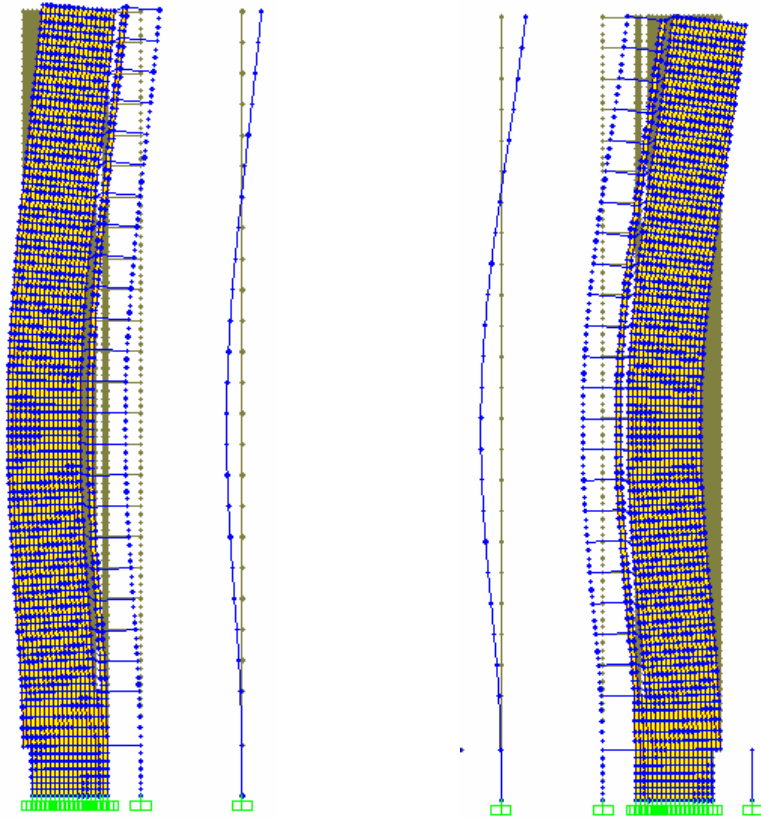
XZ Düzlemi

YZ Düzlemi

Şekil 3.44 Mod şekilleri-2.mod (T2=2.39013 s)



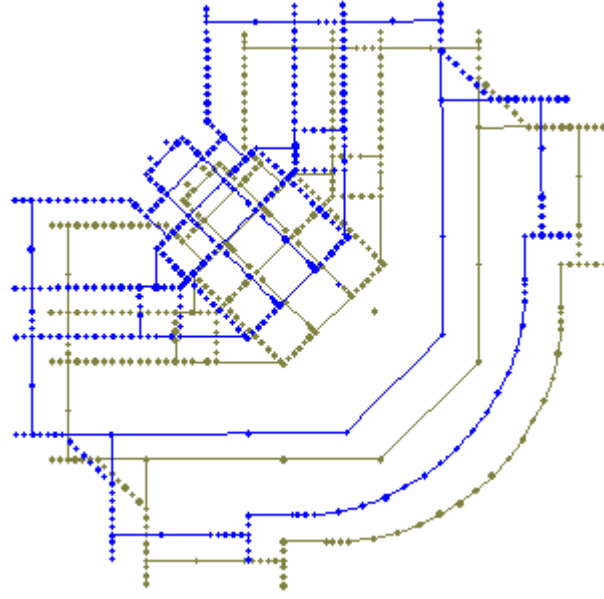
XY Düzlemi



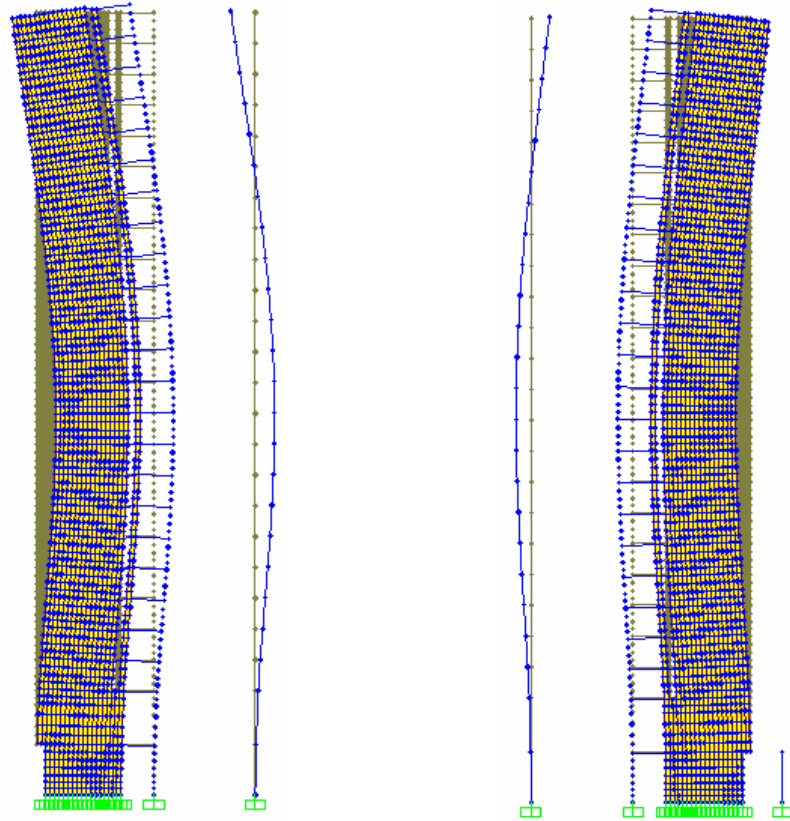
XZ Düzlemi

YZ Düzlemi

Şekil 3.45 Mod şekilleri-3.mod ( $T_3=0.64413$  s)



