

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**P-DELTA ETKİSİNİN DEPREM YÖNETMELİĞİ
ÇERÇEVESİNDE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Mehmet Cüneyt HARMANDALI

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2002

**P-DELTA ETKİSİNİN DEPREM YÖNETMELİĞİ
ÇERÇEVESİNDE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Mehmet Cüneyt HARMANDALI

501981059

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Mayıs 2002

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ertay ERGÜVEN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hasan ENGİN
Öğr.Gör.Dr. Ali KOÇAK (Y.T.Ü.)

MAYIS 2002

Önsöz

Bu tezin hazırlanması süresince her türlü yardımı bulunan ve bana sonuna kadar destek veren aileme, arkadaşlarıma ve özellikle sabır, hoşgörü, ilgi ve yardımlarıyla çalışmama yön veren ve desteğini esirgemeyen pek saygı değer hocam Sayın Prof. Dr. M. Ertaç ERGÜVEN' e saygılarımla sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2002

Mehmet Cüneyt HARMANDALI

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	IV
ŞEKİL LİSTESİ	V
SEMBOL LİSTESİ	VI
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
1. GİRİŞ	1
2. P-DELTA ETKİSİ İLE İLGİLİ KAVRAMLAR	2
2.1. Birinci Mertebe Yapısal Çözümleme	2
2.2. İkinci Mertebe Yapısal Çözümleme	2
2.3. Geometrik Rijitlik	2
2.4. Burkulma Yüğü	6
2.5. P-Delta Etkisi	8
3. P-DELTA HESAP YÖNTEMLERİ	10
3.1. Büyütme Katsayısı Yöntemi	10
3.2. Eşdeğer Kesme Kuvveti Yöntemi (İteratif Yöntem)	12
3.3. İteratif Ağırlık Yüğü Yöntemi	15
3.4. Direkt Yöntem	17
3.5. Negatif Rijitlikli Fiktif Eleman Yöntemi	18
3.6. Asimetrik Yapılar İçin P-Delta Analizi	22
3.6.1. Değıştirilmiş Kat Rijitliğı	25
4. P-DELTA ETKİSİNİN YÖNETMELİKLERDEKİ YERİ	26
5. P-DELTA ANALİZİ ÖRNEĞİ	33
6. SONUÇLAR	39
KAYNAKLAR	41
EKLER	42
ÖZGEÇMİŞ	51

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1. P-Deltasız deprem kuvvetleri	34
Tablo 5.2. P-Detalı deprem kuvvetleri	35
Tablo 5.3. P-Deltasız kat deplasmanları	35
Tablo 5.4. P-Detalı kat deplasmanları	36
Tablo 5.5. P-Deltasız Burulma Deplasman Vektörleri.....	37
Tablo 5.6. P-Detalı Burulma Deplasman Vektörleri	38

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Kabloya etkiyen kuvvetler	3
Şekil 2.2 : Eksenel basınç altındaki kiriş	6
Şekil 2.3 : Konsol kolonda birinci ve ikinci mertebe etkiler	8
Şekil 2.4 : Konsol kolondaki moment diyagramları	9
Şekil 3.1 : Eğilme kolonu	10
Şekil 3.2 : Ağırlığı üniform yayılı konsol	11
Şekil 3.3 : Kat yüksekliğindeki kolon.....	13
Şekil 3.4 : Eşdeğer yanal yük artışları.....	13
Şekil 3.5 : Şekil değiştirmiş konumdaki kolona uygulanan ağırlık yükleri.....	15
Şekil 3.6 : Şekil değiştirmiş fiktif kolon üzerindeki ağırlık yükleri	16
Şekil 3.7 : Fiktif kayma kolonu modeli	20
Şekil 3.8 : Fiktif eğilme kolonu modeli	21
Şekil 3.9 : Örnek yapının kat planı	23
Şekil 3.10 : v1 ve v2 yönündeki benzer iki çerçeve.....	25
Şekil 4.1 : Basit bir çerçeve.....	31
Şekil 5.1 : P-Delta Analizi yapılan binanın kat planı ve perspektifi.....	33

SEMBOL LİSTESİ

C_m	: Burkulmada Moment Katsayısı
$E_c I_c$	: Kolon Tüm Beton Kesitinin Eğilme Rijitliği
$E_s I_s$	: Boyuna Donatı Kesitinin Oluşturduğu Eğilme Rijitliği
$F_{i,j}$	: Yanal Kuvvetler
h_i	: İ. Kat Yüksekliği
l_k	: Kolon Etkili (Burkulma) Boyu
l_i	: I. Katın Kolon Boyu (Eksenden Eksene)
l_n	: Kolon Serbest Boyu
k	: Kolon Etkili Boyu Katsayısı
k_g	: Geometrik Rijitlik Matrisi
K	: Yanal Rijitlik Matrisi
M^*	: Sonuç Moment
$M_{i,j}$	: İlave Momentler
N_d	: Tasarım Eksenel Kuvveti
N_{gd}	: Tasarım Eksenel Kuvvetinin Kalıcı Yükten Kaynaklanan Bölümü
P	: Eksenel Yük
P_{cr}	: Burkulma Yüğü
P_i	: İ. Seviye Üzerindeki Ağırlık Yükleri
Q	: Kesite Etkiyen Kesme Kuvveti
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
R_m	: Sünme Katsayısı
T	: Çekme Kuvveti
$v_{i,j}$	: Yanal Deplasmanlar
V_d	: Tasarım Kesme Kuvveti
V_{gd}	: Tasarım Eksenel Kuvvetinin Kalıcı Yükten Kaynaklanan Bölümü
V_i'	: İ. Kattaki Yanal Kesme Kuvveti Artışı
α_1, α_2	: Kolon Ucu Dönmesi Engelleme Katsayıları
α_m	: α_1, α_2 Oranları Ortalaması
β	: Moment Büyütme Katsayısı
Δ	: Yanal Deplasman
Δ^*	: Sonuç Deplasman
Δ_i	: Göreli Kat Ötelemesi
δ	: P-Delta Etkisi Dahil Sonuç Deplasman
θ_i	: Stabilité İndeksi
μ	: Süneklilik Katsayısı

ÖZET

Bu çalışmada, ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafesi büyük olan 22 katlı bir yapı analiz edilmiştir ve bu yapıda burulma etkisi meydana gelmektedir. Analiz için STA4CAD programı kullanılmıştır. Genellikle , bu program rijitlik hesabında kolonlar ve perdeleri göz önünde bulundurur fakat, P-delta analizinde kolon-kiriş düğüm noktalarının da rijitliklerini hesaba dahil eder. Böylece, rijitlik merkezinin ikinci mertebe etkilerini göz önünde bulundurarak yapılar analiz edilir. Bu programda dört adet deprem ve dinamik analiz kombinasyonu bulunmakta, deprem kuvvetleri x ve y yönünde $\pm 5\%$ eksantrisite ile etkimektedir ve tüm veriler 9. 10. 11. 12. yük kombinasyonlarından alınmıştır.

Bu 22 katlı yapı analizinde, proje özellikleri değiştirilmesiyle dört örnek göz önüne alınmıştır. Her örnek P-deltalı ve P-deltasız olarak analiz edilmiştir. İlk örnekte, yapı şartnamelere uygun olarak çözülmüştür. İkinci örnekte ise yapı taşıyıcı sistem davranış katsayısı 4 alınarak analiz edilmiştir. Üçüncü örnekte, poligon kolon iki parçaya bölünmüştür böylelikle rijitlik değişmiştir. Dördüncü örnekte, hareketli yük katılım katsayısı 1 alınmıştır. Örneklerdeki bu değişiklikler yapının ağırlığını ve rijitliğini değiştirmektedir. Böylece, bu değişim P-delta etkisini artırmıştır. Analizden elde edilen deprem kuvvetleri, kat deplasmanları ve burulma deplasman vektörleri tablolarla verilmiştir. Sonuçlardan da anlaşılabacağı üzere, P-delta etkisi hem deprem kuvvetlerini hem de kat deplasmanlarını artırmaktadır. Bazı katlarda kat deplasmanlarındaki bu artış %20 civarındadır. Taban momentlerinde ise %7 dir. Sonuç olarak, P-delta etkisi analizde göz önünde bulundurulmalıdır.

RESEARCHING OF P-DELTA EFFECTS WITHIN SEISMIC CODES

SUMMARY

In this study, a 22-storey building which has a large distance between its gravity center and rigidity center has been analysed and in this building torsional effect exists. In the analysis the STA4CAD program has been used. Usually, in calculating of rigidity this program takes columns and shear walls into consideration, but in the P-delta analysis rigidity in beam-column joints are considered as well. So, buildings are analysed by taking second order effect of rigidity center into consideration. In this program there are four earthquake and dynamic analysis combinations, in which earthquake forces are applied in x and y direction with $\pm 5\%$ eccentricity and all these are shown in the loading combinations 9. 10. 11. 12.

In this 22-storey building analysis, four examples have been considered by changing the project property. Each example has been analysed either with P-delta effect or without P-delta effect. In the first example, building has been analysed according to the standards. In the second example, structural behaviour factor has been taken as 4. In the third example, the polygon column has been divided into two parts. So, rigidity has changed. In the fourth example, live load participation factor has been taken as 1. The changes in these examples have caused the gravity and rigidity of the building to change. Thus, these variations have increased the P-delta effect. Earthquake forces, storey drifts and torsional displacement vectors obtained from each analyse have been given in tables. As it is understood from the results, P-delta effect increases both earthquake forces and storey drifts. In some storeys the increase in storey drift is about 20%. The increase in the base moments is up to 7%. Consequently, P-delta effect should be considered in analysis.

1. GİRİŞ

Günümüzde çok katlı ve işlevsel yapılara talep artmaktadır. Yapı ne kadar yüksek olursa da etkiyen yatay kuvvetler ve ağırlık yükleri de o denli büyük olacaktır. Yatay kuvvetlerin artması ise deplasman artışı anlamına gelmektedir. Ayrıca yapının taban alanının geometrisinin düzgün olmamasından veya mimari çözümden dolayı planda simetrik olmayan taşıyıcı sistemler bulunabilmektedir. Bir de aynı yapı içindeki katların kullanım amaçlarının farklı olması sebebiyle hareketli ve sabit yükler kattan kata farklılık gösterebilmektedir. Bu sözü edilen planda simetrik olmayan ve yüklerin kattan kata değiştiği yapılarda ağırlık ve rijitlik merkezi arasındaki uzaklık artmakta bu da dolayısıyla burulma etkisini ön plana çıkarmaktadır. Bu burulma etkisi de katlar arası deplasman farkına sebep olmaktadır. Sonuçta yatay kuvvet ve burulma etkisinin artışıyla orantılı olarak artan deplasmanları göz önünde bulundurursak yapının denge denklemlerinin şekil değiştirmemiş sistem üzerinde yazılmasının ne kadar doğru olduğu sorusu akla gelmektedir. Ağırlık yüklerinin bu deplasmanlar altında oluşturduğu ilave moment P-delta etkisi olarak adlandırılır.

Bu çalışmada P-delta etkisi kavramı incelenmiştir. Özellikle yüksek yapılarda, düşey yükü ve kat deplasmanları büyük olan ve burulma etkisinin önemli olduğu sistemlerde kat deplasmanları daha da büyüyeceği için P-delta etkileri dikkate alınmalıdır. Tasarımda göz önünde bulundurulmasının gerekli olup olmadığı her ülkenin yönetmeliğine göre değişmektedir ve hesaba dahil edilmesi durumunda değişik P-delta etkisi hesap yöntemleri bulunmaktadır. En yaygın ve kolay olan yöntem geometrik rijitlik matrisinin kullanıldığı yöntemdir. Kolay bir yöntemdir çünkü sistem lineerleştirilmekte ve iterasyon gerektirmemektedir. Ayrıca kolonlar üzerine gelen yükler Euler burkulma yükünden küçükse bu yöntem çok iyi sonuçlar vermektedir.

2. P-DELTA ETKİSİ VE İLGİLİ KAVRAMLAR

2.1 Birinci Mertebe Yapısal Çözümleme

Birinci mertebe yapısal çözümleme, yapı taşıyıcı sisteminin şekil değiştirmeler öncesindeki geometrisini temel alan ve şekil değiştirmeler sonucu ortaya çıkan iç kuvvet değişimlerini içermeyen yapısal çözümleme türüdür.

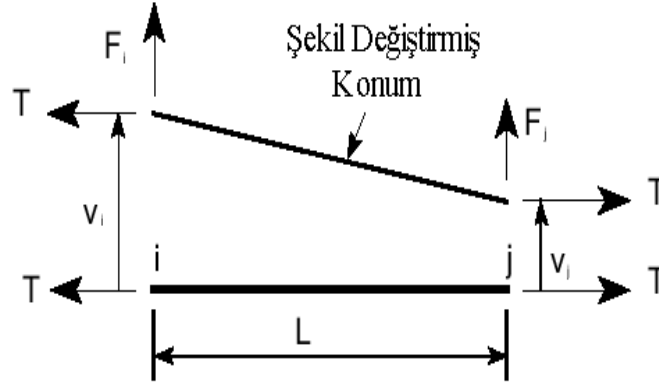
2.2 İkinci Mertebe Yapısal Çözümleme

İkinci mertebe yapısal çözümleme, yapı taşıyıcı sisteminin şekil değiştirmeler sonrasındaki geometrisini temel alan ve şekil değiştirmeler nedeniyle ortaya çıkan iç kuvvet değişimlerini de içeren yapısal çözümleme türüdür.

2.3 Geometrik Rijitlik

Büyük bir çekme kuvvetine maruz bir kablonun yanal rijitliğinin arttığı bilinmektedir. Eğer uzun bir çubuk, büyük bir basınç kuvvetine maruz ve burkulma sınırında ise çubuğun yanal rijitliğinde önemli bir azalma söz konusudur ve küçük bir yanal yük bile çubuğun burkulmasına sebep olabilir. Bu genel davranış biçimi yapının geometrik rijitliğindeki değişimden kaynaklanmaktadır. Buradan da kolayca anlaşılabileceği üzere rijitlik, yapısal elemana etkiyen yükün bir fonksiyonudur ve pozitif ya da negatif olabilir [8].

Bir kablo veya çubuğun geometrik rijitlik denklemlerini türetmek oldukça kolaydır. Şekil 2.1’de gösterilen, uzunluğu L olan, T çekme kuvveti etkiyen yatay bir kablo göz önüne alalım. Eğer kablo görüldüğü üzere uçlarda v_i , v_j yanal deplasmanlarına maruz ise bu durumda kablonun deplasman yapmış durumda dengede kalabilmesi için ek F_i , F_j kuvvetleri geliştirilmelidir. Yukarı yönde olan deplasman ve kuvvetleri pozitif alalım. Aynı zamanda deplasmanların küçük olduğu ve kablodaki çekmeyi değiştirmedeği kabulü yapalım.



Şekil 2.1 Kabloya Etkiyen Kuvvetler

Şekil değiştirmiş durumda i noktası etrafındaki momentleri kullanarak aşağıdaki denge denklemleri yazılabilir:

$$F_i = \frac{T}{L}(v_i - v_j) \quad 2.1$$

Ve düşey denge koşulundan aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$F_j = -F_i \quad 2.2$$

Yanal kuvvetler; (2.1) ve (2.2) denklemleri birleştirilerekten yanal deplasmanlara göre aşağıdaki matris eşitliği ile tanımlanabilir:

$$\begin{bmatrix} F_i \\ F_j \end{bmatrix} = \frac{T}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ v_j \end{bmatrix} \quad \text{ya da} \quad \mathbf{F}_g = \mathbf{k}_g \mathbf{v}_g \quad 2.3$$

2x2'lik geometrik rijitlik matrisi $\mathbf{k}_g$; kablunun mekanik özelliklerinin fonksiyonu değil, elemanın uzunluğunun ve elemandaki kuvvetin bir fonksiyonudur. Bu nedenle, elemanın fiziksel özelliklerine dayanan mekanik rijitlik matrisinden farklı bir isim alması için geometrik ya da gerilme rijitlik matrisi olarak tanımlanır. Geometrik rijitlik tüm yapılarda mevcuttur; yine de eğer yapısal sistemin mekanik rijitliğiyle kıyaslanacak büyüklükte ise önem kazanmaktadır.

Uçlarda ϕ_i , ϕ_j dönmelerinden kaynaklanan şekil değiştirmesi kübik fonksiyon olduğu kabul edilen eğilen bir kiriş olursa ek momentler M_i , M_j geliştirilir. Kuvvet-deplasman ilişkisi aşağıdaki eşitlikle verilmektedir.

$$\begin{bmatrix} F_i \\ M_i \\ F_j \\ M_j \end{bmatrix} = \frac{T}{30L} \begin{bmatrix} 36 & 3L & -36 & 3L \\ 3L & 4L^2 & -3L & -L^2 \\ -36 & -3L & 36 & 3L \\ 3L & -L^2 & -3L & 4L^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \phi_i \\ v_j \\ \phi_j \end{bmatrix} \quad \text{ya da} \quad \mathbf{F}_G = \mathbf{k}_G \mathbf{v} \quad 2.4$$

Kayma deformasyonsuz prizmatik bir kiriş için elastik kuvvet-deformasyon ilişkisi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} F_i \\ M_i \\ F_j \\ M_j \end{bmatrix} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & -2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ -6L & -2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \phi_i \\ v_j \\ \phi_j \end{bmatrix} \quad \text{ya da} \quad \mathbf{F}_E = \mathbf{k}_E \mathbf{v} \quad 2.5$$

Bu nedenle kiriş üzerindeki toplam kuvvetler

$$\mathbf{F}_T = \mathbf{F}_E + \mathbf{F}_G = [\mathbf{k}_E + \mathbf{k}_G] \mathbf{v} = \mathbf{k}_T \mathbf{v} \quad 2.6$$

Sonuçta, eğer eleman üzerindeki aksenal kuvvet sabit kalırsa bu gerilme için rijitleştirme ya da yumuşatma etkisini hesaplamak için rijitlik matrisi $\mathbf{k}_T$ 'yi oluşturmak yeterlidir.

Deplasman temelli sonlu eleman tipi için geometrik rijitlik matrisini oluşturmak oldukça basittir. Gerilme denklemleri ise aşağıda görüldüğü üzere x-y-z lokal sistemindedir.

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{u}}_x^T \bar{\mathbf{u}}_x \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{u}}_y^T \bar{\mathbf{u}}_y \\ \varepsilon_z &= \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{u}}_z^T \bar{\mathbf{u}}_z \end{aligned} \quad 2.7$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{u}}_x^T \bar{\mathbf{u}}_y + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{u}}_y^T \bar{\mathbf{u}}_x$$

$$\gamma_{xz} = \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{u}}_x^T \bar{\mathbf{u}}_z + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{u}}_z^T \bar{\mathbf{u}}_x$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{u}}_x^T \bar{\mathbf{u}}_y + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{u}}_y^T \bar{\mathbf{u}}_x)$$

Lineer olmayan terimler aşağıda tanımlandığı gibi matrislerden oluşur.

$$\bar{\mathbf{u}}_x = \begin{bmatrix} u_{x,x} \\ u_{y,x} \\ u_{z,x} \end{bmatrix}, \bar{\mathbf{u}}_y = \begin{bmatrix} u_{x,y} \\ u_{y,y} \\ u_{z,y} \end{bmatrix}, \bar{\mathbf{u}}_z = \begin{bmatrix} u_{x,z} \\ u_{y,z} \\ u_{z,z} \end{bmatrix} \quad 2.8$$

(2.7) denklemi aşağıdaki lineer ve lineer olmayan kısımların toplanmasıyla açıklanabilir.

$$\mathbf{d} = \mathbf{d}_L + \mathbf{d}_N \quad 2.9$$

Matris şeklinde yazılan bu gerilme-deplasman denklemleri klasik Green-Lagrange zorlarıyla benzerdir.