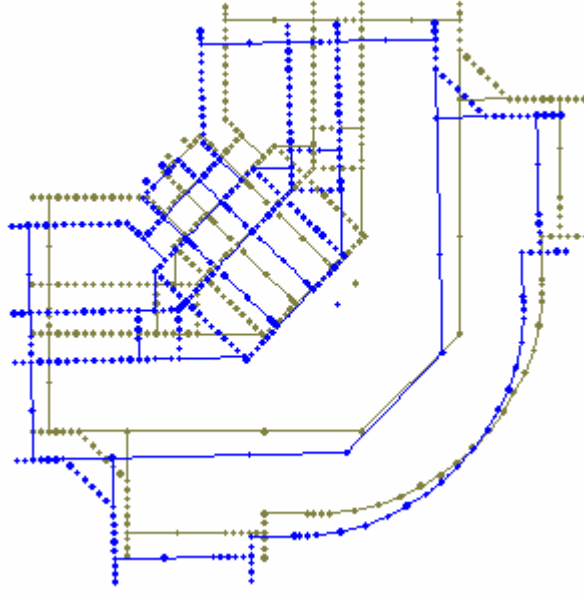
XY Düzlemi



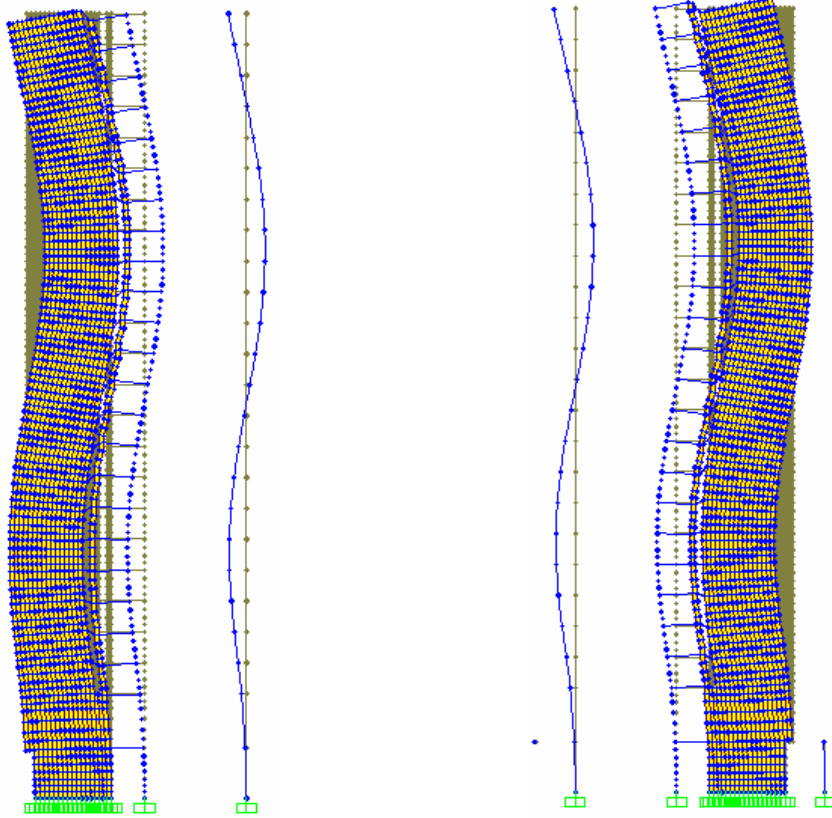
XZ Düzlemi

YZ Düzlemi

Şekil 3.46 Mod şekilleri-4.mod (T4=0.58111 s)



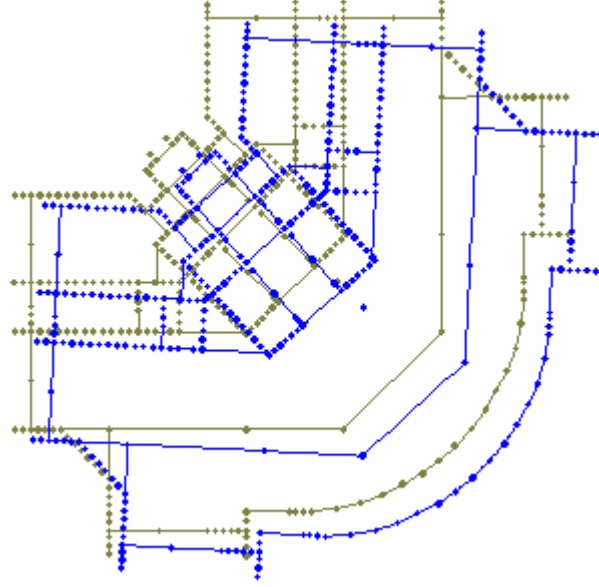
XY Düzlemi



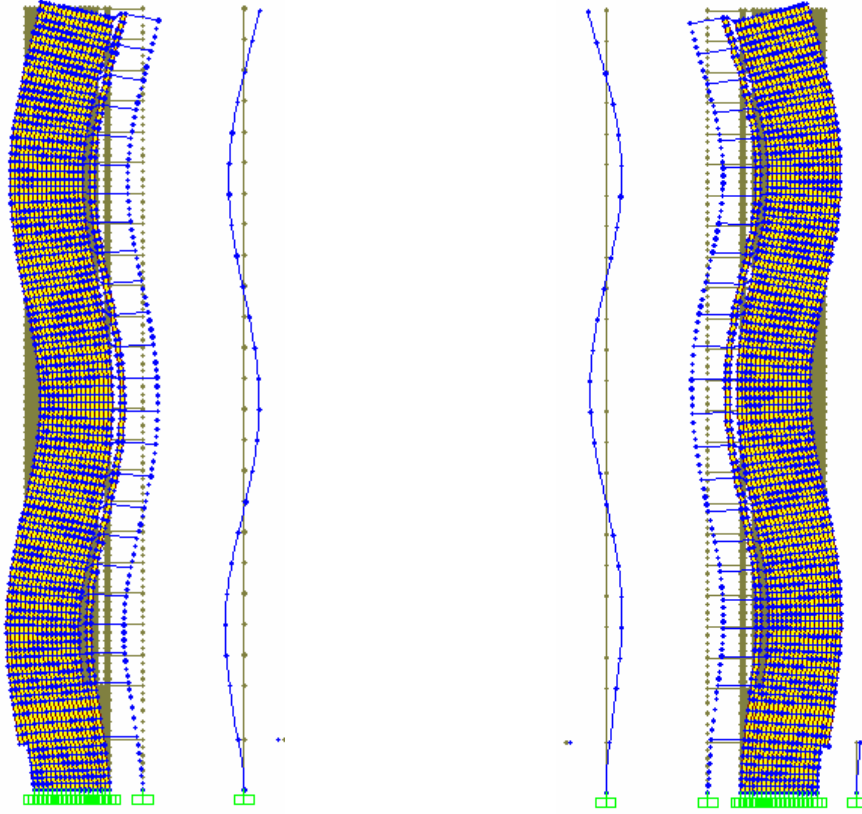
XZ Düzlemi

YZ Düzlemi

Şekil 3.47 Mod şekilleri-5.mod ( $T_5=0.31070$  s)



XY Düzlemi



XZ Düzlemi

YZ Düzlemi

Şekil 3.48 Mod şekilleri-8.mod (T8=0.15763 s)

## 4. DEĞERLENDİRME ve İRDELEMELER

### 4.1 Yaklaşık Yöntem (Moment Büyültme Yöntemi)

Kesiti ve aksenal kuvveti yüksekliği boyunca değişmeyen kolonlara uygulanabilen bu yaklaşık yöntemde, tasarımda kullanılacak tasarım momenti, doğrusal elastik davranış varsayımlarına dayalı çözümlenmeden elde edilen ve minimum dışmerkezlilik koşulunu sağlamak zorunda olan, en büyük kolon uç momentinin bir çarpan ile büyütülmesiyle bulunur.

#### Yanal Ötelenme Ölçütü

Yapı sistemi içinde yatay kuvvetlere karşı yeterli rijitlik sağlayan perde duvar veya benzeri elemanlar varsa, yanal ötelenmenin önlenmiş olduğu varsayılabilir. Doğrusal malzeme davranışı varsayımı ile yatay ve düşey yükler altında yapılan ikinci mertebe yapısal çözümlenmeden elde edilen kolon uç momentlerinin, aynı varsayımlar ve yükler altında yapılan birinci mertebe çözümlenmesinden elde edilen kolon uç momentlerinden en çok %5 kadar farklı olduğu durumlarda, yanal ötelenmenin önlenmiş olduğu kabul edilebilir. İkinci mertebe çözümlenmesi yapılmıyorsa, yapının herhangi bir katı için taşıyıcı sistemin bütünü göz önünde tutularak hesaplanan duraylılık (stabilite) göstergesi aşağıda belirtilen sınırı aşmadığı durumlarda da, o katta yeterli rijitlik bulunduğu ve yanal ötelenmenin önlenmiş olduğu varsayılabilir.

$$\phi = 1,5\Delta_i \frac{\sum \frac{N_{di}}{\ell_i}}{V_{fi}} \leq 0,05 \quad (4.1)$$

Bu hesaplarda, çatlamamış kesit varsayımı ve  $F_d = 1,0G + 1,0Q + 1,0E$  ve  $F_d = 1,0G + 1,3Q + 1,3W$  yük birleşimlerinden bulunan değerlerden elverişsiz olanı temel alınmalıdır.

#### Kolon Etkili Boyu

Kolon serbest boyu, döşemeler, kirişler veya kolona yanal destek sağlayan diğer elemanlar arasındaki uzaklıktır. Kolon başlığı veya guse bulunan durumlarda, kolon serbest boyu, başlık veya guse alt yüzünden ölçülür. Daha güvenilir bir çözümlenme yönteminin kullanılmadığı durumlarda, kolon etkili boyu, kolon serbest boyu, kolon uçlarındaki dönmenin engellenmesi ile ilişkili olan ve aşağıda tanımlanan “ $k$ ” katsayıyla çarpılarak elde edilebilir.  $\ell_k = k\ell_n$

Kolon etkili boyu katsayısı “ $k$ ” yanal ötelenmesi önlenmiş kat kolonları için,

$$k = 0.7 + 0.05 (\alpha_1 + \alpha_2) \leq (0.85 + 0.05 \alpha_1) \leq 1.0 \quad (4.2)$$

bağıntısıyla bulunabilir. Hesap yapılmamışsa, yanal ötelenmesi önlenmiş kat kolonlarında,  $k = 1.0$  alınır.