Eğer ilk gerilmeler büyükse, yapının potansiyel enerjisi aşağıdaki terimin eklenmesiyle değiştirilmelidir. İlk gerilmeler aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\mathbf{s}_0^T = [\sigma_{xx} \quad \sigma_{yy} \quad \sigma_{zz} \quad \sigma_{xy} \quad \sigma_{xz} \quad \sigma_{yz}] \quad 2.10$$

(2.10) potansiyel enerji ifadesi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\Omega_\sigma = \frac{1}{2} \int [\bar{\mathbf{u}}_x^T \quad \bar{\mathbf{u}}_y^T \quad \bar{\mathbf{u}}_z^T] \begin{bmatrix} \mathbf{s}_{xx} & \mathbf{s}_{xy} & \mathbf{s}_{xz} \\ \mathbf{s}_{yx} & \mathbf{s}_{yy} & \mathbf{s}_{yz} \\ \mathbf{s}_{zx} & \mathbf{s}_{zy} & \mathbf{s}_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\mathbf{u}}_x \\ \bar{\mathbf{u}}_y \\ \bar{\mathbf{u}}_z \end{bmatrix} dV = \frac{1}{2} \int \mathbf{g}^T \mathbf{S} \mathbf{g} dV \quad 2.11$$

3x3'lük gerilme matrisleri aşağıdaki gibidir.

$$\mathbf{s}_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{33} \end{bmatrix}_0 \quad 2.12$$

Eleman rijitlik matrislerini oluşturmak için kullanılan şekil fonksiyonlarından yararlanarak, deplasmanların türevleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\mathbf{g} = \mathbf{G}\mathbf{u} \quad 2.13$$

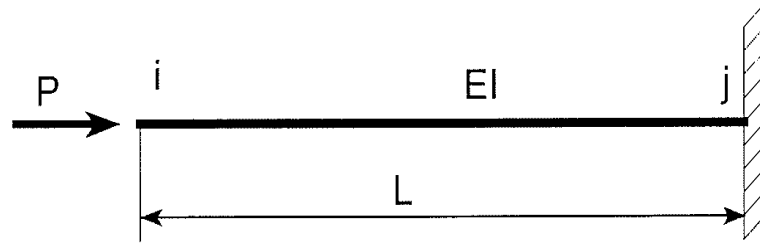
Sonuçta herhangi bir eleman için geometrik rijitlik aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$\mathbf{k}_g = \int \mathbf{G}^T \mathbf{S} \mathbf{G} dV \quad 2.14$$

Çoğu sonlu eleman için geometrik rijitlik nümerik integrasyonla elde edilir.

2.4 Burkulma Yüğü

Eksenel basınç kuvvetinin büyük olması durumunda kirişin toplam rijitlik matrisi tekil olabilir. Bu stabilitesizliği göstermek için j noktasındaki deplasmanı sıfır olan şekil 2.2'deki kirişi göz önüne alalım.



şekil2.2 Eksenel basınç altındaki kiriş

Şekil 2.2'de gösterilen kiriş için (2.6) denkleminde elde edilen denge denklemlerinin matris formu aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} 12 + 36\lambda & 6L + 3L\lambda \\ 6L + 3L\lambda & 4L^2 + 4L^2\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \phi_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad 2.15$$

Burada $\lambda = -\frac{PL^2}{30EI}$ dir. Bu özdeğer problemi çözülürse

$$\lambda = -0.0858 \quad P_{cr} = 2.57 \frac{EI}{L^2} \quad 2.16$$

Konsol kiriş veya kolon için Euler burkulma yükü;

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2} = 2.47 \frac{EI}{L^2} \quad 2.17$$

Kolon etkili eğilme rijitliği EI, daha güvenilir bir hesap yapılmayan durumlarda, aşağıda verilen denklemlerden elde edilebilir [7] .

$$EI = \frac{0,2 E_c I_c + E_s I_s}{1 + R_m} \quad 2.18$$

veya

$$EI = \frac{0,4 E_c I_c}{1 + R_m} \quad 2.19$$

Burada $E_c I_c$ tüm beton kesitin eğilme rijitliğini, $E_s I_s$ ise 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.

$$R_m = \frac{N_{gd}}{N_d} \quad 2.20$$

Sünme oranı R_m , yanal ötelenmesi önlenmemiş sistemlerde ise, tüm kat kolonları hesap kesme kuvvetlerin

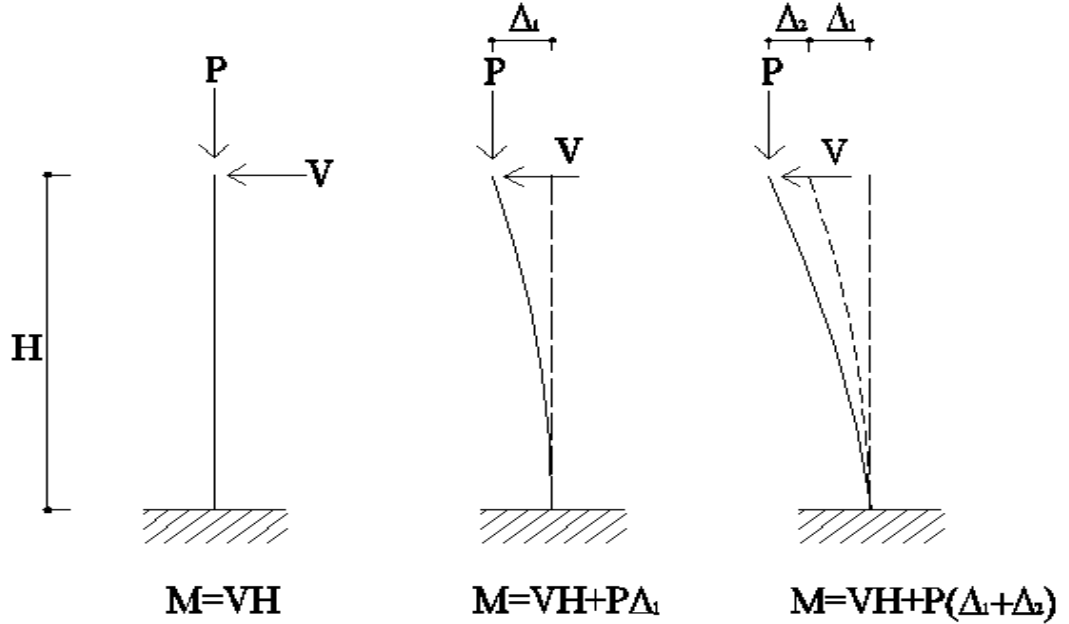
deki (V_d) kalıcı yük katkısı toplamının, hesap kesme kuvvetleri toplamına oranıdır.

$$R_m = \frac{\sum V_{gd}}{\sum V_d} \quad (\text{Tüm kat için}) \quad 2.21$$

Sonuçta (2.16) denklemindeki kübik fonksiyona bağlı yaklaşık çözüm, kesin çözüme %5 yaklaşıklıktadır. Eğer (2.3) denkleminde verilen doğru şekilli yaklaşım kullanılırsa yaklaşık burkulma yükü $3.0 \frac{EI}{L^2}$ olarak elde edilir. Bu yine de uygun bir yaklaşımdır.

2.5 P-Delta Etkisi

Deprem ve rüzgar gibi yatay kuvvetler etkisi altındaki binalar bu kuvvetle orantılı olarak yanal deplasman yaparlar ve bu deplasmanlar sonucu ağırlık yüklerinin eksantrikliğinden kaynaklanan ilave momentler yapıya etkir. Yapıyı bir kolon olarak şekil 2.3’de gösterildiği üzere bir kolon olarak göz önüne alalım. Bu ilave moment ağırlık yükü P ile yapının yanal deplasmanı Δ ’nın çarpımından oluşan $P \cdot \Delta$ momentine eşittir. İkinci mertebe etkisi olarak da adlandırılan bu moment etkisi genelde ihmal edilmektedir. Özellikle yüksek yapılarda, düşey yükü ve kat deplasmanları büyük olan ve burulma etkisinin önemli olduğu yapılarda ikinci mertebe etkilerinin göz önüne alınması tavsiye edilir [2].



Şekil 2.3 Konsol kolonda birinci ve ikinci mertebe etkiler

Ağırlık yükü olarak düşündüğümüz bu eksenel kuvvet kolondaki basınç kuvveti olabileceği gibi bir kablodaki çekme kuvveti de olabilir. Şekil 2.4’deki moment diyagramlarında bu eksenel kuvvetin basınç veya çekme olduğu durumdaki etkisi görülmektedir.

Öncelikle bu kuvvetin basınç olduğunu ve eleman boyunca değişmediğini düşünelim. Şekil değiştirmemiş konuma göre tabandaki moment ifadesi aşağıdaki gibidir ve lineer bir değişim gösterir.

$$M = VH$$

2.22

Eğer şekil değiştirmiş konum için dengeyi düşünürsek ilave moment meydana gelecektir ve artık moment eleman boyunca lineer değişim göstermez. Değişim sehim şekline bağlıdır. Basınç kuvveti çok büyük ise limit durumda yanal rijitlik sıfıra, dolayısıyla Δ deplasmanı sonsuza gitmektedir. Ayrıca burada eksenel kuvvetin etkisiyle eleman uzunluğundaki değişimden kaynaklanan moment değişimi ihmal edilmiştir.

$$M = VH + P\Delta_1$$

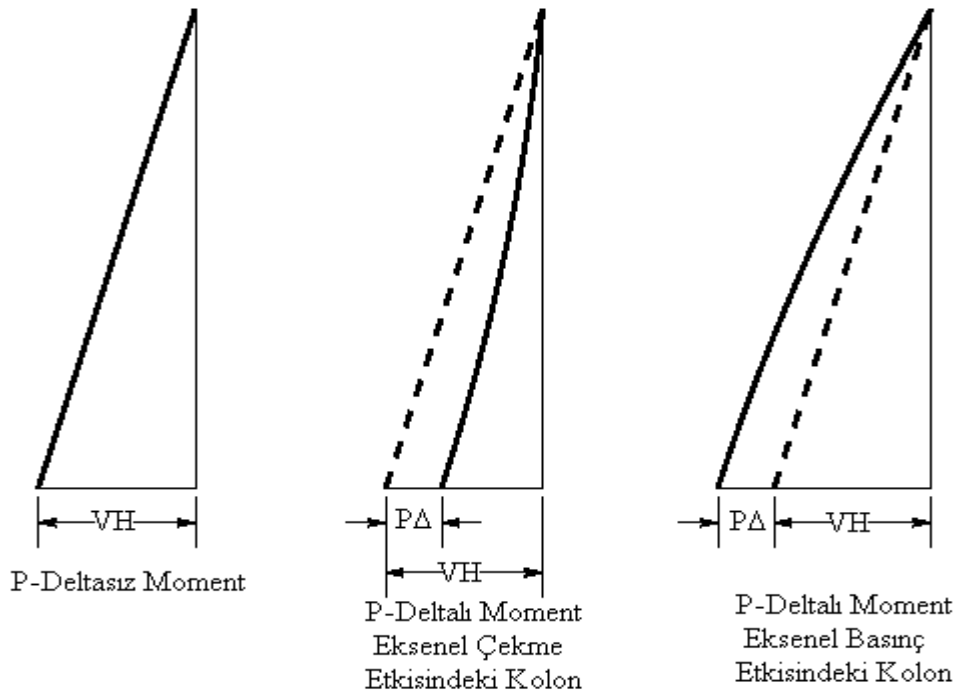
2.23

Eksenel kuvvetin çekme olması durumu için ise moment ifadesi:

$$M = VH - P\Delta_1$$

2.24

Sonuçta eksenel kuvvetin çekme ise yanal rijitlik artmakta, basınç olması durumunda ise yanal rijitlik azalmaktadır. Bu kuvvetler etkisinde moment diyagramları sıfır eksenel kuvvet için kübik, çekme eksenel kuvveti için hiperbolik, basınç eksenel kuvveti için ise trigonometrik fonksiyon olarak tanımlanır.

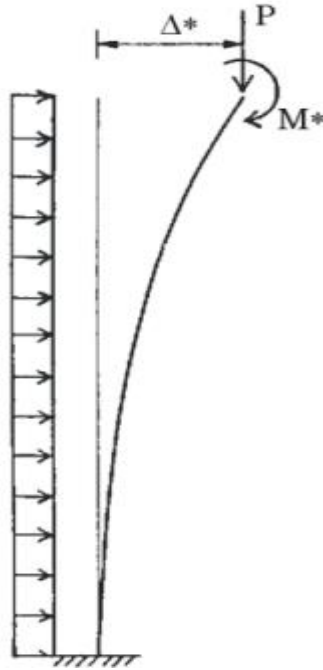


Şekil 2.4 Konsol kolondaki moment diyagramları

3. P-DELTA HESAP YÖNTEMLERİ

3.1 Büyütme Katsayısı Yöntemi

Bu yaklaşık bir yöntemdir ve birinci mertebe yanal kuvvet analizinden elde edilen deplasman ve momentlerin bir katsayısıyla çarpılarak büyütülmesi esasına dayanır. Bu büyütme katsayısı; şekil 3.1'deki düzgün yatay yayılı yüklü ve eksenel yükü bulunan deplasman yapmış konsol göz önünde bulundurularak türetilir [3].



Şekil 3.1 Eğilme kolonu

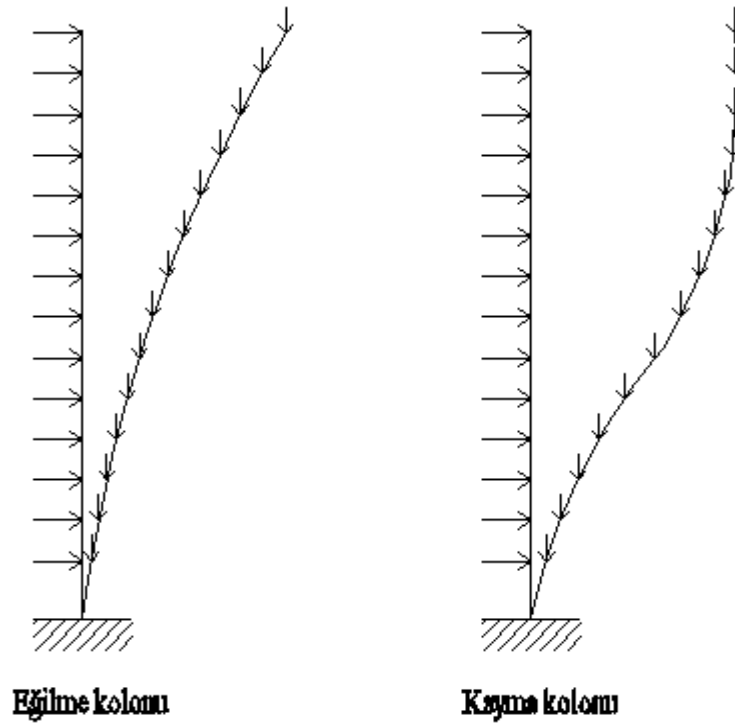
Sehim eğrisinin diferansiyel denkleminin çözümünden, serbest uçtaki P-delta etkili son deplasman aşağıdaki ifadeyle tanımlanabilir.

$$\Delta^* = \Delta \left(\frac{1}{1 - \frac{P}{P_{cr}}} \right) \quad 3.1$$

3.1 denklemine göre eksenel P yüküne maruz elemanın yanal yüklerden kaynaklanan serbest uç deplasmanı bir büyütme katsayısıyla artırılır. Bu büyütme katsayısı;

$$F = \left(\frac{1}{1 - \frac{P}{P_{cr}}} \right) \quad 3.2$$

Bu büyütme katsayısı yöntemi, şekil 3.2’de görüldüğü üzere ağırlığı, yüksekliği boyunca düzgün yayılı yüksek yapılara uygulanabilir. 3.1 denklemi konsolun serbest ucundaki maksimum sehimi verse de, yapı yüksekliği boyunca herhangi bir noktada da geçerlidir. Büyütme katsayısı yapı yüksekliği boyunca sabittir.



Şekil3.2 Ağırlığı üniform yayılı konsol

P-delta analizinde deplasmanlar ile ağırlık yükleri arasındaki ilişki lineer olmadığı için analizde göçme durumuyla ilgili yükler ve eleman rijitlikleri kullanılmalıdır. Eğilme kolonu için burkulma yükü;

$$P_{cr} = \frac{7.83 EI_0}{L^2} (1 - 0.3\beta) \quad 3.3$$

Kayma kolonu için burkulma yükü;

$$P_{cr} = \frac{12 E \left(1 + \frac{C_1}{6G_1} \right)}{h_1 \left(\frac{1}{C_1} + \frac{2}{3G_1} \right)} \quad 3.4$$

$$C_1 = \sum \left(\frac{I_c}{h} \right)_1 \quad 3.5$$

$$G_1 = \sum \left(\frac{I_g}{h} \right)_1 \quad 3.6$$

Kayma ve eğilme katılımının kombinasyonu durumunda burkulma yükü;

$$\frac{1}{P_{cr}} = \frac{1}{P_f} + \frac{1}{P_s} \quad 3.7$$

P-delta etkisi yanıl deplasmanlar yanında iç momentlerde de artışa yol açar ve deplasmanlar için kullanılan büyütme katsayısı momentler için de aynıdır.

$$M^* = M \left(\frac{1}{1 - \frac{P}{P_{cr}}} \right) \quad 3.8$$

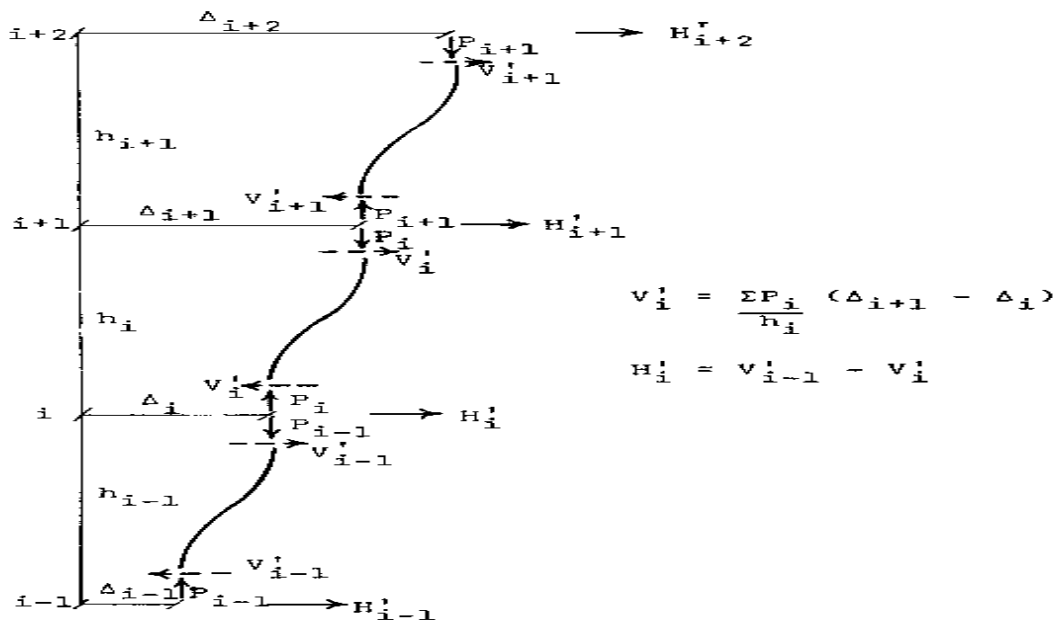
P-delta etkilerinin elde edilmesi için büyütme katsayısı yöntemi hızlı fakat yaklaşık bir yöntemdir. P-delta etkisinin şiddetinin hesabından çok, bu etkinin yapı için önemli olup olmadığına karar vermek amacıyla kullanılır.