Kolon etkili boyu katsayısı “ $k$ ” yanal ötelenmesi önlenmemiş kat kolonları için,

$$\alpha_m < 2 \text{ ise } k = \frac{20 - \alpha_m}{20} \cdot \sqrt{1 + \alpha_m}$$

$$\alpha_m \geq 2 \text{ ise } k = 0.9 \cdot \sqrt{1 + \alpha_m}$$

Bir ucu mafsallı olan yanal ötelenmesi önlenmemiş kolonlarda,  $k = 2 + 0.3 \alpha_2$

### **Narinlik Etkisinin İhmal Edilebileceği Durumlar**

Narinlik oranı ( $\ell_k / i$ ) değerinin aşağıda verilen sınırları aşmadığı durumlarda, narinlik etkisi ihmal edilebilir ve tasarımda kullanılacak moment (hesap momenti), yapısal çözümlerden elde edilen uç momentlerinden en büyüğü olarak alınabilir. Narinlik oranı hesabında, eylemsizlik yarıçapı  $i$ , dikdörtgen kesitler için eğilme yönündeki kesit boyutunun %30'u, dairesel kolonlar için çapın %25'i kadar alınabilir. Diğer kesitlerin eylemsizlik yarıçapı hesabında, tüm beton kesiti temel alınmalıdır. Yanal ötelenmesi önlenmiş kat kolonlarında,

$$(\ell_k / i) \leq 34 - 12(M_1 / M_2) \leq 40 \quad (4.3)$$

koşulu sağlanıyorsa, narinlik etkisi ihmal edilebilir.

$M_1$  ve  $M_2$ , her bir yük birleşimi için yapısal çözümlerden elde edilen kolon uç momentleridir. ( $M_1 \leq M_2$ ).  $M_1$  ve  $M_2$  kolonun aynı yüzünde basınç oluşturuyorsa (tek eğrilikli kolon), ( $M_1 / M_2$ ) oranı pozitif, tersi, tersi durumlarda (çift eğrilikli kolon) bu oran negatif alınır.

### **Burkulma Yüğü**

Kolon burkulma yüğü, Euler denklemiyle hesaplanır.



$$N_k = \frac{\pi^2}{\ell_k^2} (EI) \quad (4.4)$$

Kolon etkili eğilme rifitlik (EI), daha güvenilir bir hesap yapılmayan durumlarda, aşağıdaki verilen denklemlerde elde edilebilir.

$$(EI) = \frac{0.2E_c I_c + E_s I_s}{1 + R_m} \quad (4.5)$$

veya

$$EI = \frac{0.4E_c I_c}{1 + R_m} \quad (4.6)$$

Burada  $E_c I_c$  tüm beton kesitinin eğilme rijitliği,  $E_c I_c$  de boyuna donatı kesitinin, eleman kesiti ağırlık merkezine göre oluşturduğu eğilme rijitliğidir. Sünme oranı  $R_m$ , yanal ötelenmesi önlenmiş sistemlerde, düşey yüklerden elde edilen kolon hesap eksenel kuvvetlerindeki kalıcı yük katkısının, toplam değere oranıdır.

$$R_m = \frac{N_{gd}}{N_d} \quad (4.7)$$

### **Moment Büyütme Katsayısı**

Yanal ötelenmesi önlenmiş kat kolonlarında (perdeli sistemler)

$$\beta = \frac{C_m}{1 - \frac{N_d}{N_k}} \geq 1.0 \quad (4.8)$$

Burada,

$$C_m = 0.6 + 0.4(M_1 / M_2) \geq 0.4; M_1 \leq M_2 \quad (4.9)$$

Denklemiyle hesaplanırken ( $M_1/M_2$ ) oranı tek eğrilikli kolonlarda pozitif, çift eğrilikli kolonlarda negatif alınır. Kolon uçları arasında etkiyen herhangi bir yatay yük varsa,  $C_m = 1,0$  alınır.

Tasarımda kullanılacak tasarım momenti, Denklem 4.10'dan elde edilir.

$$M_d = \beta.M_2 \quad (4.10)$$

## 4.2 Numerik Çözümleme

Bu kısımda numerik hesap sonucu tüm dış etkileri içeren kesit tesirleri ve yer değiştirmeler örnek yapıya ait belirli bir kolon için belirlenmiş ve ikinci mertebe etkilerini araştırılmıştır. Farklı katlar için bu kolona ait sabit ve hareketli yüklerin değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge 4.1, 7.kolondaki burkulma yükleri Euler denklemiyle hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Kolon yükleri