3.2 Eşdeğer Kesme Kuvveti Yöntemi (İteratif Yöntem)

Bu yöntemde yapı üzerindeki eksantrik ağırlık yüklerinin etkisi eşdeğer kesme kuvvetleriyle ifade edilir [3]. Yapıya etkiyen yanıl yüklere, eşdeğer kesme kuvvetinin eklenmesiyle P-delta etkilerini içeren yanıl yük analizi sonuçları elde edilir. Yapıya etkiyecek ilave moment $P \cdot \delta^*$ büyüklüğünde olacağına göre eşdeğer kesme kuvveti de $(P \cdot \delta^*/H)$ kadar olacaktır.

Bir kolon için tanımlanan bu yöntem çok katlı yapılarda da kullanılabilir. Şekil3.4’de çok katlı bir yapının katları gösterilmektedir. Ağırlık yükünün eksantrisitesine eşdeğer, i. kattaki yanal kesme kuvveti artışı aşağıdaki gibidir.

$$V_i' = \frac{\sum P_i}{h_i} (\Delta_{i+1} - \Delta_i) \quad 3.9$$



13

3.9 denkleminde elde edilen eşdeğer kat kesme kuvveti artışı i. kattaki kolon ve perdelerin uçlarında P-delta momenti yaratır. Böylece, i. kata eklenen eşdeğer kesme kuvveti artışı, o kata etkiyen alt ve üst kat kesme kuvvetleri arasındaki farka eşittir.

$$H'_i = V'_{i-1} - V'_i \quad 3.10$$

Eşdeğer kesme kuvvetlerindeki artışlar H'_i , ilgili dış yanal kuvvetlerin artırılmasında kullanılır ve yapı tekrar analiz edilir. Bu yöntemde yanal kuvvetler deplasmanların yeni değerlerine göre artırılır ve son deplasman değeri ile bir önceki iterasyondaki deplasman değeri arasındaki fark önemsiz olana kadar iterasyona devam edilir. Böylece bu yöntemde elde edilen sonuç momentler ve deplasmanlara P-delta etkisi dahil edilmiş olur. Genelde iki ya da üç iterasyon yeterlidir. Eğer beş iterasyondan sonra sonuçlar yine bir noktada birleşmiyorsa bu, yapının stabil olmadığı anlamına gelebilir. Bu yöntem diğer ikinci mertebe hesap yöntemleriyle kıyaslanabilir doğrulukta iyi sonuçlar verse de yüksek yapılar için çok zaman alan bir işlemdir.

Şekil 3.4'deki eşdeğer statik kuvvet sistemini matris notasyonu ile göstermek istersek [8];

$$\begin{bmatrix} f_{i+1} \\ f_i \end{bmatrix} = \frac{P_i}{h_i} \begin{bmatrix} 1.0 \\ -1.0 \end{bmatrix} [\Delta_i] \quad 3.11$$

Sonuçta yapının yatay denge denklemi

$$\mathbf{K} \Delta = \mathbf{F} + \mathbf{L} \Delta \quad 3.12$$

burada $\mathbf{K}$ yanal kat deplasmanı Δ ile ilgili olan yanal rijitlik matrisidir. $\mathbf{F}$ vektörü bilinen yükleri ifade eder ve $\mathbf{L}$ ise P_i/h_i faktörlerini içeren bir matrisdir. 3.12 denklemini aşağıdaki formda yazabiliriz.

$$\mathbf{K}^* \Delta = \mathbf{F} \quad 3.13$$

burada $\mathbf{K}^* = \mathbf{K} - \mathbf{L}$

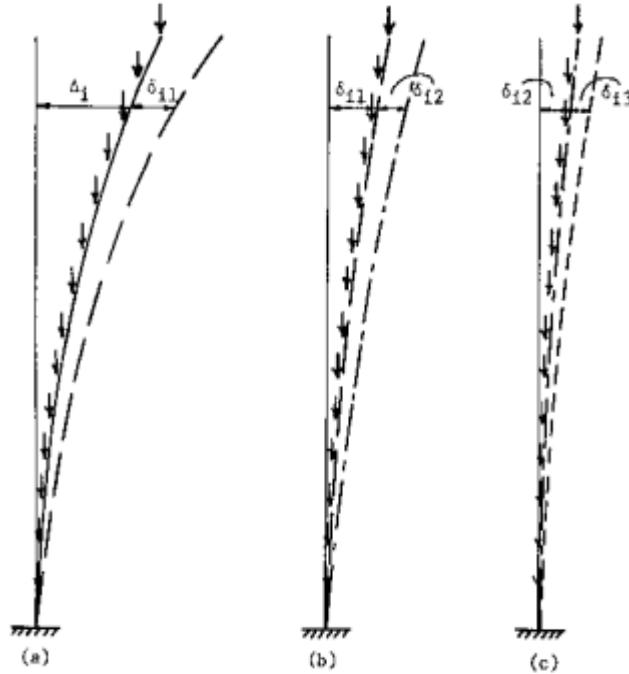
Bağıl kat deplasmanı " $\Delta_{i+1}-\Delta_i$ " 'den dolayı dönmeye katılım aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} f_{i+1} \\ f_i \end{bmatrix} = \frac{\sum P_i}{h_i} \begin{bmatrix} 1.0 & -1.0 \\ -1.0 & 1.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta_{i+1} \\ \Delta_i \end{bmatrix} \quad 3.14$$

3.14 denklemi geometrik rijitlik formudur ve sadece eksenel kuvvet etkisindeki kolonlar içindir.

3.3 İteratif Ağırlık Yüğü Yöntemi

İteratif yanal yük artışı yönteminin geniş hesaplarından kurtulmak için daha basit ve gerçekçi bir iteratif P-delta analiz yöntemi vardır ve bu yöntem bilgisayar hesapları için daha uygundur. Bir çerçeve analizi programı kullanılarak yapının birinci mertebe yatay yük analizi yapıldıktan sonra birinci mertebe Δ_i deplasmanını yapmış yüksüz yapıya ağırlık yükleri uygulanır ve artış deplasmanı δ_{i1} elde edilir şekil 3.5a. Deplasmandaki yeni artış değeri δ_{i2} 'yi elde etmek için ilk artış değeri δ_{i1} deplasmanını dahil ederek deplasman yapmış yapıya ağırlık yükleri yeniden yüklenir şekil 3.5b . Bu yöntem deplasmandaki artış miktarı ihmal edilebilecek düzeye gelene kadar tekrarlanır şekil 3.5c.



Şekil 3.5 Şekil değiştirmiş konumdaki kolona uygulanan ağırlık yükleri

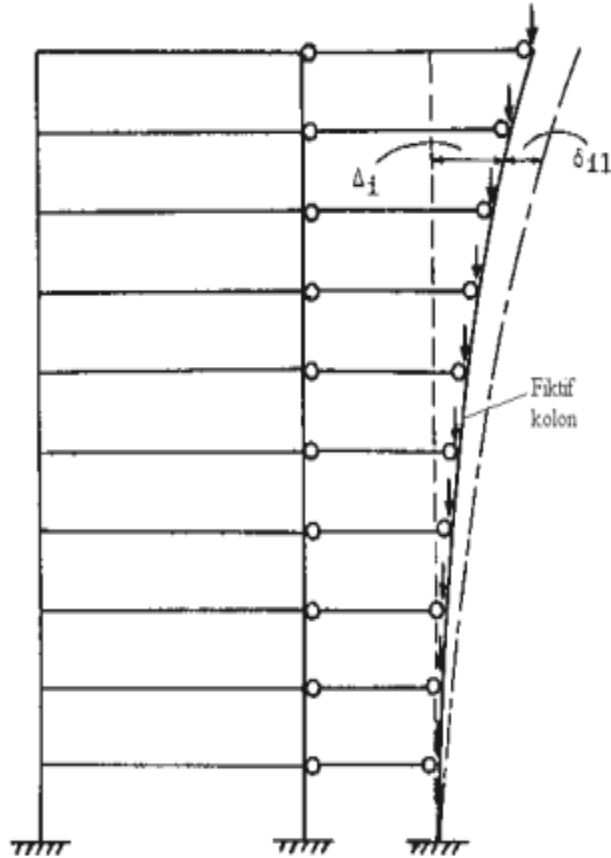
i. kattaki P-delta etkisini içeren sonuç deplasman değeri

$$\Delta_i^* = \Delta_i + \delta_{i1} + \delta_{i2} + \delta_{i3} + \dots \quad 3.15$$

i. kattaki sonuç moment değeri

$$M_i^* = M_i + \delta M_{i1} + \delta M_{i2} + \delta M_{i3} + \dots \quad 3.16$$

Pratikte bu yöntem, yapıya rijit bağlantılarla bağlı sıfır eğilme rijitliğine sahip yapı yüksekliğinde bir fiktif kolon eklenmesiyle basitleştirilebilir şekil 3.6 . Bu durumda yukarıda tanımlandığı gibi aynı iteratif yöntemle deplasman yapmış fiktif kolonun kat seviyelerine toplam ağırlık yükleri uygulanır. Bu yolla, tüm yapının değil sadece fiktif kolonun koordinatlarının değiştirilmesi gerekmektedir. Bu yöntem iteratif yanal kuvvet artışı yöntemine göre daha kısa zamanda yapılmasına karşın sonuçlar aynıdır.



Şekil 3.6 Şekil değiştirmiş fiktif kolon üzerindeki ağırlık yükleri

3.4 Direkt Yöntem

Bu yöntemde birinci mertebe yanal yük analizinden elde edilen sonuçların, katın ağırlık yüküne ve yanal rijitliğine bağlı bir katsayı ile ikinci mertebe uyarlaması esasına dayanır [3]. İteratif yöntemin geliştirilmesinde gösterildiği gibi, i. kattaki deplasman yapmış kolona etkiyen toplam düşey yük P_i 'nin etkisiyle i. kattaki dış kesme kuvveti artış aşağıdaki ifadeyle elde edilir.

$$\delta S_i = \frac{P_i \delta_i^*}{h_i} \quad 3.17$$

Sadece yatay yükler bulunduğu zaman çerçevenin i. katındaki kayma rijitliği;

$$K_{si} = \frac{S_i}{\delta_i} \quad 3.18$$

Sonuç deplasmanı yapmış durumdaki P-delta etkisi i. kattaki ilk kesme S_i ve δS_i artışı ile ifade edilebilir. i. kattaki toplam kesme kuvveti;

$$S_i^* = S_i + \delta S_i = S_i + \frac{P_i \delta_i^*}{h_i} \quad 3.19$$

Çerçevenin kat deplasmanının i. kattaki kesme kuvvetiyle orantılı olduğunu kabul edersek

$$S_i^* = \delta_i^* K_{si} \quad 3.20$$

P-delta etkisini içeren i. kattaki sonuç kat deplasmanı, 3.20 denkleminin 3.19 denkleminde yerine konulmasıyla aşağıdaki formu alır.

$$\delta_i^* = \frac{\left[S_i + \left(\frac{P_i \delta_i^*}{h_i} \right) \right]}{K_{si}} \quad 3.21$$

3.18 denklemindeki K_{si} değeri bu ifadede yerine koyulursa sonuç kat deplasmanı;

$$\delta_i^* = \frac{\delta_i}{\left[1 - \left(\frac{P_i \delta_i}{S_i h_i}\right)\right]} \quad 3.22$$

i. kattaki P-delta etkisini içeren toplam yanal deplasman;

$$\Delta_i^* = \sum_{j=1}^i \delta_j^* \quad 3.23$$

Birinci mertebe yatay yük analizinden P-delta etkisini içeren yaklaşık sonuç deplasmanları bulmak için 3.22 ve 3.23 denklemleri kullanılır. 3.22 denklemindeki $1/[1-(P_i \delta_i / S_i h_i)]$ katsayısı yapı yüksekliğince ağırlık yükünün lineer olmayan bir fonksiyonu olarak değişiklik gösterir.

Benzer şekilde, i. kat elemanlarındaki P-delta etkisini içeren sonuç momentler M^* , birinci mertebe yatay yük analizinden elde edilen M_i momentlerinden aşağıdaki gibi elde edilir.

$$M_i^* = \frac{M_i}{\left[1 - \left(\frac{P_i \delta_i}{S_i h_i}\right)\right]} \quad 3.24$$

Direkt yöntem yüksek olmayan ya da orta yükseklikteki rijit çerçeveler için doğru ve yeterli sonuçlar vermektedir. Yine de, bu yöntemdeki kat deplasmanı o seviyedeki kesme ile orantılıdır kabulü önemli bir şekilde sehim yapan yapılar için geçerli değildir. Bu yöntem kullanılması öncelikle kayma modunda deformasyon yapan yapılarla sınırlıdır.

3.5 Negatif Rijitlikli Fiktif Eleman Yöntemi

Rutenberg'in önerdiği bu yöntemde yapı yatay yük için analiz edildiğinde sehim ve momentler P-delta etkisini içerdiği için yapı modeli değiştirilmelidir. Bu değişiklik de negatif yanal rijitlikli kat ağırlık yüküyle orantılı olan bir kolon eklenmesinden ibarettir [3]. Bu etki her katın yanal rijitliğini azaltır çünkü sonuç sehim ve momentler yanal yükler kadar ağırlık yükünün de bir fonksiyonudur.

Nixon'un benzer prensiple geliştirdiği yöntemde ise P-delta etkisi ile ilgili yapının yanal rijitliğinde azalma sağlamak için her kata negatif alanlı fiktif diyagonal eleman eklenir. Yine de, bu tekniğin uygulanması kolonların eksenel deformasyonları ihmal edilebilir düzeyde olan yapılarla sınırlıdır. Çünkü fiktif diyagonal elemanlar, bu deformasyonları etkileyen rijitlik ve kuvvetin düşey bileşenlerini ortaya çıkarır.

şekil 3.4' göz önüne alalım. Ağırlık yüklerinin P-delta etkisine denk olan yatay yük artışları H' , iteratif yöntemdeki gibi hesaplanır ve aşağıdaki matris formda yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} H'_1 \\ H'_2 \\ H'_3 \\ \dots \\ H'_i \\ \dots \\ H'_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{P_0}{h_0} + \frac{P_1}{h_1} & -\frac{P_1}{h_1} & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots \\ -\frac{P_1}{h_1} & \frac{P_1}{h_1} + \frac{P_2}{h_2} & -\frac{P_2}{h_2} & 0 & \dots & 0 & \dots \\ 0 & -\frac{P_2}{h_2} & \frac{P_2}{h_2} + \frac{P_3}{h_3} & -\frac{P_3}{h_3} & \dots & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{P_{i-1}}{h_{i-1}} + \frac{P_i}{h_i} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \frac{P_{n-1}}{h_{n-1}} + \frac{P_n}{h_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta_1^* \\ \Delta_2^* \\ \Delta_3^* \\ \dots \\ \Delta_i^* \\ \dots \\ \Delta_n^* \end{bmatrix} \quad \dots k.. \quad 3.25$$

3.25 denklemini aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$\{H'\} = [K_g] \{\Delta^*\} \quad 3.25$$

Yapıdaki dış yanal kuvvetler H' 'ye, ağırlık yüklerinden kaynaklanan yatay yük artışları eklenmesiyle 3.26 denklemi elde edilir.

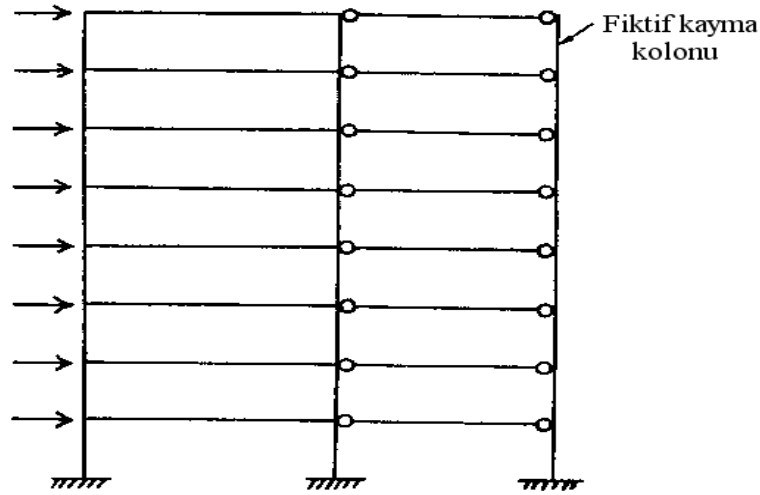
$$\{H\} + \{H'\} = [K] \{\Delta^*\} \quad 3.26$$

3.25 ve 3.26 denklemlerini birleştirirsek;

$$\{H\} = [K - K_g] \{\Delta^*\} = [K_s] \{\Delta^*\} \quad 3.27$$

şekil 3.4'e göre ilave kesme kuvveti $\frac{P_i}{h_i}$ rijitliğinden ve $(\Delta_{i+1} - \Delta_i)$ deplasmanından meydana gelir.

$$V_i = \frac{P_i}{h_i} (\Delta_{i+1} - \Delta_i) \quad 3.28$$



Şekil3.7 Fiktif kayma kolon modeli

Sonuçta 3.7'deki gibi yapıya eksenel rijit bağlantılarla bağlı $-\frac{P_i}{h_i}$ yanal rijitlikli kolon tanımlayarak birinci merteye bilgisayar programı 3.27 denklemindeki ikinci merteye rijitlik matrisinin tüm terimlerini oluşturacaktır. Kayma kolonunun i. katta gerekli rijitliği;

$$\frac{GA_{si}}{h_i} = \frac{-P_i}{h_i} \quad 3.29$$

Kayma kolonunun alanı;

$$A_{si} = \frac{-P_i}{G} \quad 3.30$$

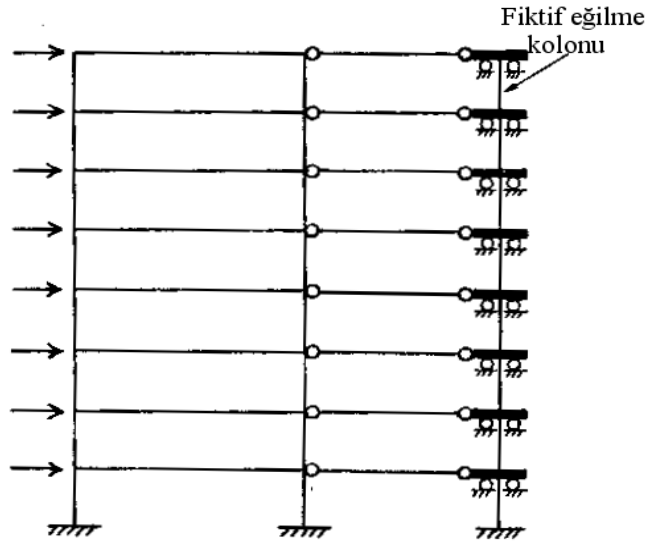
Eğer analiz programı kayma alanı uygulamasını içermiyorsa, aynı sonuçlar şekil 3.8'de görülen yanal rijitliği $-\frac{P_i}{h_i}$ olan dönmesi tutulu, deplasmanı serbest bırakılmış eğilme kolonu kullanılmasıyla da elde edilebilir.

$$\frac{12EI_i}{h_i^3} = \frac{-P_i}{h_i} \quad 3.31$$

Fiktif kolonun eğilme ataleti;

$$I_i = \frac{-P_i h_i^2}{12 E}$$

3.32



Şekil3.8 Fiktif eğilme kolonu modeli

Bu yöntem P-delta etkisinin değerlendirilmesinde doğru, yeterli sonuçlar vermektedir ve iterasyon gerektirmez.

Deplasman yapmış konumdaki kolona etkiyen ağırlık yükü iki farklı ikinci mertebe etkisi ile sonuçlanır. Birincisi, şu ana kadar sözü edilen ve hesabı yapılan kat deplasmanı üzerinde etkiyen eksantrik ağırlık yükünün ürettiği ilave uç momentidir ve önemli olan etki de budur. Diğer ikinci mertebe etkisi ise kolon yüklerinden dolayı kolonların eğilme rijitliğindeki azalmadır. Bu kolon yükleri kolon uçlarında düz bir çizgi boyunca etkir ve kolonların eğilme şekil değiştirmesinden eksantriktir. Kolon eğilmesinden kaynaklanan bu ilave etkiler uç durumlarda P-delta etkisinin %20'sini aşmaz ki bu durumda dahi tasarımda genellikle ihmal edilir. Sonuçta, ağırlık yükünün düşey eksantrisite etkisini göz önünde bulundurmak yeterlidir.

Düşey yüklerin ikinci mertebe etkisinin hesaba katılmasında diğer bir yaklaşık yöntem, düşey kolonların eğilme rijitliğini $Ph^2/10$ kadar azaltıp birinci mertebe hesap yapmaktır. Böylece, düşey yüklerin ikinci mertebe etkileriyle yanal yer değiştirmeleri artırması hesaba katılmış olur.

3.6 Asimetrik Yapılar İçin P-Delta Analizi

Asimetrik yapılarda ağırlık yükleri haricinde ek olarak burulma etkisi ön plana çıkmakta ve dolayısıyla ikinci merteye etkilerini artırmaktadır. Bu yapıların ikinci merteye etkilerinin hesaplanması için yapının geometrik rijitliği her kata, katın kolon yüklerinin ağırlık merkezi CG'ye yerleştirilmiş fiktif bir kolon gibi düzenlenir [5]. Bu kolon negatif yanal ve burulma rijitliğine sahiptir. Bu kolonun negatif burulma rijitliği 3.33 denkleminde bulunur.

$$\frac{1}{h_i} \sum_j P_{ij} (d_{yi}^2 + d_{xi}^2) = \frac{P_i}{h_i} r_{Gi}^2 = -\frac{GJ_i}{h_i} \quad 3.33$$

$$r_{Gi}^2 = \frac{\sum_j P_{ij} (d_{yi}^2 + d_{xi}^2)}{\sum_j P_{ij}} \quad 3.34$$

$$GJ_i = -P_i r_{Gi}^2 \quad 3.35$$

Eğer analiz programı kirişlerin burulma rijitliklerini içermiyorsa fiktif kolonun özelliklerini temsil etmek üzere 3.32 denkleminde tanımlanan eşdeğer fiktif kolonlar kullanılabilir. Bu durumda negatif burulma rijitliğini modellemek için her katta öyle iki kolon istenmektedir ki, bu kolonların her biri negatif kat rijitliğinin yarısına sahip olsun ve CG'den r_{Gi} kadar uzakta zıt yönlerde yerleştirilsin şekil 3.9.

$$I_i = \frac{-P_i h_i^2}{24 E} \quad 3.36$$

Sistemin elastisite merkezi ya da rijitlik merkezi CK noktasında düşey bir eksendir.

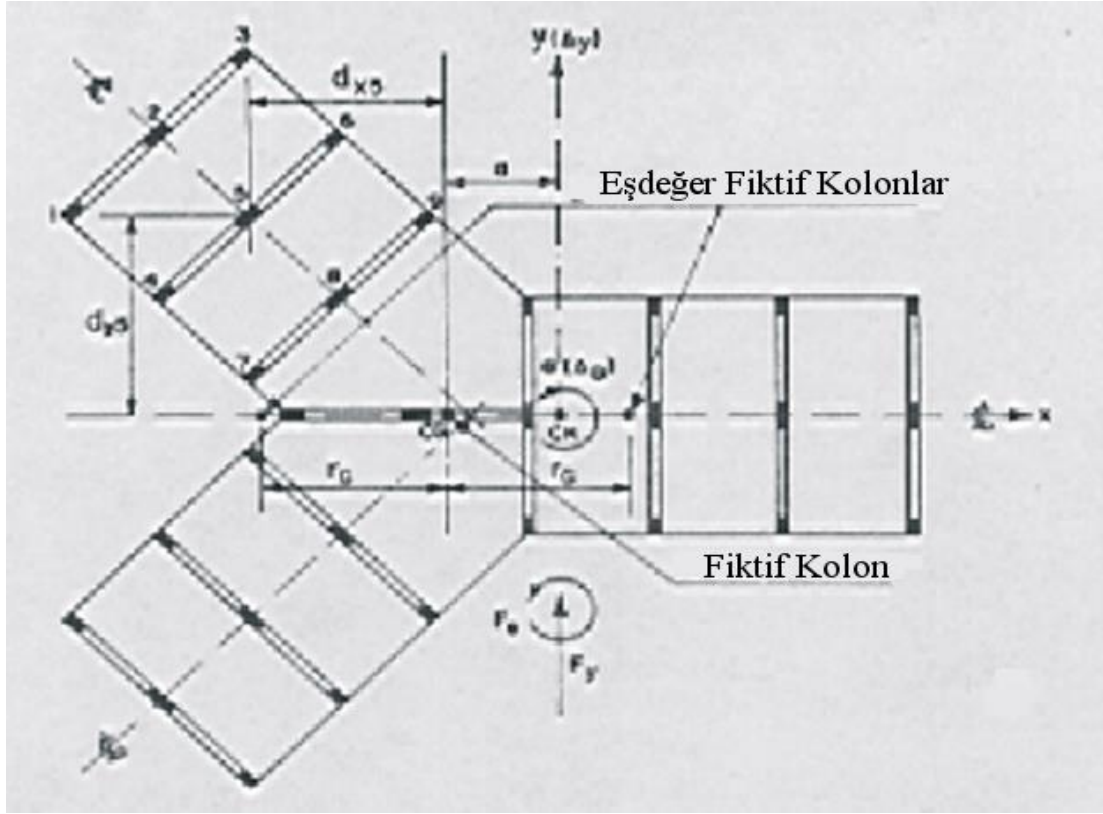
Burulma rijitliği matrisi yanal rijitlik matrisi ile orantılıdır. Şekil 3.9'daki x eksenine göre simetrik yapı için yanal ve burulma denge denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$\left(\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{yy} & 0 \\ 0 & \mathbf{K}_{yy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{Gy} & \frac{a}{r_k} \mathbf{K}_{Gy} \\ \frac{a}{r_k} \mathbf{K}_{Gy} & \frac{r_G^2}{r_k^2} \mathbf{K}_{Gy} \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} \Delta_y \\ r_k \Delta_\theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}_y \\ \frac{1}{r_k} \mathbf{F}_\theta \end{Bmatrix} \quad 3.37$$

ya da

$$(\mathbf{K} + \mathbf{K}_G) \Delta = \mathbf{F}$$

3.38



Şekil 3.9 Örnek Yapının Kat Planı

Sistemin CK etrafındaki eylemsizlik yarıçapı;

$$r_k^2 = \frac{\sum k_l \rho_l^2}{\sum k_l} \quad 3.39$$

Dengelenmemiş döndürücü kuvvetlerin CG etrafındaki eylemsizlik yarıçapı;

$$r_G^2 = \frac{\sum P_j d_j^2}{\sum P_j} \quad 3.40$$

$$\bar{r}_G^2 = r_G^2 + a^2 \quad 3.41$$

Sistem denklemlerinin yeni formu;

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{yy} + p_1^2 \mathbf{K}_{Gy} & 0 \\ 0 & \mathbf{K}_{yy} + p_2^2 \mathbf{K}_{Gy} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{v}_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}_{v1} \\ \mathbf{F}_{v2} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha^2}} \begin{Bmatrix} \mathbf{F}_y - \frac{\alpha}{r_k} \mathbf{F}_\theta \\ \alpha \mathbf{F}_y - \frac{1}{r_k} \mathbf{F}_\theta \end{Bmatrix} \quad 3.42$$

$$p_{1,2}^2 = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{r_G}{r_k} \pm \sqrt{\left(1 - \frac{r_G^2}{r_k^2} \right)^2 + 4 \frac{a^2}{r_k^2}} \right] \quad 3.43$$

$$\alpha = (1 - p_1^2) \frac{r_k}{a} \quad 3.44$$

Aşağıdaki dönüşüm kullanılırsa

$$\begin{Bmatrix} \Delta_y \\ r_k \Delta_\theta \end{Bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha^2}} \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \alpha \mathbf{I} \\ -\alpha \mathbf{I} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{v}_2 \end{Bmatrix} \quad 3.45$$

3.42 denklemindeki iki sistem, rijitlik matrisi $\mathbf{K}_{yy}$ olan düzlemsel sistemin iki farklı yükleme durumu olarak düşünülebilir. Şekil 3.10'da yanal yükleme için analiz edilmiş iki benzer çerçeve görülmektedir. Bu sistemler için ağırlık etkilerinin dahil olduğu yanal ve burulma denge denklemleri 3.46'da verilmiştir.

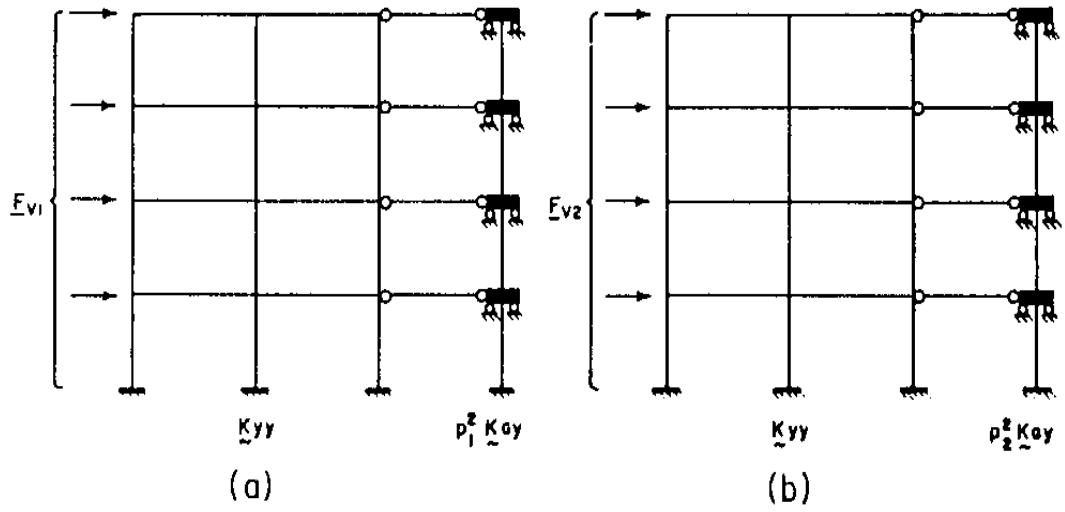
$$\left(\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{yy} & 0 \\ 0 & \mathbf{K}_{yy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{yy} & \frac{c}{r_k} \mathbf{S}_{yy} \\ \frac{c}{r_k} \mathbf{S}_{yy} & \frac{\bar{r}_s^2}{r_k^2} \mathbf{S}_{yy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{Gy} & \frac{a}{r_k} \mathbf{K}_{Gy} \\ \frac{a}{r_k} \mathbf{K}_{Gy} & \frac{\bar{r}_G^2}{r_k^2} \mathbf{K}_{Gy} \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} \Delta_y \\ r_k \Delta_\theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}_y \\ \frac{1}{r_k} \mathbf{F}_\theta \end{Bmatrix} \quad 3.46$$

ya da

$$(\mathbf{K} + \mathbf{S} + \mathbf{K}_G) \Delta = \mathbf{F} \quad 3.47$$

S sisteminin CS etrafındaki eylemsizlik yarıçapı;

$$\bar{r}_s^2 = r_s^2 + c^2 \quad 3.48$$



Şekil 3.10 v_1 ve v_2 yönündeki benzer iki çerçeve

3.6.1 Değiştirilmiş Kat Rijitliği

Çoğu yapılar kayma kolonu gibi davranış gösterirler. Buna göre yanal kuvvetler çerçeveler arasında kattan kata dağılırlar. Bir çerçevenin yanal rijitliği ise Wilbur'un yaklaşık formülüyle hesaplanabilir.

$$\frac{1}{k_{sl}} = \frac{h^2}{24E} \left(\frac{2}{\sum_{m+1} k_c} + \frac{1}{\sum_m k_{ga}} + \frac{1}{\sum_m k_{gb}} \right) \quad 3.49$$

Kattaki tüm çerçeveler için k_{sl} değerleri hesaplanınca, rijitlik merkezi CK statikten hesaplanabilir. Çerçeveselarda dağıtılan kat kesme kuvveti ve burulma aşağıdaki ifadeden elde edilir.

$$V_l = V \frac{k_{sl}}{k_s^0} + V e \frac{k_{sl} e_l}{k_\theta^0} \quad 3.50$$

$$k_s^0 = \sum k_{sl} \quad , \quad k_\theta^0 = \sum k_{sl} e_l^2$$

Bu formülasyonda çerçevelerin planda dikdörtgen olduğu kabul edilir. İkinci mertebe etkilerini dahil etmek için negatif rijitlikli kolonun ağırlık merkezine yerleştirilmesi gereklidir. Geliştirilmiş rijitlik değerleri aşağıdaki denklemlerden hesaplanır.

$$k_s = k_s^0 - \frac{P}{h} \quad 3.51$$

$$k_\theta = k_\theta^0 - \frac{P}{h} (r_G^2 + a^2) \quad 3.52$$

4. P-DELTA ETKİSİNİN YÖNETMELİKLERDEKİ YERİ

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (A.B.Y.Y.H.Y)'de P-delta etkileri için aşağıdaki sınırlamalar bulunmaktadır [6] .

Öncelikle taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal elastik olmayan davranışını esas alan bir hesap yapılmadıkça, ikinci mertebe etkileri sınırlama şu şekildedir: Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, İkinci Mertebe Gösterge Değeri, θ_i 'nin aşağıdaki koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilecektir.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad 4.1$$

[6] da (6.21) olarak verilen bu koşulun herhangi bir katta sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistem rijitliği yeterli ölçüde artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır. Yönetmeliklerimizde bulunmamakla birlikte Stabilité İndeksi olarak da adlandırılan bu ikinci mertebe gösterge değeri θ_i 'nin 0.0475 den küçük olması durumunda ikinci mertebe etkilerinin ihmal edilebileceği, 0.0475 ile 0.20 arasında iteratif yöntemin uygun sonuç verdiği bildirilmekte ve 0.20 den büyük değerlerinden de kaçınılması gerektiği tavsiye edilmektedir [2] .

Burada $(\Delta_i)_{ort}$, i. kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeri 4.2 denklemi kullanılarak bulunacaktır.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad 4.2$$

Ayrıca ikinci mertebe etkilerinin artmasını önlemek için görelî kat ötelemeleri de sınırlandırılmıştır. Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi i. katındaki kolon veya perdelerde hesaplanan görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\Delta_i)_{max}$, [6] da (6.20) olarak verilen aşağıdaki koşullardan elverişsiz olanını sağlamalıdır.

$$\frac{(\Delta_i)_{max}}{h_i} \leq 0.0035 \quad 4.3$$

$$\frac{(\Delta_i)_{max}}{h_i} \leq \frac{0.02}{R} \quad 4.4$$

TS500'e göre ikinci mertebe etkilerini hesaba dahil etmek için narinlik oranının

$$\frac{l_k}{i} \leq 100 \quad \text{sınırını aşmadığı elemanların hesabında Moment Büyütme Yöntemi}$$

kullanılabilir. Kesiti ve eksenel kuvveti yüksekliği boyunca değişmeyen kolonlara uygulanabilen bu yaklaşık yöntemde, tasarımda kullanılacak tasarım momenti, doğrusal elastik davranış varsayımlarına dayalı çözümlemeden elde edilen ve $e_{min} = 15 \text{ mm} + 0,03 h$ minimum dışmerkezlik koşulunu sağlamak zorunda olan, en büyük kolon uç momentinin bir çarpan ile büyütülmesiyle bulunur. 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 çözümlemeden elde edilen kolon uç momentlerinin, aynı varsayımlar ve yükler altında yapılan birinci mertebe çözümlemesinden elde edilen kolon uç momentlerinden en çok %5 kadar farklı olduğu durumlarda, yanal ötelenmenin önlenmiş olduğu kabul edilebilir.

İkinci mertebe çözümlemesi yapılamıyorsa, yapının herhangi bir katı için taşıyıcı sistemin bütünü göz önünde tutularak hesaplanan ikinci mertebe göstergesi aşağıda

belirtilen sınırı aşmadığı durumlarda da, o katta yeterli rijitlik bulunduğu ve yanal ötelenmenin önlenmiş olduğu varsayılabilir [7].

$$\varphi = 1,5\Delta_i \frac{\sum \frac{N_{di}}{l_i}}{V_{fi}} \leq 0,05 \quad 4.5$$

Kolon etkili 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 çözümleme yönteminin kullanılmadığı durumlarda, kolon etkili boyu, kolon uçlarındaki dönmenin engellenmesi ile ilişkili olan ve aşağıda tanımlanan k katsayısıyla çarpılarak elde edilebilir, $l_k = k l_n$. Kolon etkili boyu katsayısı k yönetmeliğimizde yanal ötelenmesi önlenmiş ve önlenmemiş kat kolonları için ayrı ayrı tanımlanmıştır.

Yanal ötelenmesi önlenmiş kat kolonları için:

$$k = 0,7 + 0,05(\alpha_1 + \alpha_2) \leq (0,85 + 0,05\alpha_1) \leq 1,0 \quad 4.6$$

Hesap yapılmamışsa, yanal ötelenmesi önlenmiş kat kolonlarında, $k=1,0$ alınır.

Yanal ötelenmesi önlenmemiş kat kolonları için:

$$\alpha_m < 2 \quad \text{ise, } k = \frac{20 - \alpha_m}{20} \sqrt{1 + \alpha_m} \quad 4.7$$

$$\alpha_m \leq 2 \quad \text{ise, } k = 0,9 \sqrt{1 + \alpha_m} \quad 4.8$$

Bir ucu mafsallı olan yanal ötelenmesi önlenmemiş kolonlarda, $k = 2 + 0,3\alpha_2$ alınır.

3.58, 3.59, 3.60 denklemlerinde kullanılacak α değerleri aşağıda tanımlanmıştır.

$$\alpha_{1,2} = \frac{\sum \left(\frac{I}{l} \right)_{\text{kolon}}}{\sum \left(\frac{I}{l} \right)_{\text{kiriş}}} \quad 4.9$$

$$\alpha_m = 0,5(\alpha_1 + \alpha_2) \quad 4.10$$

α oranlarının hesabında, yalnızca eğilme doğrultusundaki kirişler dikkate alınır ve kirişler için çatlamış kesit, kolonlar için çatlamamış kesit eylemsizlik momentleri kullanılır. Daha güvenilir bir hesap yapılmamışsa, çatlamış kesit eylemsizlik momenti, çatlamamış kesit eylemsizlik momentinin yarısı kadar alınabilir. Tablalı kiriş eylemsizlik momenti hesabında, tabla da göz önüne alınmalıdır.

Narinlik oranı $\frac{l_k}{i}$ değerinin aşağıda verilen sınırları aşmadığı durumlarda, narinlik etkisi ihmal edilebilir ve tasarımda kullanılacak moment, yapısal çözümlemelerden 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,

$$\left(\frac{l_k}{i} \right) \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad 4.11$$

koşulu sağlanıyorsa narinlik etkisi ihmal edilebilir.

M_1 ve M_2 , her bir yük birleşimi için yapısal çözümlemelerden 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 durumlarda (çift eğrilikli kolon) bu oran negatif alınır.

Yanal ötelenmesi önlenmemiş kat kolonlarında,

$$\left(\frac{l_k}{i} \right) \leq 22 \quad 4.12$$

koşulu sağlanıyorsa, narinlik etkisi ihmal edilebilir.

Moment Büyütme Katsayısı

Yanal ötelenmesi önlenmiş kat kolonlarında,

$$\beta = \frac{C_m}{1 - \frac{N_d}{N_k}} \geq 1,0 \quad 4.13$$

Burada,

$$C_m = 0,6 + 0,4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \geq 0,4 \quad 4.14$$

Kolon uçları arasında etkiyen herhangi bir yatay yük varsa $C_m=1,0$ alınır.