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
KAT	G [kN]	Q [kN]	N <sub>d</sub> [kN]	$R_m = \frac{N_{gd}}{N_d}$	$EI = \frac{0.4E_c I_c}{1 + R_m}$ [kNm <sup>2</sup> ]	$N_k = \frac{\pi^2(EI)}{\ell_k^2}$ [kN]
Üst kat	679.6	237	916.6	1.04	354125	255301
23 . N.kat	1359.2	474	1833.2	1.04	354125	255301
22 . N.kat	2038.8	711	2749.8	1.04	354125	255301
21 . N.kat	2718.4	948	3666.4	1.04	354125	255301
20 . N.kat	3398.0	1185	4583.0	1.04	354125	255301
19 . N.kat	4077.6	1422	5499.6	1.04	354125	255301
18 . N.kat	4757.2	1659	6416.2	1.04	354125	255301
17 . N.kat	5436.8	1896	7332.8	1.04	354125	255301
16 . N.kat	6116.4	2133	8249.4	1.04	354125	255301
15 . N.kat	6796.0	2370	9166.0	1.04	354125	255301
14 . N.kat	7475.6	2607	10082.6	1.04	354125	255301
13 . N.kat	8155.2	2844	10999.2	1.04	354125	189025
12 . N.kat	8834.8	3081	11915.8	1.04	354125	255301
11 . N.kat	9514.4	3318	12832.4	1.04	354125	255301
10 . N.kat	10194.0	3555	13749.0	1.04	354125	255301
9 . N.kat	10873.6	3792	14665.6	1.04	354125	255301
8 . N.kat	11553.2	4029	15582.2	1.04	354125	255301
7 . N.kat	12232.8	4266	16498.8	1.04	354125	255301
6 . N.kat	12912.4	4503	17415.4	1.04	354125	255301
5 . N.kat	13592.0	4740	18332.0	1.04	354125	255301

Çizelge 4.1. Devamı

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
KAT	G	Q	N <sub>d</sub>	$R_m = \frac{N_{gd}}{N_d}$	$EI = \frac{0.4E_c I_c}{1 + R_m}$	$N_k = \frac{\pi^2(EI)}{\ell_k^2}$
	[kN]	[kN]	[kN]		[kNm <sup>2</sup> ]	[kN]
4 . N.kat	14271.6	4977	19248.6	1.04	354125	255301
3 . N.kat	14951.2	5214	20165.2	1.04	354125	255301
2 . N.kat	15630.8	5451	21081.8	1.04	354125	255301
1 . N.kat	16310.4	5688	21998.4	1.04	354125	255301
Zemin kat	16990.0	5925	22915.0	1.04	539742	126084
1 . Bodrum	17669.6	6162	23831.6	1.04	539742	147973

Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de sırasıyla yapısal analiz programı ile belirlenen doğrusal (linear) ve P-Δ analizi (non-linear) ile ilgili çözümlere ait gerekli büyüklükler, Çizelge 4.4’de ise ikinci mertebeye etkileri ve nihayet Çizelge 4.5’de TS500/2000’ye göre belirlenen moment büyültme katsayıları verilmiştir.

Çizelge 4.2. Uç momentler (doğrusal çözümleme)

Doğrusal çözümleme			
(1)	(2)	(3)	(4)
KAT	M <sub>1(alt)</sub> [kNm]	M <sub>2(üst)</sub> [kNm]	Δ <sub>linear</sub> [mm]
23 . N.kat	396.0	364.3	19.98
22 . N.kat	227.4	307.7	19.45
21 . N.kat	265.7	333.8	18.92
20 . N.kat	317.9	297.6	18.34
19 . N.kat	294.6	328.8	17.71
18 . N.kat	279.1	289.0	17.03
17 . N.kat	249.8	274.8	16.30
16 . N.kat	241.8	253.7	15.53
15 . N.kat	225.1	225.7	14.71

Çizelge 4.2. Devamı

<b>Doğrusal çözümleme</b>			
<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>	<b>(4)</b>
<b>KAT</b>	<b>M<sub>1(alt)</sub> [kNm]</b>	<b>M<sub>2(üst)</sub> [kNm]</b>	<b>Δ<sub>lineer</sub> [mm]</b>
14 . N.kat	208.6	241.1	13.84
13 . N.kat	174.3	197.3	12.93
12 . N.kat	191.0	212.4	11.82
11 . N.kat	149.2	160.6	10.84
10 . N.kat	156.2	165.3	9.83
9 . N.kat	135.3	139.6	8.80
8 . N.kat	111.8	140.1	7.76
7 . N.kat	114.7	138.8	6.71
6 . N.kat	116.8	108.0	5.66
5 . N.kat	94.2	102.5	4.63
4 . N.kat	94.4	94.0	3.63
3 . N.kat	85.9	80.3	2.69
2 . N.kat	70.3	64.0	1.82
1 . N.kat	65.1	103.8	1.08
Zemin	48.1	139.8	0.54
1 . Bodrum	29.6	103.8	0.14

Çizelge 4.3. Uç momentler (P-Δ analizi)

<b>P-Δ analizi</b>			
<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>	<b>(4)</b>
<b>KAT</b>	<b>M<sub>1(alt)</sub> [kNm]</b>	<b>M<sub>2(üst)</sub> [kNm]</b>	<b>Δ<sub>nonlineer</sub> [mm]</b>
23 . N.kat	526.5	568.9	29.71
22 . N.kat	399.4	358.6	28.17
21 . N.kat	392.6	405.6	26.88
20 . N.kat	357.0	369.2	25.56