Tasarım momenti;

$$M_d = \beta M_2 \quad 4.15$$

Yanal ötelenmesi önlenmemiş kat kolonlarında,

$$\beta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum N_d}{\sum N_k}} \geq 1,0 \quad 4.16$$

$\sum N_d$ ve $\sum N_k$, o kattaki basınç elemanlarının taşıdıkları eksenel tasarım yüklerinin toplamı ve kolon kritik yüklerinin toplamıdır. Bu değerler aşağıdaki koşulu sağlamıyorsa kolon boyutları büyütülmelidir.

$$\sum N_d \leq \sum N_k \quad 4.17$$

Yanal ötelenmesi önlenmemiş kat kolonlarının her biri için ayrıca bireysel β değerleri de hesaplanır. Bu hesaplarda $C_m=1,0$ alınmalıdır. Hesap momentinin bulunmasında, β ve β_s değerlerinden büyük olanı kullanılır ($M_d = \beta M_2$.ve $M_d = \beta_s M_2$ den büyük olanı).

Ancak, serbest boy ile bulunan narinlik oranı,

$$\frac{l_k}{i} > \frac{35}{\sqrt{\frac{N_d}{f_{ck} A_c}}} \quad 4.18$$

olan kolonların hesap momenti,

$$M_d = \beta \beta_s M_2 \quad 4.19$$

İki eksenli doğrultusunda eğilme taşıyan basınç elemanları için her iki doğrultudaki momentler β katsayıları ile ayrı ayrı büyütülmeli ve hesapta bu momentler esas alınmalıdır.

- Arjantin Yönetmeliğine göre P-delta katsayısı adı verilen β_i değeri aşağıdaki koşulu sağlıyorsa P-delta etkisinin hesaba dahil edilmesi istenir [4].

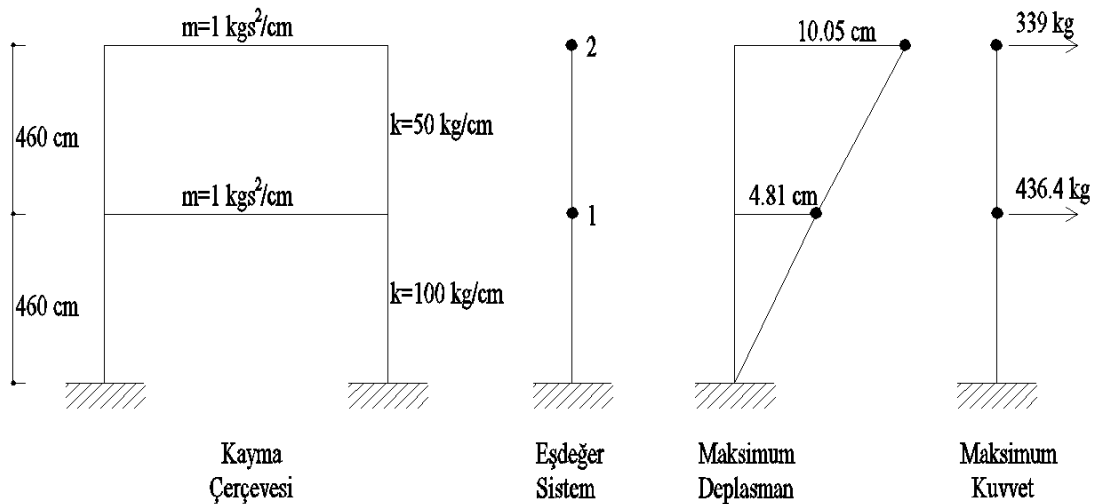
$$\beta_i = \frac{P_i \Delta_i}{V_i H_i} \geq 0.08 \quad 4.20$$

P-delta etkisini hesaplamak için depremden kaynaklanan kuvvetler ve momentler aşağıdaki artış katsayısıyla çarpılır.

$$\psi = \frac{1}{1 - \beta_{\max}} \quad 4.21$$

- Amerikan yönetmeliği U.B.C. ye göre ise bu P-delta katsayısı sınırı 0.10 olarak belirlenmiştir. Ayrıca 3. ve 4. deprem bölgelerinde ise kat ötelemesi $0.02/R_w$ değerini aşmıyorsa P-delta etkisi ihmal edilir [4].

Şekil 4.1 deki basit çerçeve ele alınacak olursa P-delta etkilerinin hesapta göz önüne alınıp alınmaması θ_i değerine bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 4.1 Basit bir çerçeve

Alt kattaki birincil moment;

$$M_{p1} = (F_1 + F_2)h_1 \quad 4.22$$

$$= (436.4 + 339) 460 = 356684 \text{ kgcm} = 3.57 \text{ tm}$$

Alt kattaki ikincil moment;

$$M_{s1} = (m_1 + m_2)gx_1 \quad 4.23$$

$$= 2 * 1 * 980.7 * 4.84 = 9493 \text{ kgcm} = 0.095 \text{ tm}$$

Stabilite indeksi;

$$\theta_i = M_{s1} + M_{p1} \quad 4.24$$

$$= 0.095 / 3.57 = 0.027 < 0.1 \quad \checkmark$$

Bu sonuçla U.B.C. ye göre P-delta hesabı gerekli değildir.

Çoğu ülkede P-delta katsayısı yaklaşımı kullanılmakta ve bu katsayı benzer formülasyonla hesaplanmakta fakat sınır değeri ülkeden ülkeye az da olsa değişmektedir.

- Yeni Zelanda yönetmeliği N.Z.S. de ise sınırlamalar alışlagelmişin dışındadır. Aşağıdaki durumlardan herhangi biri sağlanmıyorsa P-delta analizi istenmektedir [4].

$$T < 0.4 \text{ sn}$$

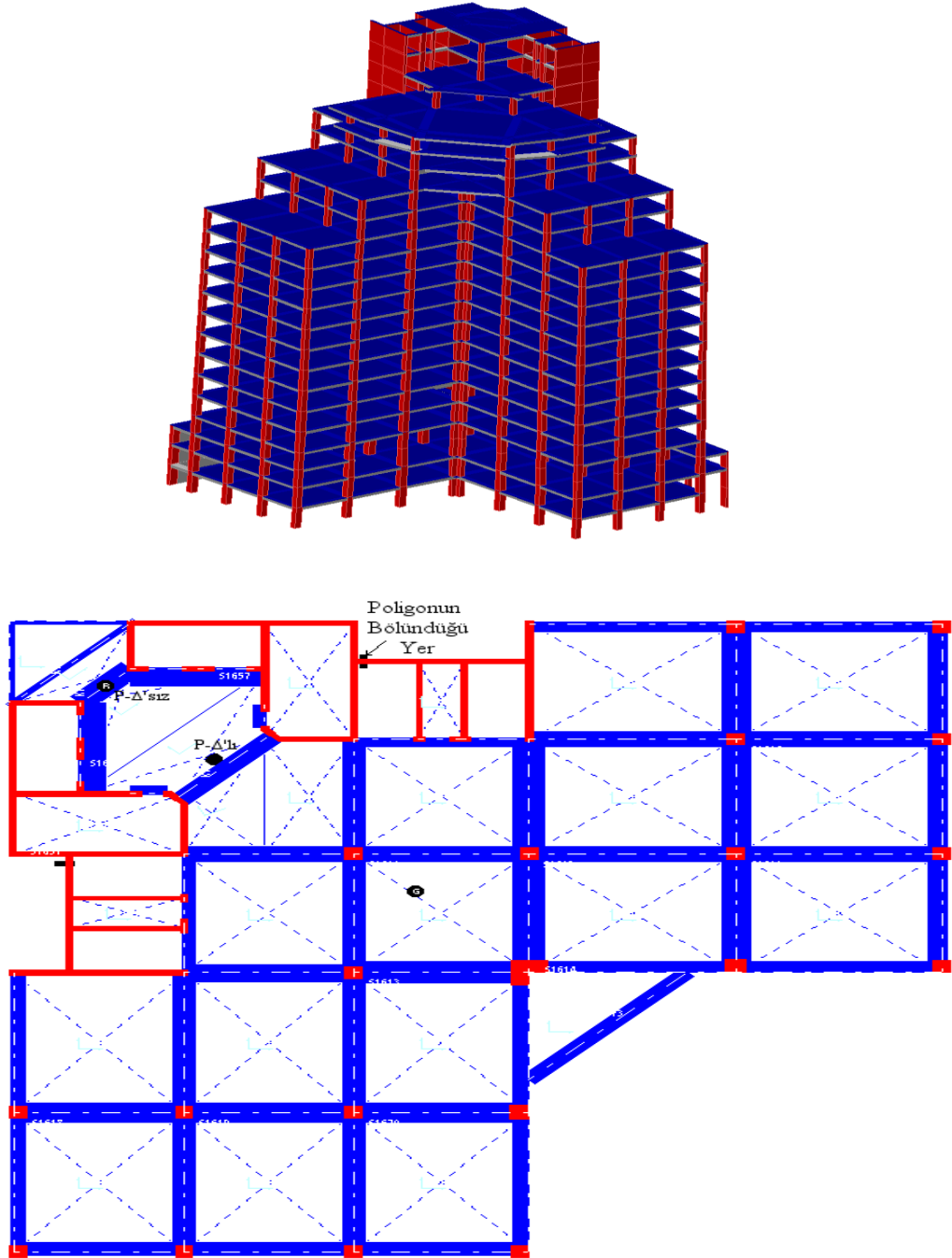
$$\text{Yapı yüksekliği } 15 \text{ m'den az ve } T < 0.8 \text{ sn}$$

$$\mu < 1.5$$

$$\frac{u_i - u_{i-1}}{h_i - h_{i-1}} \leq \frac{V_i}{7.5 \sum_{j=1}^N W_j}$$

5. P-DELTA ANALİZİ ÖRNEĞİ

Şekil 5.1’de kat planı ve perspektifi görülen 22 katlı yapının analizi STA4CAD programı kullanılarak yapılmıştır. Plandan da anlaşılacağı üzere yapının rijitlik merkezi ile ağırlık merkezi arasında mesafe oldukça fazladır ve sonuçta yapıda burulma etkilerinin mertebesi tahmin edilebilmektedir.



Şekil 5.1 P-Delta Analizi yapılan binanın kat planı ve perspektifi

STA4CAD programı normalde rijitlik hesabında kolon ve perdeleri göz önünde bulundurur. P-delta analizinde ise kolon-kiriş birleşim noktalarındaki rijitlikleri de dahil ederek rijitlik merkezinin ikinci mertebe etkilerini dikkate alarak çözüm yapar. Opsiyonel olan bu etkilerin dikkate alınıp alınmaması statik hesapları ve yapı dinamik davranışını değiştirmektedir. Alınması durumunda yapı daha rijit davranmakta ve periyotlar azalmaktadır. Genel olarak düğüm noktası rijitlikleri, yapı rijitliğini %10 artırmaktadır. Bu programda dört adet deprem veya dinamik analiz kombinasyonu bulunmakta, x ve y yönünde yapı ağırlık merkezinin $\pm\%5$ kaçıklığı dikkate alınır.

9. yükleme x yönü $+\%5$ eksantrisite ile deprem yüklemesi

10. yükleme x yönü $-\%5$ eksantrisite ile deprem yüklemesi

11. yükleme y yönü $+\%5$ eksantrisite ile deprem yüklemesi

12. yükleme y yönü $-\%5$ eksantrisite ile deprem yüklemesi

1.analiz için elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir. İlk verilen değerler P-deltasız, sonra verilen değerler P-deltalı analiz sonuçlarıdır.

Tablo 5.1 P-Deltasız deprem kuvveti

DEPREM KUVVETİ (t)							
Deprem tepe yükü $F_{tx}=75.82$ X YÖNÜ				$F_{ty}=78.09$ (t) Y YÖNÜ			
Kat no	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Kat tipi
1	15.331	4.965	16.166	18.563	4.837	19.386	NORMAL
2	30.514	10.584	32.177	34.967	10.311	36.517	NORMAL
3	18.909	8.383	19.940	22.762	8.167	23.772	NORMAL
4	30.849	14.454	32.531	35.358	14.080	36.926	NORMAL
5	37.779	18.089	39.838	39.614	17.622	41.370	NORMAL
6	43.052	22.291	45.398	41.807	21.715	43.660	NORMAL
7	44.391	26.514	46.811	41.676	25.830	43.524	NORMAL
8	43.270	30.251	45.628	38.980	29.469	40.708	NORMAL
9	39.043	33.879	41.171	33.866	33.004	35.368	NORMAL
10	32.531	37.743	34.304	28.252	36.768	29.505	NORMAL
11	25.815	41.340	27.222	22.644	40.272	23.648	NORMAL
12	19.061	44.948	20.100	17.440	43.787	18.213	NORMAL
13	14.582	49.015	15.377	14.807	47.749	15.464	NORMAL
14	13.893	53.211	14.650	14.882	51.836	15.542	NORMAL
15	14.530	44.814	15.322	15.223	43.656	15.898	NORMAL
16	23.547	49.313	24.831	23.757	48.040	24.810	NORMAL
17	26.656	37.986	28.109	26.287	37.005	27.452	NORMAL
18	40.972	42.756	43.204	40.760	41.652	42.567	NORMAL
19	52.918	42.442	55.802	53.550	41.346	55.924	NORMAL
20	41.131	24.247	43.372	40.924	23.621	42.739	NORMAL
21	46.048	20.210	48.557	44.440	19.688	46.411	NORMAL
22	60.636	97.014	63.940	57.245	98.731	59.783	UST KAT
Σ	715.458	754.448	754.448	707.806	739.187	739.187	GENEL

$V_t=W.A(t)/R_a(t) > 0,10$. $A_o.I.W$ 754.45 , 739.19 > 739.19
X Deprem kontrol: $1.00 \times 754.448 = 754.448 > 715.458 >>> 754.448$
Y Deprem kontrol: $1.00 \times 739.187 = 739.187 > 707.806 >>> 739.187$

Tablo 5.2 P-Delta'lı deprem kuvveti

DEPREM KUVVETİ (t)
Deprem tepe yükü Ftx= 74.85 Fty= 75.48 (t)

X YÖNÜ				Y YÖNÜ			
Kat no	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Kat tipi
1	15.135	5.266	16.740	17.084	5.068	18.383	NORMAL
2	29.328	11.226	32.437	32.902	10.804	35.404	NORMAL
3	18.237	8.892	20.170	21.492	8.558	23.127	NORMAL
4	29.737	15.330	32.889	33.547	14.754	36.099	NORMAL
5	36.297	19.186	40.145	37.892	18.465	40.773	NORMAL
6	40.970	23.643	45.313	40.138	22.754	43.191	NORMAL
7	42.049	28.122	46.506	40.099	27.065	43.149	NORMAL
8	40.910	32.085	45.247	37.749	30.879	40.620	NORMAL
9	36.920	35.933	40.834	33.174	34.583	35.697	NORMAL
10	31.242	40.032	34.554	28.285	38.527	30.436	NORMAL
11	25.794	43.847	28.529	23.674	42.199	25.474	NORMAL
12	20.452	47.674	22.620	19.433	45.882	20.911	NORMAL
13	17.243	51.988	19.071	17.563	50.034	18.899	NORMAL
14	17.398	56.437	19.243	18.283	54.316	19.674	NORMAL
15	17.384	47.531	19.227	18.027	45.745	19.398	NORMAL
16	26.396	52.304	29.194	26.526	50.338	28.544	NORMAL
17	28.751	40.290	31.799	28.199	38.776	30.343	NORMAL
18	42.790	45.349	47.326	42.244	43.645	45.457	NORMAL
19	53.371	45.015	59.029	53.791	43.324	57.882	NORMAL
20	40.888	25.718	45.222	40.796	24.751	43.899	NORMAL
21	46.099	21.435	50.987	44.796	20.630	48.203	NORMAL
22	61.068	97.322	67.542	58.219	97.113	62.647	UST KAT
Σ	718.461	794.625	794.625	713.912	768.209	768.209	GENEL

Vt=W.A(t)/Ra(t)> 0,10. Ao.I.W 794.63 , 768.21 > 739.19
X Deprem kontrol: 1.00 x 794.625 = 794.625 > 718.461 >>> 794.625
Y Deprem kontrol: 1.00 x 768.209 = 768.209 > 713.912 >>> 768.209

Yukarıdaki sonuçlardan da anlaşılacağı gibi P-delta etkisi deprem kuvveti üzerinde artışa sebep olmaktadır. Dolayısıyla kat deplasmanları da artış göstermiş hatta bu artış miktarı bazı katlarda %20 mertebesine ulaşmıştır.

Tablo 5.3 P-Deltasız Kat Deplasmanları

Kat Deprem deplasmanları

Kat no	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)
1	0.0001158	0.0000146	0.0001229	0.0000098	-0.000199	-0.000008	-0.000223	-0.000003
2	0.0003751	0.0000457	0.0003958	0.0000318	-0.000648	-0.000025	-0.000718	-0.000012
3	0.0006916	0.0000817	0.0007290	0.0000575	-0.001199	-0.000043	-0.001324	-0.000020
4	0.0013274	0.0001176	0.0014284	0.0000750	-0.001893	-0.000071	-0.002108	-0.000030
5	0.0022745	0.0001602	0.0024837	0.0000914	-0.002892	-0.000107	-0.003239	-0.000041
6	0.0033901	0.0002027	0.0037354	0.0001047	-0.004051	-0.000143	-0.004555	-0.000049
7	0.0046489	0.0002436	0.0051550	0.0001141	-0.005344	-0.000178	-0.006029	-0.000054
8	0.0060312	0.0002819	0.0067193	0.0001194	-0.006754	-0.000211	-0.007638	-0.000055
9	0.0075194	0.0003177	0.0084097	0.0001207	-0.008264	-0.000242	-0.009367	-0.000053
10	0.0091009	0.0003495	0.0102087	0.0001173	-0.009863	-0.000270	-0.011198	-0.000047
11	0.0107622	0.0003792	0.0121035	0.0001103	-0.011537	-0.000296	-0.013120	-0.000037
12	0.0124943	0.0004060	0.0140809	0.0000996	-0.013279	-0.000319	-0.015121	-0.000025
13	0.0142884	0.0004315	0.0161312	0.0000860	-0.015080	-0.000342	-0.017191	-0.000009
14	0.0161381	0.0004556	0.0182432	0.0000697	-0.016933	-0.000363	-0.019318	0.000080
15	0.0180299	0.0004835	0.0204118	0.0000524	-0.018826	-0.000388	-0.021499	0.0000268
16	0.0199626	0.0005123	0.0226246	0.0000334	-0.020757	-0.000414	-0.023721	0.0000471
17	0.0219228	0.0005464	0.0248755	0.0000145	-0.022713	-0.000445	-0.025979	0.0000675
18	0.0239074	0.0005816	0.0271519	-0.000005	-0.024693	-0.000477	-0.028261	0.0000890
19	0.0259088	0.0006165	0.0294443	-0.000027	-0.026688	-0.000508	-0.030557	0.0001120
20	0.0279157	0.0006546	0.0317452	-0.000048	-0.028687	-0.000543	-0.032861	0.0001348
21	0.0299263	0.0006938	0.0340481	-0.000069	-0.030690	-0.000578	-0.035167	0.0001574
22	0.0319342	0.0007330	0.0363460	-0.000090	-0.032690	-0.000614	-0.037467	0.0001798

Tablo 5.4 P-Deltalı Kat Deplasmanları

Kat Deprem deplasmanları								
Kat	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
no	δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)
1	0.0001496	0.0000140	0.0001477	0.0000089	-0.000265	-0.000010	-0.000261	-0.000005
2	0.0004710	0.0000448	0.0004693	0.0000300	-0.000839	-0.000030	-0.000833	-0.000016
3	0.0009207	0.0000824	0.0009039	0.0000567	-0.001515	-0.000051	-0.001517	-0.000027
4	0.0017641	0.0001223	0.0017276	0.0000769	-0.002386	-0.000083	-0.002396	-0.000040
5	0.0029689	0.0001708	0.0029262	0.0000975	-0.003621	-0.000125	-0.003648	-0.000055
6	0.0043524	0.0002201	0.0043213	0.0001154	-0.005024	-0.000168	-0.005083	-0.000068
7	0.0058800	0.0002683	0.0058793	0.0001299	-0.006563	-0.000209	-0.006668	-0.000078
8	0.0075257	0.0003144	0.0075741	0.0001403	-0.008212	-0.000249	-0.008381	-0.000084
9	0.0092731	0.0003584	0.0093874	0.0001470	-0.009956	-0.000287	-0.010203	-0.000087
10	0.0111023	0.0003985	0.0112978	0.0001489	-0.011776	-0.000322	-0.012115	-0.000085
11	0.0130070	0.0004367	0.0132964	0.0001474	-0.013668	-0.000356	-0.014109	-0.000080
12	0.0149746	0.0004721	0.0153672	0.0001420	-0.015619	-0.000387	-0.016171	-0.000072
13	0.0170012	0.0005062	0.0175033	0.0001336	-0.017625	-0.000416	-0.018292	-0.000061
14	0.0190772	0.0005385	0.0196936	0.0001222	-0.019676	-0.000444	-0.020462	-0.000048
15	0.0212094	0.0005753	0.0219398	0.0001101	-0.021780	-0.000476	-0.022684	-0.000033
16	0.0233813	0.0006129	0.0242279	0.0000962	-0.023922	-0.000509	-0.024944	-0.000017
17	0.0255989	0.0006562	0.0265566	0.0000827	-0.026107	-0.000547	-0.027241	-0.000000
18	0.0278456	0.0007009	0.0289081	0.0000682	-0.028319	-0.000586	-0.029559	0.0000164
19	0.0301058	0.0007453	0.0312711	0.0000521	-0.030542	-0.000625	-0.031886	0.0000353
20	0.0323812	0.0007933	0.0336453	0.0000366	-0.032780	-0.000667	-0.034224	0.0000538
21	0.0346546	0.0008426	0.0360265	0.0000214	-0.035020	-0.000710	-0.036567	0.0000719
22	0.0368813	0.0008918	0.0384166	0.0000063	-0.037227	-0.000754	-0.038918	0.0000901

P-deltasız analiz için yapı tabanındaki toplam momentler

$$M_{dx} = 32605.72 \text{ tm}$$

$$M_{dy} = 31436.73 \text{ tm}$$

Perde taban moment toplamları

$$\Sigma M_{xr} = 21924.42 \text{ tm}$$

$$\Sigma M_{yr} = 21176.46 \text{ tm}$$

$$\max \theta_i = 0.017 < 0.12 \quad \checkmark$$

$$\max \frac{(\Delta_i)_{\max}}{h_i} = 0.0008 < 0.0029 \quad \checkmark$$

P-deltalı analiz için yapı tabanındaki toplam momentler

$$M_{dx} = 34888.48 \text{ tm}$$

$$M_{dy} = 33279.75 \text{ tm}$$

Perde taban moment toplamları

$$\Sigma M_{xr} = 23300.98 \text{ tm}$$

$$\Sigma M_{yr} = 22121.23 \text{ tm}$$

$$\max \theta_i = 0.017 < 0.12 \quad \checkmark$$

$$\max \frac{(\Delta_i)_{\max}}{h_i} = 0.0009 < 0.0029 \quad \checkmark$$

Görüldüğü üzere perde ve yapı taban toplam momentlerinde %7 mertebesinde bir artış kaydedilmiştir.

Burulma dinamik analiz deplasman vektörleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 5.5 P-Deltasız Burulma Deplasman Vektörleri

BURULMA DİNAMİK ANALİZ DEPLASMAN VEKTÖRLERİ

Kat	1. mod	2. mod	3. mod	4. mod	5. mod	6. mod	7. mod
1	0.0028	0.0085	0.0189	0.0396	0.0548	0.0626	0.0752
2	0.0084	0.0243	0.0509	0.0986	0.1238	0.1276	0.1352
3	0.0147	0.0409	0.0805	0.1419	0.1561	0.1352	0.1105
4	0.0261	0.0644	0.1162	0.1726	0.1430	0.0704	-0.0101
5	0.0424	0.0923	0.1463	0.1624	0.0589	-0.0563	-0.1424
6	0.0608	0.1167	0.1552	0.1004	-0.0582	-0.1424	-0.1283
7	0.0806	0.1347	0.1395	0.0052	-0.1446	-0.1175	0.0235
8	0.1015	0.1443	0.1005	-0.0924	-0.1521	0.0022	0.1550
9	0.1231	0.1438	0.0435	-0.1593	-0.0724	0.1241	0.1182
10	0.1446	0.1324	-0.0202	-0.1708	0.0485	0.1466	-0.0494
11	0.1661	0.1098	-0.0805	-0.1216	0.1445	0.0485	-0.1663
12	0.1868	0.0771	-0.1242	-0.0292	0.1571	-0.0894	-0.0970
13	0.2069	0.0355	-0.1428	0.0739	0.0786	-0.1524	0.0800
14	0.2259	-0.0123	-0.1321	0.1506	-0.0458	-0.0895	0.1690
15	0.2451	-0.0689	-0.0875	0.1748	-0.1552	0.0649	0.0553
16	0.2638	-0.1292	-0.0200	0.1466	-0.2014	0.1900	-0.1122
17	0.2827	-0.1948	0.0708	0.0605	-0.1499	0.1990	-0.1964
18	0.3014	-0.2615	0.1718	-0.0580	-0.0337	0.1103	-0.1642
19	0.3196	-0.3269	0.2748	-0.1914	0.1219	-0.0543	-0.0125
20	0.3380	-0.3928	0.3788	-0.3293	0.2923	-0.2545	0.2086
21	0.3564	-0.4588	0.4833	-0.4695	0.4690	-0.4675	0.4522
22	0.3748	-0.5246	0.5872	-0.6090	0.6450	-0.6801	0.6962

Tablo 5.6 P-Delta Burulma Deplasman Vektörleri

BURULMA DİNAMİK ANALİZ DEPLASMAN VEKTÖRLERİ

Kat	1.mod	2.mod	3.mod	4.mod	5.mod	6.mod	7.mod
1	0.0029	0.0086	0.0185	0.0400	0.0560	0.0593	0.0668
2	0.0086	0.0246	0.0493	0.0984	0.1245	0.1177	0.1158
3	0.0150	0.0414	0.0774	0.1395	0.1521	0.1173	0.0842
4	0.0267	0.0647	0.1103	0.1648	0.1285	0.0438	-0.0342
5	0.0433	0.0922	0.1371	0.1493	0.0377	-0.0760	-0.1426
6	0.0620	0.1157	0.1432	0.0857	-0.0752	-0.1401	-0.1044
7	0.0822	0.1326	0.1261	-0.0063	-0.1483	-0.0951	0.0457
8	0.1033	0.1407	0.0873	-0.0968	-0.1400	0.0275	0.1507
9	0.1252	0.1383	0.0324	-0.1544	-0.0504	0.1309	0.0893
10	0.1468	0.1248	-0.0273	-0.1572	0.0683	0.1273	-0.0728
11	0.1683	0.1001	-0.0818	-0.1030	0.1498	0.0163	-0.1562
12	0.1891	0.0655	-0.1188	-0.0115	0.1431	-0.1082	-0.0611
13	0.2090	0.0226	-0.1302	0.0841	0.0518	-0.1400	0.1025
14	0.2277	-0.0259	-0.1132	0.1487	-0.0707	-0.0527	0.1495
15	0.2465	-0.0822	-0.0640	0.1579	-0.1609	0.0971	0.0067
16	0.2646	-0.1413	0.0054	0.1181	-0.1848	0.1987	-0.1535
17	0.2829	-0.2048	0.0950	0.0268	-0.1163	0.1764	-0.1947
18	0.3009	-0.2687	0.1925	-0.0911	0.0066	0.0677	-0.1246
19	0.3184	-0.3312	0.2905	-0.2187	0.1576	-0.0988	0.0401
20	0.3361	-0.3939	0.3883	-0.3474	0.3153	-0.2849	0.2469
21	0.3539	-0.4567	0.4866	-0.4779	0.4777	-0.4806	0.4704
22	0.3716	-0.5193	0.5845	-0.6081	0.6397	-0.6764	0.6947

Örnek 2 (İlk örnekteki sistem için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=4$ alınarak elde edilen çözüm)

Örnek 3 (İlk örnekteki sistem için poligon kolonların Şekil5.1 de gösterildiği yerden bölünerek ayrı poligonlar halinde sistemde yer almasıyla elde edilen çözüm)

Örnek 4 (Örnek 3'teki sistem için hareketli yük katılım katsayısı $n=1$ alınarak elde edilen çözüm)

Bu örneklerle ilgili tablolar ektedir.

6. SONUÇLAR

İyi tasarlanmış bir yapı genellikle iyi bir rijitlik/ağırlık oranına sahiptir ve bu tip yapılar için P-delta etkileri çok önemli değildir. Eğer deplasmanlardaki ve kuvvetlerdeki değişim aynı yanal yük için %5 daha fazla ise dizayn esnektir ve yeni bir dizayn göz önüne alınmalıdır. Bununla birlikte eğer yapının yanal rijitliğine kıyasla yapı ağırlığı fazla ise P-delta etkilerinin katkısı oldukça artar ve bazı koşullar altında deplasmanlar ve eleman kuvvetlerini %25 veya daha fazla oranda değiştirebilirler.

Eğilim narin ve daha iyi çalışan yapılar üzerine olmakla beraber bu yapılarda P-delta etkileri daha önemlidir. P-delta etkilerinin hesaplanması için birçok yöntem bulunmaktadır. Denge denklemlerinin şekil değiştirmiş yapı üzerinde yazıldığı ikinci mertebe hesabı yapan bilgisayar programları kullanılabilir, bu p-delta etkilerinin elde edilmesinde en doğru yöntemdir. Eğer birinci mertebe analiz programı negatif eleman özelliklerini kullanmaya uygunsa, negatif özellikli kolon yöntemi en iyi yöntemdir. Kolon eğilme etkisi dahil olmasa bile iterasyon gerektirmez. Bu yöntem kayma modunda, eğilme modunda veya herhangi bir yük kombinasyonunda deplasman yapan yapılar için kullanılabilir. Eğer birinci mertebe analiz programı negatif eleman özelliklerin kullanmaya uygun değilse, eğilme deformasyonu yapan yapılar ve yüksek çerçeveler için iteratif ağırlık yükü yöntemi kullanılması önerilir. İteratif ağırlık yükü yöntemi, ağırlık yükünün eşdeğer yatay yüke dönüştürüldüğü iteratif yöntemle göre aynı sonuçları vermekte fakat uygulanması daha kolay ve çabuktur. Tüm yapı tiplerine uygulanabilir.

Direkt yöntem de iyi sonuçlar vermekte ve burada yanal kuvvet analizinden elde edilen birinci mertebe sonuçları lineer olmayan bir katsayıyla artırılmaktadır. Bu yöntem yüksek olmayan ve kayma deformasyonuna sahip rijit çerçevelere uygulanabilir.

Bu yöntemlerin geliştirilmesinde kullanılan kat deplasmanının sadece o kattaki kesmeyle orantılı olduğu kabulü önemli eğilme davranışı gösteren yapılar için geçersizdir.

P-delta etkilerinin değerlendirilmesinde büyütme katsayısı yöntemi hızlı ve yaklaşık bir yöntemdir. Pratikte P-delta etkilerinin önemli olup olmadığını veya daha doğru P-delta analizinin gerekli olup olmadığını tahmin etmek için kullanılır. Kolon eğilmesinden kaynaklanan ikinci mertebe etkileri ender olarak önemli olmakta ve genellikle ihmal edilmektedir. Sehimler ve ağırlık yükleri arasındaki lineer olmayan ilişkiden dolayı P-delta analizinde kullanılmak üzere göçme yükleri gereklidir. Analizde kabul edilen eleman rijitlikleri göz önünde bulundurulan yüklemeyle uygun olmalıdır.

Tablo 5.7 Örnek 2 için P-Deltasız Deprem Kuvveti

DEPREM KUVVETİ (t)
Deprem tepe yükü $F_{tx}= 132.69$ $F_{ty}= 134.02$ (t)

X YÖNÜ				Y YÖNÜ			
Kat no	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Kat tipi
1	23.826	8.689	25.301	30.344	8.301	31.183	NORMAL
2	49.401	18.523	52.457	59.693	17.697	61.344	NORMAL
3	32.255	14.671	34.251	40.031	14.017	41.137	NORMAL
4	54.364	25.294	57.728	62.239	24.166	63.960	NORMAL
5	66.319	31.656	70.422	69.271	30.244	71.186	NORMAL
6	75.384	39.009	80.048	73.238	37.270	75.262	NORMAL
7	78.011	46.400	82.838	73.015	44.332	75.034	NORMAL
8	75.641	52.939	80.321	68.130	50.578	70.013	NORMAL
9	68.257	59.288	72.481	59.404	56.645	61.046	NORMAL
10	57.162	66.050	60.699	49.538	63.105	50.907	NORMAL
11	45.130	72.345	47.922	39.519	69.119	40.612	NORMAL
12	33.527	78.659	35.602	30.700	75.152	31.549	NORMAL
13	25.904	85.776	27.507	26.153	81.952	26.876	NORMAL
14	24.369	93.118	25.877	26.087	88.967	26.808	NORMAL
15	25.340	78.424	26.908	26.568	74.927	27.302	NORMAL
16	40.641	86.298	43.156	41.099	82.450	42.235	NORMAL
17	45.791	66.476	48.625	45.451	63.512	46.707	NORMAL
18	71.454	74.823	75.875	71.292	71.487	73.263	NORMAL
19	93.999	74.273	99.815	94.664	70.961	97.281	NORMAL
20	72.626	42.433	77.120	72.012	40.541	74.003	NORMAL
21	79.959	35.367	84.907	77.331	33.790	79.470	NORMAL
22	103.990	169.775	110.425	98.756	169.451	101.487	UST KAT
Σ	1243.351	1320.284	1320.284	1234.533	1268.666	1268.666	GENEL

$V_t=W.A(t)/R_a(t) > 0,10$. $A_o.I.W$ 1320.28 , 1268.67 > 739.19
X Deprem kontrol: $1.00 \times 1320.284 = 1320.284 > 1243.351 >>> 1320.284$
Y Deprem kontrol: $1.00 \times 1268.666 = 1268.666 > 1234.533 >>> 1268.666$

Tablo 5.8 Örnek 2 için P-Deltasız Kat Deplasmanları

Kat Deprem deplasmanları

Kat	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
no	δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)
1	0.0002032	0.0000256	0.0002156	0.0000172	-0.000342	-0.000014	-0.000383	-0.000006
2	0.0006586	0.0000804	0.0006949	0.0000558	-0.001114	-0.000044	-0.001235	-0.000020
3	0.0012148	0.0001437	0.0012804	0.0001012	-0.002061	-0.000075	-0.002276	-0.000035
4	0.0023318	0.0002070	0.0025093	0.0001320	-0.003254	-0.000123	-0.003623	-0.000052
5	0.0039957	0.0002821	0.0043633	0.0001612	-0.004971	-0.000185	-0.005566	-0.000071
6	0.0059553	0.0003571	0.0065620	0.0001848	-0.006962	-0.000247	-0.007828	-0.000085
7	0.0081662	0.0004292	0.0090555	0.0002016	-0.009184	-0.000307	-0.010360	-0.000094
8	0.0105936	0.0004968	0.0118026	0.0002112	-0.011606	-0.000364	-0.013125	-0.000096
9	0.0132067	0.0005600	0.0147708	0.0002137	-0.014200	-0.000417	-0.016094	-0.000093
10	0.0159832	0.0006162	0.0179292	0.0002080	-0.016946	-0.000465	-0.019240	-0.000082
11	0.0188995	0.0006687	0.0212556	0.0001961	-0.019822	-0.000510	-0.022542	-0.000066
12	0.0219397	0.0007161	0.0247265	0.0001775	-0.022814	-0.000551	-0.025978	-0.000044
13	0.0250884	0.0007611	0.0283251	0.0001539	-0.025906	-0.000590	-0.029532	-0.000018
14	0.0283344	0.0008036	0.0320316	0.0001255	-0.029088	-0.000627	-0.033186	0.0000117
15	0.0316539	0.0008529	0.0358370	0.0000954	-0.032338	-0.000670	-0.036931	0.0000438
16	0.0350450	0.0009038	0.0397198	0.0000624	-0.035653	-0.000714	-0.040746	0.0000786
17	0.0384841	0.0009637	0.0436692	0.0000296	-0.039012	-0.000767	-0.044623	0.0001134
18	0.0419658	0.0010259	0.0476632	-0.0000005	-0.042410	-0.000823	-0.048541	0.0001500
19	0.0454768	0.0010874	0.0516849	-0.0000042	-0.045835	-0.000877	-0.052483	0.0001893
20	0.0489971	0.0011544	0.0557211	-0.0000079	-0.049268	-0.000936	-0.056438	0.0002283
21	0.0525235	0.0012234	0.0597606	-0.0000116	-0.052705	-0.000997	-0.060396	0.0002668
22	0.0560451	0.0012924	0.0637910	-0.0000152	-0.056138	-0.001058	-0.064344	0.0003051

Tablo 5.9 Örnek 2 için P-Deltasız Burulma Deplasman Vektörleri

BURULMA DİNAMİK ANALİZ DEPLASMAN VEKTÖRLERİ

Kat	1.mod	2.mod	3.mod	4.mod	5.mod	6.mod	7.mod
1	0.0028	0.0085	0.0189	0.0396	0.0548	0.0626	0.0752
2	0.0084	0.0243	0.0509	0.0986	0.1238	0.1276	0.1352
3	0.0147	0.0409	0.0805	0.1419	0.1561	0.1352	0.1105
4	0.0261	0.0644	0.1162	0.1726	0.1430	0.0704	-0.0101
5	0.0424	0.0923	0.1463	0.1624	0.0589	-0.0563	-0.1424
6	0.0608	0.1167	0.1552	0.1004	-0.0582	-0.1424	-0.1283
7	0.0806	0.1347	0.1395	0.0052	-0.1446	-0.1175	0.0235
8	0.1015	0.1443	0.1005	-0.0924	-0.1521	0.0022	0.1550
9	0.1231	0.1438	0.0435	-0.1593	-0.0724	0.1241	0.1182
10	0.1446	0.1324	-0.0202	-0.1708	0.0485	0.1466	-0.0494
11	0.1661	0.1098	-0.0805	-0.1216	0.1445	0.0485	-0.1663
12	0.1868	0.0771	-0.1242	-0.0292	0.1571	-0.0894	-0.0970
13	0.2069	0.0355	-0.1428	0.0739	0.0786	-0.1524	0.0800
14	0.2259	-0.0123	-0.1321	0.1506	-0.0458	-0.0895	0.1690
15	0.2451	-0.0689	-0.0875	0.1748	-0.1552	0.0649	0.0553
16	0.2638	-0.1292	-0.0200	0.1466	-0.2014	0.1900	-0.1122
17	0.2827	-0.1948	0.0708	0.0605	-0.1499	0.1990	-0.1964
18	0.3014	-0.2615	0.1718	-0.0580	-0.0337	0.1103	-0.1642
19	0.3196	-0.3269	0.2748	-0.1914	0.1219	-0.0543	-0.0125
20	0.3380	-0.3928	0.3788	-0.3293	0.2923	-0.2545	0.2086
21	0.3564	-0.4588	0.4833	-0.4695	0.4690	-0.4675	0.4522
22	0.3748	-0.5246	0.5872	-0.6090	0.6450	-0.6801	0.6962

Tablo 5.10 Örnek 2 için P-Deltalı Deprem Kuvveti

DEPREM KUVVETİ (t)

Deprem tepe yükü Ftx= 130.98 Fty= 132.09 (t)