Çizelge 4.3. Devamı

<b>P-Δ analizi</b>			
<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>	<b>(4)</b>
<b>KAT</b>	<b>M<sub>1(alt)</sub> [kNm]</b>	<b>M<sub>2(üst)</sub> [kNm]</b>	<b>Δ<sub>nonlineer</sub> [mm]</b>
19 . N.kat	344.3	348.8	24.23
18 . N.kat	323.0	327.1	22.87
17 . N.kat	302.7	306.9	21.49
16 . N.kat	284.0	287.9	20.09
15 . N.kat	262.9	269.0	18.68
14 . N.kat	258.5	255.1	17.25
13 . N.kat	216.2	222.9	15.81
12 . N.kat	214.4	228.7	14.12
11 . N.kat	196.6	203.0	12.68
10 . N.kat	182.8	192.2	11.24
9 . N.kat	169.0	176.4	9.83
8 . N.kat	156.0	168.4	8.43
7 . N.kat	143.7	158.4	7.07
6 . N.kat	131.9	149.8	5.76
5 . N.kat	122.0	143.1	4.51
4 . N.kat	108.3	137.4	3.34
3 . N.kat	114.3	138.9	2.29
2 . N.kat	35.1	126.2	1.37
1 . N.kat	62.9	203.8	0.66
Zemin	65.1	227.6	0.27
1 . Bodrum	77.9	198.5	0.10

Çizelge 4.4. İkinci mertebe etkileri

<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>	<b>(4)</b>	<b>(5)</b>
<b>KAT</b>	<b>Δ<sub>nonlineer</sub> / Δ<sub>lineer</sub></b>	<b>M<sub>1,lineer</sub>/M<sub>1,nonlineer</sub></b>	<b>M<sub>2,lineer</sub>/M<sub>2,nonlineer</sub></b>	<b>β</b> Denk.(2.7)
23.NK	1.487	1.33	1.56	1.56
22.NK	1.448	1.76	1.17	1.76

Çizelge 4.4. Devamı

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
KAT	$\Delta_{\text{nonlinear}} / \Delta_{\text{linear}}$	$M_{1,\text{linear}}/M_{1,\text{nonlinear}}$	$M_{2,\text{linear}}/M_{2,\text{nonlinear}}$	$\beta$ Denk.(2.7)
21.NK	1.421	1.48	1.21	1.48
20.NK	1.394	1.12	1.24	1.24
19.NK	1.368	1.17	1.06	1.17
18.NK	1.343	1.16	1.13	1.16
17.NK	1.318	1.21	1.12	1.21
16.NK	1.294	<b>1.17</b>	1.13	1.17
15.NK	1.270	1.17	<b>1.19</b>	1.19
14.NK	1.246	<b>1.24</b>	1.06	1.24
13.NK	1.223	<b>1.24</b>	1.13	1.24
12.NK	1.195	<b>1.12</b>	1.08	1.12
11.NK	1.170	<b>1.32</b>	1.26	1.32
10.NK	1.143	<b>1.17</b>	1.16	1.17
9.NK	1.117	1.25	<b>1.26</b>	1.26
8.NK	1.086	<b>1.40</b>	1.20	1.40
7.NK	1.054	<b>1.25</b>	1.14	1.25
6.NK	1.018	1.13	<b>1.39</b>	1.39
5.NK	0.974	1.29	<b>1.40</b>	1.40
4.NK	0.920	1.15	<b>1.46</b>	1.46
3.NK	0.851	1.33	<b>1.73</b>	1.73
2.NK	0.753	0.50	<b>1.97</b>	1.97
1.NK	0.611	0.97	<b>1.96</b>	1.96
Zemin	0.500	1.35	<b>1.63</b>	1.63
Bodrum	0.714	<b>2.63</b>	1.91	2.63

Çizelge 4.5. TS-500/2000'ye göre hesaplanan “ $\beta$ ” moment büyütme katsayıları

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
KAT	$M_1$ [kNm]	$M_2$ [kNm]	$C_m$ Denk.(4.9)	$\beta$ Denk.(4.8)
23 . NK	396.0	364.3	0.968	<b>1.07</b>
22 . NK	227.4	307.7	0.996	<b>1.10</b>
21 . NK	265.7	333.8	0.918	<b>1.01</b>

Çizelge 4.5. Devamı

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
KAT	M <sub>1</sub> [kNm]	M <sub>2</sub> [kNm]	C <sub>m</sub> Denk.(4.9)	β Denk.(4.8)
20 . NK	317.9	297.6	0.975	<b>1.07</b>
19 . NK	294.6	328.8	0.958	<b>1.06</b>
18 . NK	279.1	289.0	0.986	<b>1.09</b>
17 . NK	249.8	274.8	0.964	<b>1.06</b>
16 . NK	241.8	253.7	0.981	<b>1.08</b>
15 . NK	225.1	225.7	0.999	<b>1.10</b>
14 . NK	208.6	241.1	0.946	<b>1.04</b>
13 . NK	174.3	197.3	0.953	<b>1.09</b>
12 . NK	191.0	212.4	0.960	<b>1.06</b>
11 . NK	149.2	160.6	0.972	<b>1.07</b>
10 . NK	156.2	165.3	0.978	<b>1.08</b>
9 . NK	135.3	139.6	0.988	<b>1.09</b>
8 . NK	111.8	140.1	0.919	<b>1.01</b>
7 . NK	114.7	138.8	0.931	<b>1.03</b>
6 . NK	116.8	108.0	0.931	<b>1.03</b>
5 . NK	94.2	102.5	0.968	<b>1.07</b>
4 . NK	94.4	94.0	0.998	<b>1.10</b>
3 . NK	85.9	80.3	0.974	<b>1.07</b>
2 . NK	70.3	64.0	0.964	<b>1.06</b>
1 . NK	65.1	103.8	0.941	<b>1.04</b>
Zemin kat	48.1	139.8	0.838	<b>1.03</b>
1 . Bodrum	29.6	103.8	0.894	<b>1.07</b>