X YÖNÜ				Y YÖNÜ			
Kat no	Modal Analiz	Eşdeğer dep. yön.	Deprem yükü	Modal Analiz	Eşdeğer dep. yön.	Deprem yükü	Kat tipi
1	23.204	9.216	25.847	27.641	8.869	29.848	NORMAL
2	47.227	19.646	52.607	55.940	18.908	60.406	NORMAL
3	31.232	15.561	34.790	37.817	14.976	40.837	NORMAL
4	52.508	26.828	58.490	59.110	25.819	63.830	NORMAL
5	63.682	33.575	70.936	66.241	32.313	71.531	NORMAL
6	71.742	41.374	79.914	70.292	39.819	75.904	NORMAL
7	73.878	49.214	82.293	70.256	47.364	75.866	NORMAL
8	71.470	56.149	79.611	65.963	54.039	71.230	NORMAL
9	64.577	62.884	71.933	58.205	60.520	62.853	NORMAL
10	54.929	70.056	61.186	49.631	67.423	53.594	NORMAL
11	45.066	76.732	50.200	41.286	73.848	44.582	NORMAL
12	35.910	83.429	40.001	34.120	80.294	36.845	NORMAL
13	30.504	90.978	33.979	30.954	87.559	33.426	NORMAL
14	30.495	98.765	33.969	32.057	95.054	34.616	NORMAL
15	30.476	83.180	33.948	31.600	80.054	34.123	NORMAL
16	45.840	91.531	51.062	46.102	88.091	49.783	NORMAL
17	49.402	70.508	55.029	48.713	67.858	52.603	NORMAL
18	74.388	79.361	82.862	73.673	76.378	79.556	NORMAL
19	94.817	78.777	105.618	95.131	75.816	102.727	NORMAL
20	72.378	45.006	80.623	71.941	43.315	77.685	NORMAL
21	80.095	37.512	89.219	77.986	36.102	84.214	NORMAL
22	104.566	170.314	116.478	100.297	169.947	108.306	UST KAT
Σ	1248.387	1390.594	1390.594	1244.955	1344.366	1344.366	GENEL

Vt=W.A(t)/Ra(t) > 0,10. Ao.I.W 1390.59 , 1344.37 > 739.19

X Deprem kontrol: 1.00 x 1390.594 = 1390.594 > 1248.387 >>> 1390.594

Y Deprem kontrol: 1.00 x 1344.366 = 1344.366 > 1244.955 >>> 1344.366

Tablo 5.11 Örnek 2 için P-Deltalı Kat Deplasmanları

Kat Deprem deplasmanları								
Kat	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
no	δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)
1	0.0002625	0.0000245	0.0002592	0.0000156	-0.000465	-0.000018	-0.000457	-0.000009
2	0.0008272	0.0000788	0.0008242	0.0000527	-0.001472	-0.000053	-0.001461	-0.000028
3	0.0016178	0.0001448	0.0015883	0.0000997	-0.002657	-0.000090	-0.002660	-0.000047
4	0.0031010	0.0002152	0.0030366	0.0001354	-0.004184	-0.000147	-0.004201	-0.000071
5	0.0052193	0.0003007	0.0051439	0.0001718	-0.006348	-0.000220	-0.006396	-0.000097
6	0.0076514	0.0003876	0.0075962	0.0002036	-0.008809	-0.000295	-0.008911	-0.000120
7	0.0103364	0.0004726	0.0103344	0.0002292	-0.011506	-0.000368	-0.011690	-0.000137
8	0.0132285	0.0005538	0.0133127	0.0002478	-0.014395	-0.000438	-0.014691	-0.000148
9	0.0162990	0.0006314	0.0164987	0.0002598	-0.017452	-0.000505	-0.017884	-0.000153
10	0.0195126	0.0007022	0.0198548	0.0002634	-0.020642	-0.000567	-0.021235	-0.000151
11	0.0228584	0.0007697	0.0233654	0.0002610	-0.023957	-0.000625	-0.024729	-0.000143
12	0.0263141	0.0008321	0.0270024	0.0002517	-0.027375	-0.000680	-0.028340	-0.000129
13	0.0298730	0.0008921	0.0307535	0.0002372	-0.030889	-0.000732	-0.032056	-0.000110
14	0.0335181	0.0009492	0.0345993	0.0002175	-0.034481	-0.000781	-0.035858	-0.000086
15	0.0372615	0.0010139	0.0385430	0.0001965	-0.038167	-0.000837	-0.039750	-0.000060
16	0.0410741	0.0010801	0.0425599	0.0001723	-0.041917	-0.000895	-0.043708	-0.000032
17	0.0449667	0.0011564	0.0466477	0.0001489	-0.045744	-0.000962	-0.047731	-0.000004
18	0.0489102	0.0012351	0.0507754	0.0001237	-0.049617	-0.001031	-0.051790	0.0000260
19	0.0528769	0.0013132	0.0549230	0.0000956	-0.053511	-0.001099	-0.055866	0.0000590
20	0.0568695	0.0013975	0.0590896	0.0000686	-0.057429	-0.001172	-0.059958	0.0000912
21	0.0608582	0.0014841	0.0632679	0.0000423	-0.061350	-0.001248	-0.064061	0.0001228
22	0.0647644	0.0015703	0.0674615	0.0000159	-0.065213	-0.001323	-0.068177	0.0001544

Tablo 5.12 Örnek 2 için P-Deltalı Burulma Deplasman Vektörleri

BURULMA DİNAMİK ANALİZ DEPLASMAN VEKTÖRLERİ

Kat	1.mod	2.mod	3.mod	4.mod	5.mod	6.mod	7.mod
1	0.0029	0.0086	0.0185	0.0400	0.0560	0.0593	0.0668
2	0.0086	0.0246	0.0493	0.0984	0.1245	0.1177	0.1158
3	0.0150	0.0414	0.0774	0.1395	0.1521	0.1173	0.0842
4	0.0267	0.0647	0.1103	0.1648	0.1285	0.0438	-0.0342
5	0.0433	0.0922	0.1371	0.1493	0.0377	-0.0760	-0.1426
6	0.0620	0.1157	0.1432	0.0857	-0.0752	-0.1401	-0.1044
7	0.0822	0.1326	0.1261	-0.0063	-0.1483	-0.0951	0.0457
8	0.1033	0.1407	0.0873	-0.0968	-0.1400	0.0275	0.1507
9	0.1252	0.1383	0.0324	-0.1544	-0.0504	0.1309	0.0893
10	0.1468	0.1248	-0.0273	-0.1572	0.0683	0.1273	-0.0728
11	0.1683	0.1001	-0.0818	-0.1030	0.1498	0.0163	-0.1562
12	0.1891	0.0655	-0.1188	-0.0115	0.1431	-0.1082	-0.0611
13	0.2090	0.0226	-0.1302	0.0841	0.0518	-0.1400	0.1025
14	0.2277	-0.0259	-0.1132	0.1487	-0.0707	-0.0527	0.1495
15	0.2465	-0.0822	-0.0640	0.1579	-0.1609	0.0971	0.0067
16	0.2646	-0.1413	0.0054	0.1181	-0.1848	0.1987	-0.1535
17	0.2829	-0.2048	0.0950	0.0268	-0.1163	0.1764	-0.1947
18	0.3009	-0.2687	0.1925	-0.0911	0.0066	0.0677	-0.1246
19	0.3184	-0.3312	0.2905	-0.2187	0.1576	-0.0988	0.0401
20	0.3361	-0.3939	0.3883	-0.3474	0.3153	-0.2849	0.2469
21	0.3539	-0.4567	0.4866	-0.4779	0.4777	-0.4806	0.4704
22	0.3716	-0.5193	0.5845	-0.6081	0.6397	-0.6764	0.6947

Tablo 5.13 Örnek 3 için P-Deltasız Deprem Kuvveti

DEPREM KUVVETİ (t)
Deprem tepe yükü $F_{tx}= 83.26$ $F_{ty}= 88.51$ (t)

Kat no	X YÖNÜ			Y YÖNÜ			Kat tipi
	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	
1	14.865	4.796	17.945	16.130	4.757	20.052	NORMAL
2	29.491	10.225	35.601	30.871	10.143	38.376	NORMAL
3	17.226	8.090	20.794	19.094	8.025	23.735	NORMAL
4	25.669	13.912	30.987	27.993	13.801	34.798	NORMAL
5	29.845	17.469	36.029	29.998	17.329	37.291	NORMAL
6	32.489	21.527	39.220	29.498	21.355	36.669	NORMAL
7	31.342	25.607	37.836	27.421	25.402	34.088	NORMAL
8	29.538	29.357	35.658	25.277	29.122	31.422	NORMAL
9	26.573	32.721	32.078	22.430	32.458	27.883	NORMAL
10	23.408	36.452	28.258	20.841	36.160	25.908	NORMAL
11	22.061	39.926	26.631	20.652	39.606	25.672	NORMAL
12	20.957	43.411	25.299	20.226	43.063	25.144	NORMAL
13	20.054	47.339	24.208	20.406	46.960	25.367	NORMAL
14	20.230	51.391	24.421	21.048	50.979	26.164	NORMAL
15	17.342	43.279	20.935	17.833	42.932	22.169	NORMAL
16	22.390	47.626	27.028	22.428	47.244	27.881	NORMAL
17	23.423	36.990	28.275	22.625	36.693	28.126	NORMAL
18	34.172	41.615	41.251	33.249	41.282	41.332	NORMAL
19	41.379	41.326	49.952	41.997	40.995	52.207	NORMAL
20	32.888	23.413	39.702	33.026	23.225	41.054	NORMAL
21	40.189	19.461	48.516	38.661	19.305	48.060	NORMAL
22	57.132	103.661	68.969	53.251	108.755	66.197	UST KAT
Σ	612.662	739.594	739.594	594.955	739.594	739.594	GENEL

$V_t = W \cdot A(t) / R_a(t) > 0,10 \cdot A_o \cdot I \cdot W$ 739.59 , $739.59 > 739.59$
X Deprem kontrol: $1.00 \times 739.594 = 739.594 > 612.662 >>> 739.594$
Y Deprem kontrol: $1.00 \times 739.594 = 739.594 > 594.955 >>> 739.594$

Tablo 5.14 Örnek 3 için P-Deltasız Kat Deplasmanları

Kat Deprem deplasmanları

Kat no	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)
1	0.0001341	0.0000133	0.0001397	0.0000085	-0.000298	-0.000006	-0.000319	-0.000001
2	0.0004416	0.0000438	0.0004592	0.0000297	-0.001002	-0.000017	-0.001074	-0.000003
3	0.0008283	0.0000807	0.0008653	0.0000560	-0.001868	-0.000029	-0.002008	-0.000004
4	0.0017575	0.0001146	0.0018224	0.0000697	-0.002994	-0.000047	-0.003219	-0.000003
5	0.0031570	0.0001508	0.0032988	0.0000762	-0.004604	-0.000071	-0.004962	0.0000024
6	0.0048187	0.0001842	0.0050760	0.0000752	-0.006456	-0.000094	-0.006979	0.0000133
7	0.0066956	0.0002141	0.0070997	0.0000677	-0.008503	-0.000115	-0.009219	0.0000291
8	0.0087511	0.0002403	0.0093270	0.0000543	-0.010713	-0.000134	-0.011641	0.0000493
9	0.0109568	0.0002633	0.0117262	0.0000359	-0.013061	-0.000152	-0.014220	0.0000734
10	0.0132831	0.0002822	0.0142626	0.0000124	-0.015518	-0.000166	-0.016923	0.0001017
11	0.0157143	0.0002985	0.0169181	-0.000015	-0.018071	-0.000178	-0.019733	0.0001333
12	0.0182282	0.0003116	0.0196666	-0.000047	-0.020698	-0.000188	-0.022625	0.0001685
13	0.0208134	0.0003227	0.0224940	-0.000082	-0.023389	-0.000196	-0.025588	0.0002068
14	0.0234553	0.0003320	0.0253823	-0.000120	-0.026130	-0.000203	-0.028602	0.0002481
15	0.0261556	0.0003439	0.0283326	-0.000162	-0.028923	-0.000212	-0.031672	0.0002920
16	0.0288992	0.0003567	0.0313260	-0.000205	-0.031754	-0.000223	-0.034778	0.0003383
17	0.0316891	0.0003743	0.0343659	-0.000250	-0.034627	-0.000238	-0.037926	0.0003860
18	0.0345082	0.0003934	0.0374321	-0.000297	-0.037526	-0.000254	-0.041097	0.0004352
19	0.0373449	0.0004128	0.0405131	-0.000346	-0.040440	-0.000271	-0.044280	0.0004863
20	0.0402018	0.0004356	0.0436108	-0.000395	-0.043373	-0.000291	-0.047477	0.0005379
21	0.0430694	0.0004604	0.0467158	-0.000444	-0.046314	-0.000313	-0.050680	0.0005892
22	0.0459348	0.0004856	0.0498162	-0.000493	-0.049253	-0.000336	-0.053878	0.0006403

Tablo 5.15 Örnek 3 için P-Deltasız Burulma Deplasman Vektörleri

BURULMA DİNAMİK ANALİZ DEPLASMAN VEKTÖRLERİ

Kat	1.mod	2.mod	3.mod	4.mod	5.mod	6.mod	7.mod
1	0.0025	0.0069	0.0153	0.0342	0.0480	0.0515	0.0586
2	0.0076	0.0201	0.0421	0.0869	0.1102	0.1050	0.1028
3	0.0135	0.0344	0.0679	0.1271	0.1398	0.1087	0.0766
4	0.0249	0.0560	0.0996	0.1547	0.1231	0.0455	-0.0281
5	0.0417	0.0828	0.1279	0.1463	0.0439	-0.0631	-0.1269
6	0.0613	0.1070	0.1378	0.0914	-0.0600	-0.1259	-0.0959
7	0.0825	0.1251	0.1251	0.0061	-0.1319	-0.0906	0.0374
8	0.1049	0.1347	0.0907	-0.0815	-0.1310	0.0181	0.1338
9	0.1278	0.1339	0.0392	-0.1409	-0.0544	0.1150	0.0844
10	0.1503	0.1218	-0.0187	-0.1497	0.0535	0.1192	-0.0585
11	0.1725	0.0983	-0.0731	-0.1035	0.1327	0.0249	-0.1395
12	0.1936	0.0647	-0.1117	-0.0193	0.1345	-0.0897	-0.0648
13	0.2134	0.0225	-0.1260	0.0725	0.0570	-0.1286	0.0812
14	0.2319	-0.0258	-0.1123	0.1381	-0.0558	-0.0589	0.1363
15	0.2500	-0.0820	-0.0671	0.1539	-0.1476	0.0770	0.0257
16	0.2673	-0.1416	0.0005	0.1196	-0.1776	0.1780	-0.1209
17	0.2843	-0.2055	0.0891	0.0334	-0.1205	0.1722	-0.1809
18	0.3008	-0.2699	0.1873	-0.0832	-0.0034	0.0754	-0.1298
19	0.3167	-0.3331	0.2877	-0.2132	0.1485	-0.0873	0.0254
20	0.3326	-0.3965	0.3892	-0.3479	0.3142	-0.2808	0.2392
21	0.3485	-0.4599	0.4915	-0.4855	0.4870	-0.4888	0.4785
22	0.3643	-0.5233	0.5938	-0.6235	0.6611	-0.6997	0.7237

Tablo 5.16 Örnek 3 için P-Detalı Deprem Kuvveti

DEPREM KUVVETİ (t)

Deprem tepe yükü Ftx= 81.72 Fty= 86.48 (t)

Kat no	X YÖNÜ			Y YÖNÜ			Kat tipi
	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	
1	14.446	4.808	17.355	15.657	4.773	19.201	NORMAL
2	28.646	10.251	34.416	30.481	10.177	37.381	NORMAL
3	16.862	8.110	20.258	18.957	8.052	23.248	NORMAL
4	25.538	13.974	30.682	28.044	13.873	34.393	NORMAL
5	29.796	17.512	35.798	30.259	17.385	37.109	NORMAL
6	32.436	21.580	38.969	30.049	21.424	36.852	NORMAL
7	31.262	25.670	37.559	28.145	25.484	34.517	NORMAL
8	29.516	29.428	35.462	26.107	29.215	32.018	NORMAL
9	26.650	32.800	32.018	23.274	32.563	28.543	NORMAL
10	23.580	36.541	28.329	21.556	36.277	26.436	NORMAL
11	22.335	40.024	26.834	21.208	39.734	26.009	NORMAL
12	21.287	43.517	25.575	20.640	43.202	25.313	NORMAL
13	20.449	47.455	24.568	20.685	47.111	25.367	NORMAL
14	20.780	51.517	24.966	21.316	51.143	26.141	NORMAL
15	17.792	43.385	21.376	18.151	43.070	22.260	NORMAL
16	22.813	47.742	27.408	22.910	47.396	28.097	NORMAL
17	23.919	37.080	28.738	23.148	36.811	28.388	NORMAL
18	35.019	41.717	42.073	33.974	41.415	41.665	NORMAL
19	42.184	41.428	50.682	42.693	41.128	52.358	NORMAL
20	33.118	23.468	39.789	33.363	23.298	40.916	NORMAL
21	40.211	19.507	48.311	38.943	19.365	47.759	NORMAL
22	57.029	102.171	68.517	53.582	106.789	65.712	UST KAT
Σ	615.666	739.684	739.684	603.143	739.684	739.684	GENEL

Vt=W.A(t)/Ra(t)> 0,10. Ao.I.W 739.68 , 739.68 > 739.68

X Deprem kontrol: 1.00 x 739.684 = 739.684 > 615.666 >>> 739.684

Y Deprem kontrol: 1.00 x 739.684 = 739.684 > 603.143 >>> 739.684

Tablo 5.17 Örnek 3 için P-Deltalı Kat Deplasmanları

Kat Deprem deplasmanları								
Kat	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
no	δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)
1	0.0001577	0.0000138	0.0001551	0.0000090	-0.000324	-0.000008	-0.000327	-0.000003
2	0.0005082	0.0000452	0.0005050	0.0000311	-0.001068	-0.000022	-0.001091	-0.000008
3	0.0009692	0.0000835	0.0009648	0.0000588	-0.001960	-0.000036	-0.002027	-0.000012
4	0.0019643	0.0001199	0.0019524	0.0000749	-0.003118	-0.000058	-0.003235	-0.000013
5	0.0034339	0.0001598	0.0034467	0.0000849	-0.004769	-0.000086	-0.004967	-0.000011
6	0.0051574	0.0001973	0.0052275	0.0000879	-0.006657	-0.000113	-0.006961	-0.000005
7	0.0070867	0.0002315	0.0072430	0.0000845	-0.008735	-0.000139	-0.009168	0.0000061
8	0.0091852	0.0002622	0.0094529	0.0000753	-0.010967	-0.000162	-0.011551	0.0000220
9	0.0114270	0.0002897	0.0118272	0.0000610	-0.013331	-0.000184	-0.014083	0.0000418
10	0.0137815	0.0003129	0.0143319	0.0000416	-0.015798	-0.000202	-0.016732	0.0000659
11	0.0162363	0.0003336	0.0169506	0.0000181	-0.018356	-0.000219	-0.019485	0.0000935
12	0.0187687	0.0003510	0.0196567	-0.000009	-0.020984	-0.000233	-0.022314	0.0001247
13	0.0213693	0.0003663	0.0224374	-0.000041	-0.023673	-0.000245	-0.025208	0.0001591
14	0.0240228	0.0003796	0.0252773	-0.000075	-0.026407	-0.000255	-0.028154	0.0001967
15	0.0267369	0.0003956	0.0281790	-0.000113	-0.029197	-0.000268	-0.031154	0.0002369
16	0.0294928	0.0004124	0.0311269	-0.000153	-0.032024	-0.000282	-0.034195	0.0002796
17	0.0322991	0.0004339	0.0341219	-0.000194	-0.034896	-0.000301	-0.037279	0.0003236
18	0.0351357	0.0004570	0.0371423	-0.000237	-0.037797	-0.000321	-0.040384	0.0003693
19	0.0379885	0.0004803	0.0401784	-0.000282	-0.040710	-0.000341	-0.043502	0.0004169
20	0.0408635	0.0005071	0.0432326	-0.000328	-0.043644	-0.000365	-0.046637	0.0004648
21	0.0437490	0.0005358	0.0462975	-0.000373	-0.046588	-0.000390	-0.049780	0.0005125
22	0.0466266	0.0005649	0.0493675	-0.000418	-0.049525	-0.000416	-0.052926	0.0005599

Tablo 5.18 Örnek 3 için P-Deltalı Burulma Deplasman Vektörleri

BURULMA DİNAMİK ANALİZ DEPLASMAN VEKTÖRLERİ							
Kat	1.mod	2.mod	3.mod	4.mod	5.mod	6.mod	7.mod
1	0.0025	0.0068	0.0152	0.0339	0.0472	0.0509	0.0587
2	0.0076	0.0198	0.0419	0.0867	0.1096	0.1055	0.1057
3	0.0135	0.0340	0.0677	0.1274	0.1404	0.1116	0.0825
4	0.0248	0.0555	0.0996	0.1560	0.1258	0.0507	-0.0222
5	0.0417	0.0822	0.1284	0.1493	0.0488	-0.0584	-0.1272
6	0.0613	0.1063	0.1391	0.0958	-0.0551	-0.1259	-0.1041
7	0.0826	0.1246	0.1273	0.0111	-0.1298	-0.0967	0.0282
8	0.1049	0.1344	0.0937	-0.0775	-0.1334	0.0098	0.1334
9	0.1278	0.1339	0.0426	-0.1392	-0.0604	0.1109	0.0938
10	0.1504	0.1222	-0.0154	-0.1507	0.0473	0.1227	-0.0495
11	0.1726	0.0990	-0.0705	-0.1068	0.1296	0.0329	-0.1407
12	0.1937	0.0657	-0.1101	-0.0234	0.1358	-0.0838	-0.0740
13	0.2136	0.0236	-0.1257	0.0691	0.0614	-0.1292	0.0747
14	0.2320	-0.0246	-0.1131	0.1365	-0.0511	-0.0647	0.1393
15	0.2501	-0.0808	-0.0686	0.1544	-0.1454	0.0714	0.0336
16	0.2673	-0.1405	-0.0015	0.1220	-0.1790	0.1764	-0.1144
17	0.2843	-0.2046	0.0870	0.0369	-0.1246	0.1755	-0.1812
18	0.3008	-0.2693	0.1853	-0.0793	-0.0091	0.0826	-0.1375
19	0.3167	-0.3328	0.2861	-0.2097	0.1429	-0.0790	0.0141
20	0.3325	-0.3966	0.3884	-0.3458	0.3105	-0.2748	0.2299
21	0.3484	-0.4604	0.4916	-0.4851	0.4864	-0.4870	0.4746
22	0.3642	-0.5242	0.5949	-0.6249	0.6637	-0.7025	0.7258

Tablo 5.19 Örnek 4 için P-Deltasız Deprem Kuvveti

DEPREM KUVVETİ (t)
Deprem tepe yükü $F_{tx}= 106.21$ $F_{ty}= 112.98$ (t)

X YÖNÜ				Y YÖNÜ			
Kat no	Modal Analiz	Eşdeğer dep. yön.	Deprem yükü	Modal Analiz	Eşdeğer dep. yön.	Deprem yükü	Kat tipi
1	18.725	5.861	23.652	20.513	5.809	26.719	NORMAL
2	36.292	12.277	45.841	37.890	12.169	49.352	NORMAL
3	20.183	9.218	25.494	22.078	9.137	28.757	NORMAL
4	32.281	17.220	40.774	34.634	17.069	45.111	NORMAL
5	34.608	20.527	43.713	34.120	20.346	44.442	NORMAL
6	36.814	25.392	46.500	32.652	25.168	42.529	NORMAL
7	34.414	30.229	43.469	29.565	29.962	38.508	NORMAL
8	31.799	34.672	40.166	26.900	34.367	35.038	NORMAL
9	28.341	38.704	35.798	23.837	38.363	31.048	NORMAL
10	25.082	43.130	31.682	22.631	42.750	29.477	NORMAL
11	24.396	47.311	30.815	23.245	46.894	30.277	NORMAL
12	23.889	51.447	30.174	23.389	50.994	30.464	NORMAL
13	23.504	56.116	29.688	24.112	55.622	31.406	NORMAL
14	23.984	60.869	30.294	24.789	60.333	32.287	NORMAL
15	20.071	50.858	25.351	20.243	50.410	26.367	NORMAL
16	25.249	55.934	31.893	24.838	55.442	32.351	NORMAL
17	25.762	42.903	32.541	24.704	42.525	32.177	NORMAL
18	37.512	48.126	47.382	36.603	47.702	47.676	NORMAL
19	46.225	48.046	58.387	47.218	47.623	61.501	NORMAL
20	36.194	26.195	45.718	36.416	25.965	47.432	NORMAL
21	44.369	21.550	56.043	42.671	21.361	55.579	NORMAL
22	63.345	128.806	80.012	59.030	135.376	76.887	UST KAT
Σ	693.038	875.387	875.387	672.078	875.387	875.387	GENEL

$V_t = W \cdot A(t) / R_a(t) > 0,10 \cdot A_o \cdot I \cdot W$ 875.39 , $875.39 > 875.39$
X Deprem kontrol: $1.00 \times 875.387 = 875.387 > 693.038 >>> 875.387$
Y Deprem kontrol: $1.00 \times 875.387 = 875.387 > 672.078 >>> 875.387$

Tablo 5.20 Örnek 4 için P-Deltasız Kat Deplasmanları

Kat Deprem Deplasmanları

Kat no	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)
1	0.0001572	0.0000159	0.0001638	0.0000103	-0.000349	-0.000007	-0.000374	-0.000001
2	0.0005170	0.0000522	0.0005376	0.0000357	-0.001171	-0.000021	-0.001256	-0.000004
3	0.0009685	0.0000959	0.0010116	0.0000669	-0.002182	-0.000035	-0.002345	-0.000006
4	0.0020532	0.0001365	0.0021284	0.0000839	-0.003496	-0.000058	-0.003758	-0.000006
5	0.0036834	0.0001802	0.0038480	0.0000928	-0.005372	-0.000087	-0.005790	-0.000000
6	0.0056169	0.0002206	0.0059158	0.0000932	-0.007528	-0.000115	-0.008139	0.0000110
7	0.0077995	0.0002569	0.0082693	0.0000860	-0.009911	-0.000141	-0.010746	0.0000281
8	0.0101893	0.0002891	0.0108590	0.0000721	-0.012484	-0.000165	-0.013568	0.0000502
9	0.0127535	0.0003177	0.0136484	0.0000523	-0.015218	-0.000186	-0.016572	0.0000768
10	0.0154580	0.0003415	0.0165976	0.0000267	-0.018079	-0.000204	-0.019719	0.0001082
11	0.0182845	0.0003625	0.0196853	-0.000003	-0.021052	-0.000221	-0.022992	0.0001435
12	0.0212066	0.0003796	0.0228807	-0.000038	-0.024111	-0.000234	-0.026361	0.0001829
13	0.0242111	0.0003943	0.0261671	-0.000078	-0.027244	-0.000245	-0.029810	0.0002261
14	0.0272803	0.0004069	0.0295232	-0.000121	-0.030433	-0.000254	-0.033319	0.0002728
15	0.0304163	0.0004224	0.0329501	-0.000167	-0.033682	-0.000266	-0.036890	0.0003226
16	0.0336017	0.0004390	0.0364261	-0.000216	-0.036974	-0.000280	-0.040504	0.0003752
17	0.0368402	0.0004609	0.0399555	-0.000267	-0.040316	-0.000298	-0.044166	0.0004295
18	0.0401123	0.0004847	0.0435150	-0.000320	-0.043687	-0.000319	-0.047854	0.0004857
19	0.0434047	0.0005088	0.0470917	-0.000375	-0.047075	-0.000340	-0.051556	0.0005441
20	0.0467206	0.0005367	0.0506875	-0.000431	-0.050485	-0.000364	-0.055274	0.0006031
21	0.0500490	0.0005668	0.0542919	-0.000486	-0.053905	-0.000390	-0.058999	0.0006619
22	0.0533747	0.0005976	0.0578911	-0.000541	-0.057322	-0.000417	-0.062718	0.0007203

Tablo 5.21 Örnek 4 için P-Deltasız Burulma Deplasman Vektörleri

BURULMA DİNAMİK ANALİZ DEPLASMAN VEKTÖRLERİ

Kat	1.mod	2.mod	3.mod	4.mod	5.mod	6.mod	7.mod
1	0.0025	0.0069	0.0153	0.0343	0.0480	0.0515	0.0591
2	0.0076	0.0202	0.0422	0.0869	0.1096	0.1040	0.1021
3	0.0136	0.0345	0.0679	0.1267	0.1380	0.1059	0.0734
4	0.0249	0.0562	0.0995	0.1538	0.1205	0.0421	-0.0318
5	0.0418	0.0830	0.1273	0.1442	0.0403	-0.0658	-0.1268
6	0.0614	0.1071	0.1367	0.0885	-0.0632	-0.1260	-0.0919
7	0.0827	0.1252	0.1236	0.0034	-0.1331	-0.0880	0.0411
8	0.1051	0.1346	0.0890	-0.0832	-0.1296	0.0214	0.1330
9	0.1280	0.1335	0.0376	-0.1409	-0.0512	0.1162	0.0796
10	0.1506	0.1212	-0.0199	-0.1479	0.0567	0.1169	-0.0624
11	0.1728	0.0974	-0.0736	-0.1006	0.1339	0.0205	-0.1377
12	0.1939	0.0636	-0.1113	-0.0162	0.1327	-0.0926	-0.0585
13	0.2137	0.0211	-0.1247	0.0745	0.0530	-0.1270	0.0853
14	0.2321	-0.0273	-0.1100	0.1382	-0.0598	-0.0534	0.1330
15	0.2502	-0.0835	-0.0640	0.1516	-0.1489	0.0822	0.0171
16	0.2674	-0.1430	0.0040	0.1153	-0.1753	0.1795	-0.1282
17	0.2844	-0.2067	0.0926	0.0279	-0.1148	0.1681	-0.1802
18	0.3007	-0.2708	0.1904	-0.0888	0.0040	0.0671	-0.1210
19	0.3166	-0.3336	0.2899	-0.2179	0.1554	-0.0965	0.0375
20	0.3324	-0.3965	0.3904	-0.3509	0.3187	-0.2872	0.2482
21	0.3481	-0.4594	0.4915	-0.4864	0.4882	-0.4907	0.4818
22	0.3638	-0.5222	0.5926	-0.6221	0.6589	-0.6969	0.7206

Tablo 5.22 Örnek 4 için P-Detalı Deprem Kuvveti

DEPREM KUVVETİ (t)

Deprem tepe yükü $F_{tx}= 104.20$ $F_{ty}= 110.36$ (t)

Kat no	X YÖNÜ			Y YÖNÜ			Kat tipi
	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	
1	18.211	5.876	22.903	19.895	5.829	25.587	NORMAL
2	35.235	12.309	44.316	37.366	12.211	48.056	NORMAL
3	19.715	9.242	24.796	21.868	9.168	28.124	NORMAL
4	31.985	17.265	40.227	34.545	17.127	44.427	NORMAL
5	34.518	20.580	43.414	34.374	20.416	44.208	NORMAL
6	36.733	25.458	46.198	33.258	25.254	42.772	NORMAL
7	34.320	30.307	43.164	30.375	30.065	39.064	NORMAL
8	31.787	34.762	39.979	27.840	34.484	35.804	NORMAL
9	28.447	38.805	35.778	24.791	38.495	31.883	NORMAL
10	25.300	43.242	31.820	23.421	42.897	30.122	NORMAL
11	24.741	47.434	31.117	23.850	47.055	30.673	NORMAL
12	24.303	51.581	30.566	23.828	51.169	30.645	NORMAL
13	23.983	56.262	30.164	24.394	55.813	31.372	NORMAL
14	24.605	61.027	30.946	25.082	60.540	32.258	NORMAL
15	20.537	50.990	25.829	20.624	50.583	26.524	NORMAL
16	25.689	56.080	32.310	25.423	55.632	32.696	NORMAL
17	26.333	43.015	33.118	25.317	42.671	32.560	NORMAL
18	38.491	48.251	48.410	37.418	47.866	48.123	NORMAL
19	47.110	48.171	59.250	47.956	47.786	61.676	NORMAL
20	36.410	26.263	45.792	36.743	26.054	47.255	NORMAL
21	44.363	21.606	55.795	42.941	21.434	55.225	NORMAL
22	63.208	126.858	79.496	59.352	132.839	76.332	UST KAT
Σ	696.023	875.387	875.387	680.660	875.387	875.387	GENEL

 $V_t = W \cdot A(t) / R_a(t) > 0,10$, $A_o \cdot I \cdot W = 875.39$, $875.39 > 875.39$
 X Deprem kontrol: $1.00 \times 875.387 = 875.387 > 696.023 >>> 875.387$
 Y Deprem kontrol: $1.00 \times 875.387 = 875.387 > 680.660 >>> 875.387$

Tablo 5.23 Örnek 4 için P-Deltalı Kat Deplasmanları

Kat Deprem deplasmanları								
Kat	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
no	δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)
1	0.0001854	0.0000165	0.0001823	0.0000109	-0.000380	-0.000009	-0.000384	-0.000004
2	0.0005963	0.0000539	0.0005924	0.0000373	-0.001252	-0.000027	-0.001278	-0.000010
3	0.0011358	0.0000992	0.0011302	0.0000701	-0.002293	-0.000044	-0.002371	-0.000015
4	0.0022993	0.0001427	0.0022847	0.0000900	-0.003645	-0.000070	-0.003782	-0.000018
5	0.0040142	0.0001908	0.0040279	0.0001030	-0.005570	-0.000104	-0.005801	-0.000017
6	0.0060228	0.0002360	0.0061029	0.0001080	-0.007771	-0.000137	-0.008125	-0.000010
7	0.0082697	0.0002775	0.0084498	0.0001057	-0.010191	-0.000168	-0.010696	0.0000011
8	0.0107126	0.0003148	0.0110225	0.0000966	-0.012791	-0.000198	-0.013472	0.0000181
9	0.0133222	0.0003487	0.0137863	0.0000818	-0.015546	-0.000224	-0.016423	0.0000396
10	0.0160631	0.0003777	0.0167018	0.0000610	-0.018420	-0.000248	-0.019510	0.0000661
11	0.0189203	0.0004038	0.0197498	0.0000354	-0.021401	-0.000269	-0.022716	0.0000966
12	0.0218673	0.0004260	0.0228988	0.0000049	-0.024461	-0.000287	-0.026012	0.0001314
13	0.0248926	0.0004457	0.0261337	-0.000029	-0.027592	-0.000302	-0.029382	0.0001700
14	0.0279779	0.0004629	0.0294360	-0.000068	-0.030774	-0.000316	-0.032811	0.0002124
15	0.0311323	0.0004833	0.0328087	-0.000110	-0.034020	-0.000333	-0.036302	0.0002578
16	0.0343340	0.0005045	0.0362338	-0.000155	-0.037307	-0.000350	-0.039839	0.0003062
17	0.0375932	0.0005311	0.0397127	-0.000201	-0.040647	-0.000373	-0.043425	0.0003562
18	0.0408872	0.0005595	0.0432205	-0.000250	-0.044019	-0.000398	-0.047036	0.0004081
19	0.0441996	0.0005882	0.0467462	-0.000300	-0.047407	-0.000422	-0.050662	0.0004623
20	0.0475376	0.0006208	0.0502926	-0.000352	-0.050817	-0.000451	-0.054306	0.0005171
21	0.0508875	0.0006556	0.0538512	-0.000402	-0.054239	-0.000482	-0.057961	0.0005716
22	0.0542280	0.0006910	0.0574157	-0.000453	-0.057652	-0.000513	-0.061618	0.0006258

Tablo 5.24 Örnek 4 için P-Deltalı Burulma Deplasman Vektörleri

BURULMA DİNAMİK ANALİZ DEPLASMAN VEKTÖRLERİ

Kat	1.mod	2.mod	3.mod	4.mod	5.mod	6.mod	7.mod
1	0.0025	0.0068	0.0152	0.0340	0.0472	0.0509	0.0592
2	0.0076	0.0199	0.0420	0.0867	0.1090	0.1044	0.1049
3	0.0136	0.0342	0.0677	0.1269	0.1386	0.1087	0.0793
4	0.0249	0.0557	0.0994	0.1551	0.1233	0.0473	-0.0257
5	0.0418	0.0824	0.1278	0.1472	0.0453	-0.0609	-0.1269
6	0.0614	0.1065	0.1380	0.0930	-0.0582	-0.1259	-0.1002
7	0.0827	0.1247	0.1258	0.0084	-0.1310	-0.0942	0.0317
8	0.1051	0.1343	0.0920	-0.0792	-0.1321	0.0130	0.1327
9	0.1281	0.1336	0.0410	-0.1392	-0.0572	0.1121	0.0892
10	0.1507	0.1216	-0.0167	-0.1491	0.0505	0.1204	-0.0533
11	0.1729	0.0982	-0.0711	-0.1040	0.1309	0.0285	-0.1390
12	0.1940	0.0645	-0.1098	-0.0203	0.1341	-0.0868	-0.0679
13	0.2138	0.0222	-0.1243	0.0712	0.0574	-0.1278	0.0788
14	0.2323	-0.0261	-0.1107	0.1367	-0.0553	-0.0593	0.1361
15	0.2503	-0.0824	-0.0655	0.1521	-0.1468	0.0767	0.0250
16	0.2674	-0.1420	0.0020	0.1176	-0.1766	0.1780	-0.1218
17	0.2844	-0.2058	0.0904	0.0313	-0.1190	0.1714	-0.1806
18	0.3007	-0.2702	0.1884	-0.0850	-0.0017	0.0742	-0.1286
19	0.3165	-0.3333	0.2885	-0.2146	0.1500	-0.0883	0.0263
20	0.3323	-0.3966	0.3896	-0.3489	0.3152	-0.2813	0.2392
21	0.3480	-0.4599	0.4916	-0.4860	0.4877	-0.4891	0.4783
22	0.3637	-0.5232	0.5937	-0.6235	0.6615	-0.7000	0.7232

KAYNAKLAR

- [1] **Aldemir, Ü., Çelik, M. ve Bakioğlu, M.**, 1997. Depreme dayanıklı taban izolasyonlu yapılarda P-Delta etkisi, *Prof. Dr. A. Rifat Yazar Sempozyumu*, İTÜ, İstanbul, 10 Aralık, s.15-23
- [2] **Celep, Z., Kumbasar, Nahit.**, 2000, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul.
- [3] **Gaiotti, R., Stafford, B.**, 1996 P-Delta Analysis of Building Structures, *ASCE Journal Of Structural Engineering*, **115**, 755-770.
- [4] **Paz, Mario.**, 1994, International Handbook of Earthquake, Chapman & Hall, New York.
- [5] **Ruttenberg, A.**, Simplified P-Delta Analysis for Asymmetric Structures. 1982. *ASCE Journal Of Structural Engineering*, **1108**, 1995-2012.
- [6] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1997. *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*, İzmir.
- [7] **TS-500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [8] **SAP2000 Concrete Design Manual**, Berkeley University, California

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Cüneyt HARMANDALI 19.08.1975 tarihinde Söke’de doğmuştur. Söke Kocagözoğlu İlkokulunda bitirdikten sonra orta ve lise eğitimini Söke Lisesi’nde tamamlamıştır. 1994 yılında girmiş olduğu Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 1998 yılında mezun olmuştur. Aynı sene İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı Deprem Mühendisliği Kürsüsü’nde yüksek lisans çalışmalarına başladı.