Sonuç olarak bu tez kapsamında, rüzgar yüklerinden ötürü katlara iletilen yatay kuvvetler hesaplanmış, bu kuvvetler ve ağırlık yükleri altında örnek yapısal sistem P – Δ etkisi dikkate alınmadan (I.Mertebe etkiler) ve P – Δ etkisi dikkate alınarak (II.Mertebe etkiler) çözümlenmiştir. Ayrıca sisteme belirli bir deprem yükü de (Elcentro deprem kaydı) etki ettirilerek, P – Δ etkisi dikkate ele alınmadan; doğrusal analiz yapılmıştır.

Çizelge 4.6. Doğrusal çözümleme (Dinamik Hesap)

<b>Doğrusal çözümleme</b>			
<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>	<b>(4)</b>
<b>KAT</b>	<b>M<sub>1(alt)</sub> [kNm]</b>	<b>M<sub>2(üst)</sub> [kNm]</b>	<b>Δ<sub>lineer</sub> [mm]</b>
23 . N.kat	176.4	208.3	186.9
22 . N.kat	310.9	429.4	173.9
21 . N.kat	320.0	448.5	167.9
20 . N.kat	371.0	524.2	161.4
19 . N.kat	406.1	583.6	154.6
18 . N.kat	435.1	643.3	147.3
17 . N.kat	457.0	695.0	139.7
16 . N.kat	473.4	738.5	113.0
15 . N.kat	487.2	766.4	105.0
14 . N.kat	517.3	808.3	115.2
13 . N.kat	514	786.7	106.6
12 . N.kat	551.2	802.6	96.3
11 . N.kat	568.7	777.9	87.3
10 . N.kat	586.6	761.5	78.3
9 . N.kat	593.3	750.5	69.4
8 . N.kat	616.4	736.2	60.4
7 . N.kat	640.7	686.0	51.6
6 . N.kat	659.8	696.9	42.9
5 . N.kat	670.9	708.8	26.8
4 . N.kat	681.3	718.8	19.5
3 . N.kat	649.8	677.0	12.9
2 . N.kat	819.2	880.2	7.57
1 . N.kat	1544	1615	3.68
Zemin	537.3	569.6	0.88
1 . Bodrum	481.2	411.5	0.77



## 5. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında, Yapı Kredi Bankası A.Ş.'ne hizmet vermekte olan 31 katlı Genel Müdürlük binası yerinde incelenerek ve mimari/statik-betonarme projeleri esas alınarak, modellenmiş ve Bölüm 3'de ayrıntılı olarak verildiği gibi düşey yükler, rüzgar ve deprem yükleri dikkate alınarak P- $\Delta$  analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda yapıda ikinci mertebe etkileri araştırılmış ve TS500/2000'de önerilen yaklaşık yöntem ile karşılaştırılmıştır.

- 1) Modelde her katta belirli bir kolon ve düğüm noktası için kesit tesirleri ve yatay yer değiştirmeler incelenerek Çizelge 4.1, 7 no'lu sütunda kolon burkulma yükleri Euler denklemiyle hesaplanmış, TS 500/2000' deki moment büyültme katsayıları " $\beta$  değerleri" belirlenmiştir. Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de ise P -  $\Delta$  etkisi dikkate alınarak ve alınmayarak gerçekleştirilen çözümlerden Denklem 2.7 yardımıyla " $\beta$  değerleri" hesaplanmıştır. Bu değerler incelendiğinde  $\beta$  değerleri her kat için farklı olduğundan, her eleman için en büyük değerler, bu kolon için moment büyültme katsayıları olarak kabul edilmiştir. Denklem 2.7 ile hesaplanan  $\beta$  değerleri, TS500/2000'deki moment büyültme katsayıları ile kıyaslandığında, bu değerlerin oldukça büyük kaldığı görülmüştür. Bu, söz konusu kolon için burkulma yüklerinin Euler burkulma yükünden küçük çıkacağını, dolayısıyla kolonda bu yüklemeye otürü herhangi bir burkulma probleminin ortaya çıkmayacağını göstermektedir.
- 2) Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'den görüleceği üzere kolon uç momentlerinin alt katlara oranla yüksek çıkması, alt katlarda perdelerin çok daha etkin olmasından kaynaklanmaktadır.
- 3) Böyle bir yüksek yapıda, sadece rüzgar kuvvetlerinden dolayı I. ve II. mertebe etkilerinin incelenmesi yeterli olmayacaktır. Yapılarda bilindiği üzere, kesit hesapları en elverişsiz yükleme göz önüne alınarak yapılacağından, bu tez çalışmasında da Elcentro deprem kaydı sonuçları da irdelenmiştir. Sistemin zaman tanım alanında yalnızca doğrusal elastik olarak çözümlenmesinin nedeni, rüzgar yüklerinin hangi mertebede olduğunun anlaşılması için önemli bir adım olmuştur. Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'dan görüleceği üzere, rüzgar kuvvetlerinin örnek yapı için en elverişsiz yükleme olmadığı anlaşılmıştır. Rüzgar kuvvetleri ve tesirlerinin mertebe olarak, deprem kuvvetlerinin yanında çok daha küçük değerler olduğu ortaya çıkmıştır. Çizelge 4.2, ve Çizelge 4.6, sütun 4 karşılaştırıldığında, beklendiği üzere doğrusal dinamik hesap sonucu bulunan yatay yer değiştirmelerin, rüzgar yüklemesi

sonucu bulunan yatay yer değiştirmelere nazaran çok büyük olduğu, dolayısıyla dinamik hesap için II. Mertebe etkilerinin mutlaka dikkate alınması gerektiği görölmektedir. Ancak doğrusal olmayan dinamik analiz için gerekli duyulan parametreler yeterince hassas olarak tespit edilemediğinden gerçekleştirilememiş, bu konu başka bir çalışmanın konusu olarak bırakılmıştır.

**KAYNAKLAR**

- Akbaş, B., (2002), Yapıların Doğrusal Olmayan Analizleri, Ders Notları
- Andrews (1977), ‘‘ P -  $\Delta$  Effects Under Repeated Loading’’, Journal Of Earthquake Structural Engineering, 116(8):2070-2082
- Atımtay, E., (2000), Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Cilt I, Bizim Büro Yayınevi, Ankara
- Bernal (1987), ‘‘Amplification Factors For Inelastic Dynamic P -  $\Delta$  Effects In Earthquake Analysis’’ Journal Of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 15:635-651
- Carr ve Moss (1992), ‘‘Effect of the Vertical Earthquake Acceleration in the Structures’’
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., (2003), Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yrı Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Clough, Panzieren ve Nair (1975), ‘‘Dynamics of Structures’’ Mc Graw-Hill, Newyork
- Doran, B. ve Alacalı, S. N., (2004), Yapısal Analiz Programı Sap2000 Bilgi Aktarımı ve Kullanımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- F. Naeim, (1989) The Seismic design handbook, KluwerAcademic Publishers, Boston
- Gaiotti, R. ve Smith, S., (1989), ‘‘P -  $\Delta$  Analysis Of Building Structures’’, Journal Of Structural Engineering, 115(4):755-770
- İnşaat Mühendisleri Odası, (2006), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İstanbul
- MacRae, G., (1994), ‘‘ P -  $\Delta$  Effects On Single Degree Of Freedom Structures In Earthquakes’’, Journal Of Earthquake Engineering Research Institute, 10(3):539-569
- Mahin and R. Boroschek, (1991), ‘‘Influence of Geometric Nonlinearities On the Seismic’’,
- Moehle (1992), ‘‘Displacement-Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes’’, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 17, 1-105
- Neuss, Maison ve Bouwkamp (1983), ‘‘Dynamics of Pounding when two buildings collide’’
- Paulay, (1978), ‘‘Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings’’, Canadian Journal of Civil Engineering, 2, 321/-343, Tjondro
- Polat, Z., (2001), Deprem Mühendisliği Ders Notları.
- Sanz, (1984) Yeni Zelanda Yük Şartnamesi
- Timoshenko ve Gere, 1961), ‘‘Theory of Elastic Stability’’ D. Van Nostrand Company Inc.
- TSE 500/2000 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

**EKLER**

Ek 1 Rüzgar Yükleri

### Ek 1 Rüzgar Yükleri

Yapı yüksekliği – rüzgar hızı – dinamik basınç değerleri

Zeminden Yükseklik (h)	Rüzgar Hızı (km/h)	Dinamik Rüzgar Basıncı (kgf / m <sup>2</sup> )
0-8	100	<b>50</b>
9-20	130	<b>80</b>
21 -100	150	<b>110</b>
>100	165	<b>130</b>

Olağanüstü bir özellik göstermeyen yapılarda, rüzgar etkisi eşdeğer yatay bir statik yük olarak düşünülür. Bunun için, rüzgar dinamik basıncı (  $q$  ) yapının geometrik şekline bağlı ( $C_f$ ) sabiti kullanılarak eşdeğer statik basınca çevrilir:

$$W = C_f \cdot (q) \cdot A$$

Farklı olan ilk dört kat için parametreler hesaplanmıştır.

Kat	x (m)	y (m)	H (m)	A <sub>x</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>y</sub> (m <sup>2</sup> )
Bodrum Kat	62,85	65,58	6,00	375,50	393,50
Zemin Kat	50,20	50,20	6,50	326,30	326,30
1.Normal Kat	38,55	38,55	3,70	142,60	142,60
2.Normal Kat	33,80	33,80	3,70	125,06	125,06

**Yük hesabı****Bodrum kat**

$$W = 1,20 \times 0,50 \times 375,50 = 225 \text{ kN}$$

**Zemin kat**

$$W = 1,20 \times 0,80 \times 326,30 = 313 \text{ kN}$$

**1.Normal kat**

$$W = 1,20 \times 0,80 \times 142,60 = 137 \text{ kN}$$

**2.Normal kat**

$$W = 1,20 \times 1,10 \times 125,06 = 165 \text{ kN}$$

**Son kat**

$$W = 1,20 \times 1,30 \times 125,06 = 195 \text{ kN}$$

Diğer normal katlara gelen rüzgar yükleri, 2.normal kata gelen rüzgar yükü ile aynıdır.

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 27.06.1978

Doğum yeri İstanbul

Lise 1994-1997 Kartal Yakacık Lisesi

Lisans 1998-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2004-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı