

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma ÖZÇETE

**ÇATLAMALAR VE İKİNCİ MERTEBE ETKİLER GÖZ ÖNÜNDE
BULUNDURULARAK YAPILARIN ÜÇ BOYUTLU ANALİZİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2008

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇATLAMALAR VE İKİNCİ MERTEBE ETKİLER GÖZ ÖNÜNDE
BULUNDURULARAK YAPILARIN ÜÇ BOYUTLU ANALİZİ**

Fatma ÖZÇETE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Bu tez 27/02/2008 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.**

**İmza:..... İmza:..... İmza:.....
Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR Prof. Dr. A. Kamil TANRIKULU Yrd. Doç. Dr. Serkan TOKGÖZ
DANIŞMAN ÜYE ÜYE**

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇATLAMALAR VE İKİNCİ MERTEBE ETKİLER GÖZ ÖNÜNDE
BULUNDURULARAK YAPILARIN ÜÇ BOYUTLU ANALİZİ**

Fatma ÖZÇETE

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR

Yıl : 2008 Sayfa: 82

Jüri : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR

Prof. Dr. A. Kamil TANRIKULU

Yrd. Doç. Dr. Serkan TOKGÖZ

Sunulan çalışmada yatay ve düşey yükler etkisi altındaki değişik kat ve boyutlara sahip betonarme çerçeve örnekleri çatlamlar ve ikinci merteye etkiler göz önüne alınarak daha önceden geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen değerler lineer analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve ayrıca sonuçların TDY' de belirtilen sınır değerlerini aşp aşmadığı kontrol edilmiştir. Çalışmada, çatlamların ve ikinci merteye etkilerin yapı davranışı üzerine olan etkisi de irdelenmeye çalışılmıştır. Yapıya etkiyen yatay ve düşey yüklerden dolayı kiriş ve kolon elemanlarının çatlama halinde etkili atalet momentlerinin hesabında olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca literatürde mevcut olan ve deneysel çalışması yapılmış betonarme çerçeve örneği de daha önceden geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar deneysel sonuçla karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Üç boyutlu analiz, yatay deplasman, nonlineer analiz, etkili atalet momenti, çatlamlar.

ABSTRACT

MSc THESIS

**THREE DIMENSIONAL ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE
FRAMES CONSIDERING THE CRACKING AND SECOND ORDER
EFFECTS**

Fatma ÖZÇETE

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF CUKUROVA**

Supervisor : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR

Year : 2008 **Page:** 82

Jury : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR

Prof. Dr. A. Kamil TANRIKULU

Yrd. Doç. Dr. Serkan TOKGÖZ

In this study, reinforced concrete frame examples having different layers and dimensions subject to horizontal and vertical loads have been analysed considering cracking and second order effects using previously developed computer program. The values obtained from analysis have been compared with the linear analysis results and also the results have been checked against the allowable drift ratios specified by Turkish Earthquake Code (TDY). In the study, the effects of the cracking and second order effects on the behaviour of structures have also been examined. The effective stiffness model based on the probability has been used for the computation of moments of inertia in the case of cracking which occurred in beam and column members due to the horizontal and vertical loads. Furthermore, experimental reinforced concrete frame example available in the literature has been solved with the computer program and the results have been compared with the test results in the scope of the study.

Keywords: Three dimensional analysis, lateral deflections, nonlinear analysis, effective moment of inertia, crackings

TEŞEKKÜR

Öncelikle, yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde ve bu çalıŐmayı hazırlamam sırasında bana yardımcı olan, her türlü soruma cevap veren değerli danışman hocam Prof. Dr. CENGİZ DÜNDAR'a, çalıŐmalarım sırasında bana verdiği destek ve katkıdan dolayı değerli hocam Yrd. Doç. Dr. İlker KARA'ya ve tüm bölüm hocalarıma teşekkürlerimi arz ederim.

Ayrıca, her zaman yanımda olan ve benden desteklerini esirgemeyen aileme de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL VE METOD.....	8
3.1. Giriş.....	8
3.2. Çalışma Yöntemi ve Yönetmelikler.....	8
3.2.1. Çalışma Yöntemi.....	8
3.2.2. Türk Deprem Yönetmeliğinde Belirtilen Kontroller.....	9
3.2.2.1. Görelî Kat Ötelemelerin Sınırlandırılması.....	9
3.3. Geometrik Nonlineerlik ve Çatlama ların Etkisi Göz Önünde Bulundurularak Formülasyonların Elde Edilmesi.....	10
3.3.1. Eleman Rijitlik Katsayılarının Elde Edilmesi ve Rijitlik Matrisinin Oluşturulması.....	11
3.3.1.1. Rijitlik Katsayılarının Elde Edilmesinde Eksenel Kuvvetin Basınç Olması Durumu.....	11
3.3.1.2. Rijitlik Katsayılarının Elde Edilmesinde Eksenel Kuvvetin Çekme Olması Durumu.....	22
3.3.2. Yük Durumlarına Göre Yük Vektörlerinin Elde Edilmesi.....	33
3.3.2.1. Düzgün Yayılı Yük Durumu.....	34
3.3.2.1.(1). Eksenel Kuvvetin Basınç Olması Durumu.....	34
3.3.2.1.(2). Eksenel Kuvvetin Çekme Olması Durumu.....	36
3.3.2.2. Tekil Yük Durumu.....	38
3.3.3. Bilgisayar Programı.....	40

3.3.3.1. Bilgisayar Programını Hazırlama Klavuzu	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	48
4.1. Giriş	48
4.2. Örnekler	48
4.2.1. Örnek 1	48
4.2.2. Örnek 2	52
4.2.3. Örnek 3	57
4.2.4. Örnek 4	63
4.2.5. Örnek 5	68
4.2.6. Örnek 6	73
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	82

ÇİZELGELER DİZİNİ**SAYFA**

Çizelge 4.1. Betonarme çerçeve örneğine ait bilgiler.....	50
Çizelge 4.2. Betonarme çerçeve örneğine ait bilgiler.....	54
Çizelge 4.3. Yatay yüklere bağlı olarak analiz sonucunda oluşan görelî kat ötelemeleri.....	54
Çizelge 4.4. Lineer ve nonlinear analiz sonucu elde edilen görelî kat ötelemeleri.....	56
Çizelge 4.5. Betonarme çerçeve örneğine ait bilgiler.....	60
Çizelge 4.6. Yatay yüklere bağlı olarak analiz sonucunda oluşan görelî kat ötelemeleri.....	60
Çizelge 4.7. Lineer ve nonlinear analiz sonucu elde edilen görelî kat ötelemeleri.....	62
Çizelge 4.8. Betonarme çerçeve örneğine ait bilgiler.....	65
Çizelge 4.9. Yatay yüklere bağlı olarak analiz sonucunda oluşan görelî kat ötelemeleri.....	65
Çizelge 4.10. Lineer ve nonlinear analiz sonucu elde edilen görelî kat ötelemeleri.....	67
Çizelge 4.11. Betonarme çerçeve örneğine ait bilgiler.....	70
Çizelge 4.12. Yatay yüklere bağlı olarak analiz sonucunda oluşan görelî kat ötelemeleri.....	70
Çizelge 4.13. Lineer ve nonlinear analiz sonucu elde edilen görelî kat ötelemeleri.....	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1. Düzgün yayılı yük ve ara tekil yüklerden dolayı bir elemanda oluşabilecek uç deplasmanları ve bunlara karşılık gelen kuvvetler.....	10
Şekil 3.2. Eksenel basınç kuvveti için $d_8=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	12
Şekil 3.3. Eksenel basınç kuvveti için $d_{12}=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	14
Şekil 3.4. Eksenel basınç kuvveti için $d_7=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	15
Şekil 3.5. Eksenel basınç kuvveti için $d_{10}=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	16
Şekil 3.6. Eksenel basınç kuvveti için $d_3=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	17
Şekil 3.7. Eksenel basınç kuvveti için $d_6=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	19
Şekil 3.8. Eksenel basınç kuvveti için $d_2=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	20
Şekil 3.9. Eksenel basınç kuvveti için $d_5=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	21
Şekil 3.10. Eksenel çekme kuvveti için $d_8=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	23
Şekil 3.11. Eksenel çekme kuvveti için $d_{12}=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	24
Şekil 3.12. Eksenel çekme kuvveti için $d_7=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	25
Şekil 3.13. Eksenel çekme kuvveti için $d_{10}=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	26
Şekil 3.14. Eksenel çekme kuvveti için $d_3=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	27
Şekil 3.15. Eksenel çekme kuvveti için $d_6=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	29
Şekil 3.16. Eksenel çekme kuvveti için $d_2=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	30
Şekil 3.17. Eksenel çekme kuvveti için $d_5=1$ durumunda rijitlik katsayıları.....	31
Şekil 3.18. Eksenel basınca maruz düzgün yayılı yük etkisi altındaki bir kiriş.....	34
Şekil 3.19. Eksenel çekmeye maruz düzgün yayılı yük etkisi altındaki kiriş.....	36
Şekil 3.20. Eksenel basınca maruz düzgün tekil yük etkisi altındaki kiriş.....	38
Şekil 3.21. Bilgisayar programı akış diyagramı.....	42
Şekil 4.1. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki dört katlı betonarme çerçeve örneği.....	49
Şekil 4.2. Maksimum rölatif yatay ötelemenin uygulanan yatay yüke göre değişimi.....	50
Şekil 4.3. Kiriş ve kolonların etkili atalet momentlerinin yatay yüke göre değişimi.....	51

Şekil 4.4. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçeve örneği.....	52
Şekil 4.5. 2. Örneğe ait normal kat planı (m).....	53
Şekil 4.6. $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ 'nin yatay yüklere göre değişimi($i=2$).....	55
Şekil 4.7. $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ 'nin arttırılmış yatay yüklere göre değişimi.....	56
Şekil 4.8. $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ 'nin yatay yüklere göre değişimi($i=1,6$).....	57
Şekil 4.9. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçeve örneği.....	58
Şekil 4.10. 3. Örneğe ait normal kat planı (m).....	59
Şekil 4.11. $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ 'nin yatay yüklere göre değişimi($i=2$).....	61
Şekil 4.12. $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ 'nin arttırılmış yatay yüklere göre değişimi.....	62
Şekil 4.13. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçeve örneği.....	63
Şekil 4.14. 4. Örneğe ait normal kat planı (m).....	64
Şekil 4.15. $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ 'nin yatay yüklere göre değişimi($i=3$).....	66
Şekil 4.16. $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ 'nin arttırılmış yatay yüklere göre değişimi.....	67
Şekil 4.17. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçeve örneği.....	68
Şekil 4.18. 5. Örneğe ait normal kat planı (m).....	69
Şekil 4.19. $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ 'nin yatay yüklere göre değişimi($i=2$).....	71
Şekil 4.20. $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ 'nin arttırılmış yatay yüklere göre değişimi.....	72
Şekil 4.21. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki iki katlı betonarme çerçeve örneği.....	73
Şekil 4.22. Deneysel ve analitik çalışma sonuçlarından elde edilen yatay deplasmanların karşılaştırılması.....	74
Şekil 4.23. Geometrik nonlineerlik etkilerinin yatay deplasmanlar üzerine olan etkisi.....	75
Şekil 4.24. Kiriş ve kolonların etkili atalet momentlerinin yatay yüke göre değişimi.....	75

SİMGELER VE KISALTMALAR

- A : Kesit alanı
- A_i : Tekil yükün sol mesnetten olan uzaklığı
- \underline{d} : Deplasman vektörü
- d_i, d_{i-1} : i 'inci ve $(i-1)$ ' inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında hesapla elde edilen rölatif yatay yer değiştirme
- E_c : Elastisite modülü
- f_c : Betonun karakteristik basınç dayanımı
- f_{ct} : Betonun çekme dayanımı
- f_r : Betonun eğilmedeki çekme dayanımı
- F_{ts} : Çekme rijitleşmesi fonksiyonu
- h : Kat yüksekliği
- I_{eff} : Etkili atalet momenti
- I_g : Brüt beton kesit atalet momenti
- I_o : Burulma atalet momenti
- I_1 : Çatlamamış kesitin atalet momenti
- I_2 : Kesitin tamamen çatlamış haldeki atalet momenti
- \underline{k} : Rijitlik matrisi
- L : Elemanın boyu
- M : Eğilme momenti
- M_{cr} : Çatlama anında kesitte oluşan eğilme momenti
- N : Eksenel kuvvet
- P : Tekil kuvvet
- \underline{P}_o : Dış kuvvetlerden oluşan uç kuvvet vektörü
- \underline{P} : Toplam uç kuvvet vektörü
- q : Yayılı yük
- S : Şekil katsayısı
- T_s : Çekme donatısındaki kuvvet
- T_{scr} : Çatlama anında çekme donatısındaki kuvvet

- V : Kesme kuvveti
 Δ : Yerdeřirme
 ε : Çekme şekil değiştirmesi değeri
 σ_v : Eksenel basınç gerilmesi
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$: Yakınsaklık kriterleri

1. GİRİŞ

Ülkemizde, özellikle yoğun yerleşim bölgelerinde çok katlı yapıların giderek daha geniş uygulama alanı bulması, bu yapı sistemlerinin gerçekçi, yeterli güvenlikte ve ekonomik olarak tasarımının önemini arttırmaktadır. Betonarme taşıyıcı sisteme sahip binalar, köprüler, istinat duvarları, tüneller bunlardan en çok karşılaşılanları olarak sayılabilir. Bu yapıların düzenlenmesinde izlenecek adımlar sıra ile taşıyıcı sistemin oluşturulması, çözümlene yöntemlerini kullanarak sistem kesitlerinde meydana gelen etkilerin bulunması, boyutlandırmanın ve imalata ilişkin çizimlerin yapılmasıdır.

Betonarme yapıların, düşey yükler yanında yatay yükleri de güvenli bir şekilde taşıması gerekir. Yatay yük olarak tanımlanan, rüzgar ve deprem etkileri çok katlı yapıların boyutlandırılmasında düşey yüklere nazaran daha belirleyicidir. Yatay yükler kat sayısının artmasına bağlı olarak düşey yüklerden farklı bir özellikte olduğu için, yapının güvenliği sağlanırken taşıyıcı sistem davranışının esas alınması ve ilgili konstrüktif kurallara uyulması gerekmektedir.

Betonarme yapı elemanlarının artan yükler etkisi altında davranışlarının Hooke Kanununa uyduğu yani lineer elastik olduğu kabulüne dayanan hesap yöntemleriyle yapılmasına karşın, kesit hesaplarında beton ve çeliğin elastik ötesi davranışları göz önüne alınmaktadır.

Betonarme elemanlarda meydana gelen çekme gerilmelerinden gerilme eksenine dik yönde çatlama oluşur. Çatlama betonla ilgili bir olaydır, çatlak oluşmasına donatının etkisi olmaz. Ancak yeterli ve bilinçli yerleştirilmiş donatı, çatlakların genişlemesine engel olarak çatlakların kılcal düzeyde kalmasını sağlar. Betonun çekme dayanımının düşük olmasından kaynaklanan çatlama etkisi sistematik bir şekilde gelişmemekte ve aksine açıklık boyunca farklılıklar göstermektedir. Buna neden olan etken ise çatlama sonrası elemanlarda, eğilme rijitliğinin açıklık boyunca büyük değişiklik göstermesidir. Betonarme elemanlarda çatlama sonrası eğilme rijitliklerinde oluşacak azalmaların göz önünde bulundurulması, hem yapıda oluşacak iç kuvvet dağılımını hem de yer değiştirme değerlerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

Yapıya etkiyen yatay ve düşey yükler sonucunda, kesitte oluşan zorlamaların güvenli bir şekilde karşılanmasını sağlamak amacıyla şekil değiştirme ve yer değiştirmelerin küçük kalması ve belli değerleri aşmaması gerekmektedir.

Deprem ve rüzgar etkisi nedeniyle oluşan yatay yüklere maruz kalan yapıda, gerek bu yüklerden dolayı meydana gelen yatay yer değiştirmelerin, gerekse ikinci merteye momentlerinin hesaplanmasında kolonlarda çatlamalardan sonra oluşacak eğilme rijitlikleri de önem kazanmaktadır. Bu değerleri belirlemede uygun yöntem kullanılarak yapılan analizler, çatlama göz önünde bulundurulmadan geliştirilen lineer analiz yöntemlerine göre daha gerçekçi sonuçlar ortaya çıkarabilir.

Yapılar, bu etkilerle birlikte düşük yükleme kademelerinde lineer olarak davranmalarına karşın ileri yükleme aşamalarında deformasyonların da artmasıyla birlikte eğilme momentleri ve eksenel kuvvetlerin birbirlerinin rijitliklerini etkilemesinden dolayı (P- Δ etkisi) ve ayrıca yapıya etkiyen yatay yüklerin artmasından dolayı düğüm noktalarının konumunun yer değiştirmesine neden olan kuvvetlerden dolayı lineer olmayan bir davranış göstermektedirler.

Yapı elemanlarının rijitlik ve esnekliklerinin sabit olduğu kabulüyle yük deplasman ilişkisi doğrusal bir davranış sergilemektedir. Bu kabul, yapısal eleman üzerine etkiyen eksenel kuvvet elemanının rijitlik matrisini ve dolayısıyla esneklik matrisini değiştirmektedir.

Yapıya etkiyen yük seviyesi arttıkça, yapıda oluşan deplasmanlar artmaktadır. Yapıda, düğüm noktalarına uygulanan yüklerden dolayı oluşan ilave momentlerin yapının çubuk kuvvetlerini ve kritik yükünü etkilemesi, geometrik nonlineerlik etkisinin analizde göz önünde bulundurulması gerektiğinin bir göstergesidir. Yapı analizinde bu etkilerle birlikte çatlama etkisinin göz önüne alınması yapı davranışını daha gerçekçi kılmaktadır.

Bu bilgiler ışığında Dündar C. ve Kara İ. (2006), betonarme elemanlardaki çatlamanın etkisiyle birlikte eksenel kuvvetler ve düğümlerin yer değiştirmesi nedeniyle oluşan ikinci merteye etkileri göz önünde bulundurularak yapıların üç boyutlu analizi için bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri analiz yönteminde çatlamalardan sonra elemanların etkili atalet momentlerinin hesabında

olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli kullanılmış olup, kayma deformasyonlarının etkisi göz önünde bulundurulmamıştır.

Sunulan çalışmada, değişik boyut ve ölçülere sahip olan çok katlı betonarme yapı modelleri, yatay ve düşey yükler etkisi altında gerek lineer gerekse çatlama ve geometrik nonlineerlik etkiler göz önünde bulundurularak Dündar C. ve Kara İ. (2006) tarafından geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile çözülmüş olup düğüm deplasmanlarının ve eleman uç kuvvetlerinin lineer analize göre nasıl bir değişim gösterdiği, TDY’de belirtilen sınır değerlerini aşp aşmadığı irdelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde, az bulunmasına rağmen rijitlik matrisine dayandırılarak yapılan çalışmalar mevcuttur. Ayrıca bugüne kadar yapılan çalışmalarda gerek deneysel olarak gerekse beton ve çelik malzemelerin birlikte davranışlarını hesaba katan bir çok teorik model içeren çalışmalar göz önüne alınmıştır.

Branson (1963), yaptığı çalışmasında yapıya uygulanan yüklerden dolayı oluşan moment, çatlama meydana getiren momenti (M_{cr}) aştığı durumda, atalet momentinin, çatlama oluşan bölgelerde nasıl bir değişim gösterdiğini incelemiş ve bu durumda ortaya aşağıdaki gibi bir formülasyonu çıkarmıştır.

$$I_{eff} = (M_{cr}/M)^p I_1 + (1 - (M_{cr}/M)^p) I_2 \quad (2.1)$$

Formülasyonda, I_{eff} atalet momentini temsil ederken, I_1 çatlama haldeki kesit atalet momentini, I_2 ise çatlama haldeki atalet momentini göstermektedir. Deneysel sonuçlarla uyum açısından $p=4$ olarak alınmıştır.

Sakai ve Kakuta (1980), Branson (1963) tarafından geliştirilmiş olan etkili atalet momenti ifadesini, eğilme ve aksel yük etkisi altındaki betonarme elemanlarda moment eğrilik ilişkisini elde etmek için, aksel yük durumunu içine alacak şekilde genelleştirerek yeni bir formülasyon oluşturmuştur. Branson (1963) tarafından geliştirilen denklem içerisindeki M_{cr}/M 'in yerine çekme donatısındaki kuvvetleri içeren T_{scr}/T_s oranını kullanmışlardır. Etkili atalet momentini aşağıdaki denklemle ifade etmişlerdir.

$$I_{eff} = (T_{scr}/T_s)^p I_1 + [1 - (T_{scr}/T_s)^p] I_2 \quad (2.2)$$

T_{scr} , çatlama anındaki, T_s ise verilen yük düzeyindeki ilgili kesitteki çekme donatısındaki kuvvetleri göstermektedir. I_1 ve I_2 ise sırası ile brüt ve çatlama beton kesitin atalet momenti değerleridir. Bu modelin doğruluğunu kanıtlamak için iki farklı deneysel çalışma yapmışlar ve deney sonuçlarıyla, elde edilen sonuçları kıyasladıklarında uyumlu değerler elde etmişlerdir.

Cosenza (1989), çalışmasında betonarme kirişlere uygulanan düşey yükler altında çatlamları göz önüne alarak sonlu elemanlar yöntemiyle analiz etmiş, betonun çekme direncinin eğilme rijitliğine katkısını ACI, CEB gibi modellerle çalışmasına katmıştır. Modelinde düzgün yayılı yüklü basit mesnetli bir kirişi baz alarak analiz yapmış, esneklik katsayısını elde etmiştir. Analizde, çatlamalardan sonra önemli bir etki olan kayma deformasyonu bu çalışmada ihmal edilmiştir. Geliştirdiği yöntemle, önceden çözümlenmiş bir örneği ele almış, deneysel sonuçlarla kendi çözümünü karşılaştırmıştır.

Sun ve ark. (1992), çalışmalarında düzgün betonarme çerçeve analizi için geometrik nonlineerlik ile malzemenin lineer olmayan davranışına dayalı kayma deformasyon etkisi ihmal edilerek bir analiz yöntemi geliştirmişler ve buna bağlı bir bilgisayar programı oluşturmuşlardır. Sonlu elemanlar metoduna dayanan bu analiz yönteminde çerçeveye yükler adım adım uygulanmış ve her yük adımında iteratif işlemlere başvurulmuştur. Deneysel sonuçları bulunan tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeve örneğini kendi geliştirdikleri bilgisayar programında çözerek karşılaştırma imkanı bulmuşlardır. Çalışma sonucunda kat sayısı ve eleman sayısı arttıkça çözümün değerlendirilmesi zaman alıcı ve uğraştırıcı olduğu görülmüştür.

Polak (1997) çalışmasında, betonarme plaklarda oluşan deplasmanları sonlu elemanlar metoduna dayalı basit bir yöntemle elde etmiştir. Bunu elde ederken Branson (1963) çalışmasındaki formülasyonu etkili atalet momentini hesaplarken kullanmıştır. Eleman rijitlik matrisinde oluşturulan denklemleri Gauss integrasyon yöntemiyle çözümlenmiştir. Literatürdeki çalışmaları göz önüne alarak, geliştirdiği yöntemi, literatürde mevcut farklı özellikteki deneysel betonarme plaklarda denemiş ve sonuçları önceki çalışmalarla karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, sonlu elemanlarla birlikte bu yöntem kullanıldığında betonarme plak analizinde kolaylık sağlanmıştır.

Chan ve ark. (2000) çalışmalarında, çatlama etkisini göz önünde bulundurarak betonarme elemanlara uygulanan yatay ve düşey yükler altında olasılığa dayalı etkili rijitlik modelini geliştirmişlerdir. Moment diyagramlarındaki çatlaman ve çatlama olmayan bölge alanlarına bağlı olarak yatay ve düşey yükler altında betonarme elemanlardaki etkili atalet momentini hesaplamışlardır. Çok katlı betonarme yapıları analiz etmek amacıyla iki farklı analiz algoritması geliştirmişlerdir. Yük artım metodu ve direkt

rijitlik yöntemi olmak üzere geliştirilen algoritmalar, olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli ile sonlu elemanlar metoduna dayanmaktadır. Bu analiz yöntemleri geliştirilirken kayma deformasyonu göz önüne alınmamıştır. Bu analiz yöntemlerini deneysel olarak betonarme bir çerçevede yüklemeye tabi tutmuşlar ve yatay deplasmanların kullanılabilirlik yük düzeyinde deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğunu görmüşlerdir.

Aksoğan O. ve Erdem H. (2001), ikinci mertebeye etkilerini göz önünde bulundurarak çerçevelerin üç boyutlu analizinde bağlantıların lineer olmayan davranışını incelemişlerdir. Nonlinear bağlantısı için Richard modelini ele almışlar ve malzeme davranışının lineer elastik kabulüne göre analiz etmişlerdir. Çerçevelerin analizindeki ikinci mertebeye etkisindeki tanjant rijitlik matrisi için çubuk elemanın moment-eğrilik ilişkisini idare eden lineer diferansiyel denklemin aksel kuvvet ve yarı rijitlik etkileri göz önünde bulundurulmuştur.

Sınır şartından tanjant rijitlik matrisi elde edilmiştir. İterasyon yöntemi ile nonlinear denge denklemleri çözülmüş ve sonuç olarak, bağlantı davranışının gerçekçi olarak tanımlanmasının ve aksel kuvvetlerin eğilme rijitliklerine ve momentlerinin aksel rijitliklere etkilerinin hesapta güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

Tikka (2005), malzeme nonlinearlığı ve geometrik nonlinearlık etkileri göz önüne alınarak düzlemsel betonarme çerçevelerde yük deformasyon ilişkisini elde etmek amaçlı bu çalışma yapılmıştır. Yatay ve düşey yükler etkisi altında lineer olmayan bir analiz önermiş ve buna dayanarak bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Kayma deformasyon etkisini ihmal ederek Kent ve Park modeline göre betonun gerilme birim şekil değiştirme ilişkisini elde etmiştir.

Beton dayanımı ve kolonların narinlik oranları bakımından farklı, deneysel sonuçları olan örnekleri geliştirdiği programda çözümlenerek deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. Sonuçta, gerek dayanım değerlerini gerekse yük deformasyon eğrilerini belirli bir yaklaşıklıkla deneysel sonuçlarla uyum içerisinde elde etmiştir. Ayrıca çalışmasında kolonların narinlik oranının, betonun dayanımının ve elemanlardaki donatı düzeylerinin çerçevelerin dayanımı üzerine olan etkisini araştırmıştır.

Chan ve ark. (2005), betonarme çerçevelerin analizinde çatlama oluşmasından sonra kiriş, kolon ve perde elemanlarının etkili atalet momentlerini olasılığa dayalı etkili rijitlik modelini geliştirerek çözümlenmiştir. Geliştirilen yöntem, sonlu elemanlar metodu ile etkili rijitlik modelini yük artım metodu ile birleştiren iteratif bir yöntemle dayandırılmıştır. İki farklı betonarme çerçeve örneği düşey yükler sabit kalmak şartıyla ele alınmış, elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçlar arasında uyum olduğu görülmüştür. Ayrıca deneysel olarak elde edilen yatay deplasmanların lineer analiz sonucu elde edilen yatay deplasmanlara göre oldukça büyük değişimler gösterdiğini gözlemlemiştir.

Dündar ve Kara (2006), taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan üç boyutlu betonarme yapılarda yatay ve düşey yükler etkisinde kiriş ve kolonlarda oluşan çatlama nedeniyle ikinci mertebe etkileri göz önüne alınarak bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Rijitlik matrisi yöntemine dayanan bu programda etkili atalet momenti hesabında olasılığa dayalı etkili rijitlik modelini kullanmışlardır.

Bu programla çeşitli betonarme çerçeve örnekleri çözümlenmiş ve sonuç olarak yatay deplasmanların lineer analiz sonucu elde edilen yatay deplasmanlara göre yatay yük düzeyinin artmasına bağlı olarak büyük değişimler gösterdiğini elde etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında yatay yüke bağlı olarak elemanların eğilme rijitliklerindeki değişiklikleri de göz önünde bulundurmuşlardır.

Dündar ve Kara (2007), çalışmalarında yatay ve düşey yüklerden dolayı oluşan kiriş ve kolonlardaki çatlama göz önüne alınarak analitik yöntemle dayalı bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Program, sonuca hızlı ve kolay ulaşılabilirlik amacıyla rijitlik matrisi yöntemine dayandırılmıştır. Çatlamalardan dolayı oluşan etkili atalet momenti hesabında ACI, CEB ve olasılığa dayalı etkili rijitlik modellerini kullanmışlardır. Çalışmalarında ayrıca, bu yükler altındaki betonarme yapıda kayma deformasyonlarının yatay deplasmanlar üzerine olan etkisini de incelemişlerdir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Giriş

Yapı sistemleri, sisteme uygulanan yükler altında, başlangıçta lineer gibi davranırlar da, artan yükler altında eğilme momentlerinin ve aksel kuvvetlerin birbirlerinin rijitliklerini etkilemelerinden dolayı nonlineer davranış gösterirler. Aksel kuvvetin çekme olması durumunda deformasyon ve eğilme momenti azalmakta, basınç olması durumunda ise artmaktadır. Yapı yüklemeye yapıldıkça deplasman yapmaktadır. Yapının bu yer değiştirmiş düğümlerine uygulanan yükler de ilave momentler doğurmaktadır, oluşan bu momentler de yapının çubuk kuvvetlerini ve kritik yükünü etkilemektedir. Bütün bu nedenlerden dolayı geometrik etkiler yapı davranışı üzerinde önemli etkiye sahip olabilmektedir.

Bu çalışmada gerek çatlama etkisi gerekse geometrik nonlineerlik etkiler göz önüne alınarak betonarme çerçevelerin üç boyutlu analizi için Dündar ve Kara (2006) tarafından daha önceden geliştirilen analitik yöntem ayrıntılı bir şekilde bu bölümde ele alınacaktır. Formülasyonlar rijitlik matrisi yöntemine dayandırılarak oluşturulmuştur. Kayma deformasyonları etkisi göz önüne alınmayıp, elemanlarda çatlamalardan sonra oluşan etkili atalet momentlerinin hesabında olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli kullanılmıştır.

Ayrıca, çalışma kapsamı içerisinde irdelenecek olan ve TDY'de belirtilen görelilik kat ötelemesi kontrolüne kısaca değinilecektir.

3.2. Çalışma Yöntemi ve Yönetmelikler

3.2.1. Çalışma Yöntemi

Sunulan çalışmada, çeşitli katlarda ve modellerde oluşturulan üç boyutlu çerçeveler yatay ve düşey yükler altında Dündar C. ve Kara İ. (2006) tarafından geliştirilen bilgisayar programı ile çözümlenerek, yapı elemanlarında oluşan kesit tesirleri ve yapının kat deplasmanları elde edilmiş ve daha sonra düşey yükler sabit tutulup, yatay yükler belirli oranlarda değiştirilerek deplasmanlardaki değişim incelenmiştir.

Ayrıca, kiriş ve kolonlardaki çatlamlar göz önünde bulundurularak aynı çerçeve örnekleri çözümlenmiş ve sonuçların TDY’de belirtilen koşulları sağlayıp sağlamadığı irdelenmiştir.

3.2.2. Türk Deprem Yönetmeliğinde Belirtilen Kontroller

Bu bölümde, çalışma kapsamında kullanılacak olan ve TDY’de belirtilen görelî kat ötelemesi kontrolüne değinilecektir.

3.2.2.1. Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Herhangi bir kolon ve perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değıştirme farkını ifade eden görelî kat ötelemesi Δ_i , Denklem (3.1) de tanımlanmaktadır.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (3.1)$$

Bu denklemde d_i ve d_{i-1} , binanın i 'inci ve $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında hesapla elde edilen rölatif yatay yer değıştirmelerini göstermektedir. Her bir deprem doğrultusu için, binanın bir i 'inci katındaki kolon veya perdede, (3.1) denklemi ile hesaplanan görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\Delta_i)_{\text{maks}}$, (3.2) ve (3.3) denklemlerinde verilen koşulların en elverişsiz olanını sağlamalıdır.

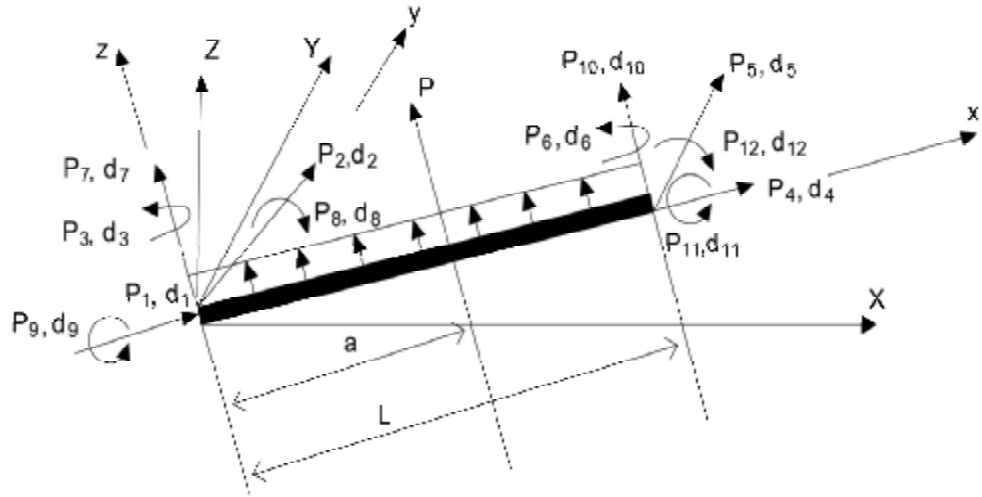
$$(\Delta_i)_{\text{maks}} / h_i \leq 0.0035 \quad (3.2)$$

$$(\Delta_i)_{\text{maks}} / h_i \leq 0.02 / R \quad (3.3)$$

Bu denklemlerde verilen koşulların en elverişsiz olanının binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliğı artırılarak yapılan hesap tekrarlanacaktır.

3.3. Geometrik Nonlineerlik ve Çatlama Etkisi Göz Önünde Bulundurularak Formülasyonların Elde Edilmesi

Problemin formülasyonu için betonarme yapıyı oluşturan çerçevelerin çubuk elemanlardan oluştuğu kabul edilmektedir. Açıklık boyunca z eksenindeki düzgün yayılı yük ve ara tekil yükler etkisi altında olabilecekleri göz önünde bulundurulmuştur. (Kara İ., 2007).



Şekil 3.1. Düzgün yayılı yük ve ara tekil yüklerden dolayı bir elemanda oluşabilecek uç deplasmanları ve bunlara karşılık gelen kuvvetler

3.3.1. Eleman Rijitlik Katsayılarının Elde Edilmesi ve Rijitlik Matrisinin Oluşturulması

İkinci mertebe olarak da adlandırılan geometrik nonlineerlik, yükleme sırasında düğümlerin yer değiştirmesi, aksenal kuvvet ve momentlerin birbirlerinin rijitliklerini etkilemesi sonucunda meydana gelmektedir. İkinci mertebe etkiler göz önüne alınırken aksenal kuvvetin eğilme ve kesme rijitliklerine etkisi ve eğilme nedeniyle oluşan kısalmanın aksenal rijitliğe katkısı göz önüne alınmaktadır. Rijitlik matrisi aksenal kuvvet etkisi altındaki çubuk elemanın davranışını idare eden denklemin sınır şartları altında çözümünden elde edilmektedir. Analiz yapılırken, aksenal kuvvetin basınç ve çekme olduğu durumlar göz önüne alınmaktadır.

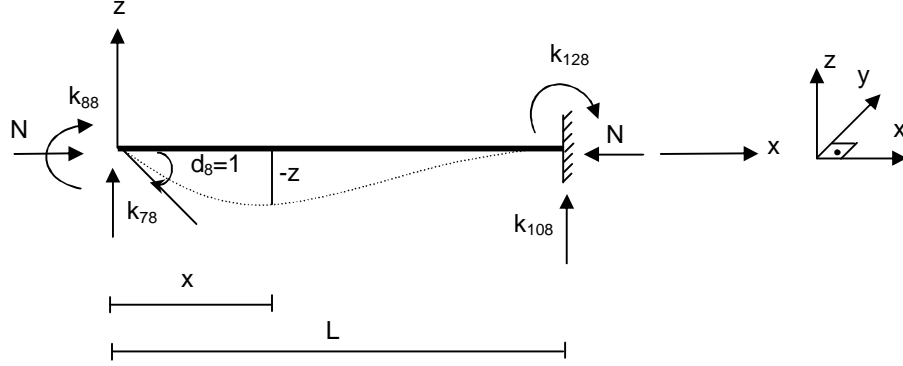
Üç boyutlu halde çubuk elemanların her bir ucunda asal eksenler doğrultusunda üç deplasman ve bu eksenler etrafında üç dönme oluşmaktadır. Kuvvetler ve deplasmanlar arasındaki ilişki aşağıdaki şekildedir.

$$\underline{k} \underline{d} + \underline{P}_0 = \underline{P} \quad (3.4)$$

Denklem, \underline{k} (12x12) rijitlik matrisi, \underline{d} (12x1) deplasman vektörü, P_0 (12x1) dış kuvvetlerden oluşan uç kuvvet vektörü ve P (12x1) toplam uç kuvvet vektörü değerinden oluşmaktadır. Bu değerler eleman eksen takımında (x,y,z) olup, transformasyon matrisi aracılığı ile global eksen takımına (X,Y,Z) çevrilmektedirler. (Kara İ. 2007)

3.3.1.1. Rijitlik Katsayılarının Elde Edilmesinde Aksenal Kuvvetin Basınç Olması Durumu (N > 0)

Eksenal kuvvet etkisi altındaki bir kiriş elemanın ilgili yönlerine birim deplasmanlar verilerek, elemanın davranışını idare eden denklemin sınır şartları altında çözümünden elde edilmişlerdir.

$d_8=1$ durumu;**Şekil 3.2.** Eksenel basınç kuvveti için $d_8=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem;

$$k^2 = \frac{N}{EI_{\text{effy}}} \quad (3.5)$$

olmak üzere

$$EI_{\text{effy}} z'' = -Nz + k_{78}x + k_{88} \quad (3.6a)$$

$$z'' + k^2 z = \frac{k_{78}}{EI_{\text{effy}}}x + \frac{k_{88}}{EI_{\text{effy}}} \quad (3.6b)$$

şeklinde elde edilmektedir. Bu diferansiyel denklemin genel çözümü

$$z = A \sin kx + B \cos kx + Cx + D \quad (3.7)$$

şeklinde olmakta ve aşağıdaki denklemlerde verilen sınır şartları uygulanarak

$$x=0 \quad z=0 \quad z'=1 \quad (3.8a)$$

$$x=L \quad z=0 \quad z'=0 \quad (3.8b)$$

A, B, C ve D katsayıları

$$u=kL, c=\cos kL, s=\sin kL, H=us+2c-2 \quad (3.9)$$

değerleri olmak üzere;

$$A = -\frac{us + c - 1}{kH} \quad B = -D = \frac{s - uc}{kH} \quad C = \frac{1 - c}{H} \quad (3.10)$$

şeklinde elde edilmektedirler.

Bu katsayılar da kullanılarak diferansiyel denklemin çözümü

$$z = \frac{-(us + c - 1) \sin kx - (uc - s) \cos kx - (c - 1) kx - uc + s}{kH} \quad (3.11)$$

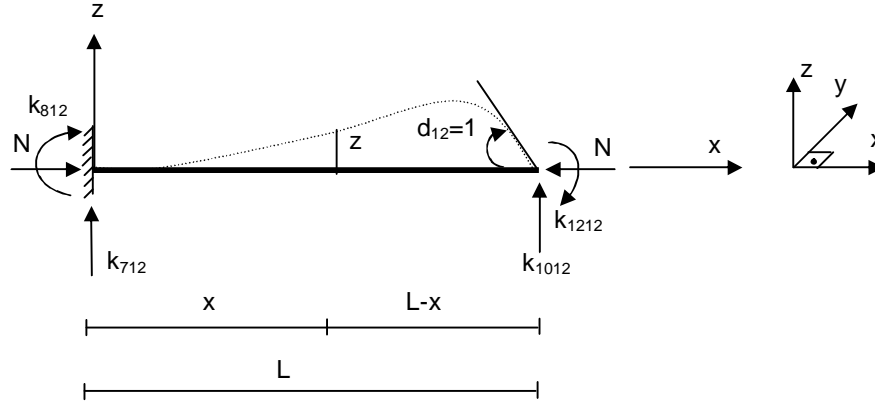
formunda elde edilmekte olup, $x=0$ ve $x=L$ 'de $M=EIz''(x=0, x=L)$ değerleri ve denge denklemleri aracılığı ile rijitlik katsayılarının ilgili terimleri

$$k_{88} = \frac{u(uc - s)}{H} \frac{EI_{effy}}{L} \quad (3.12a)$$

$$k_{128} = \frac{u(s - u)}{H} \frac{EI_{effy}}{L} \quad (3.12b)$$

$$k_{78} = -k_{108} = \frac{k_{88} + k_{128}}{L} = \frac{u^2(1 - c)}{H} \frac{EI_{effy}}{L^2} \quad (3.12c)$$

şeklinde elde edilmektedirler. Bu aşamadan sonra eleman rijitlik katsayılarının diğer terimleri konsol bir kirişe diğer yönlerde birim deplasmanlar verilmesiyle aynı işlem adımları yukarıdaki şekil ve düzende aynı şekilde uygulanıp elde edilecektir.

$d_{12}=1$ durumu:**Şekil 3.3.** Eksenel basınç kuvveti için $d_{12}=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem ($k^2 = \frac{N}{EI_{\text{effy}}}$):

$$z'' + k^2 z = \frac{k_{1012}(L-x)}{EI_{\text{effy}}} - \frac{k_{1212}}{EI_{\text{effy}}} \quad (3.13)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad z=0 \quad z'=0 \quad (3.14a)$$

$$x=L \quad z=0 \quad z'=1 \quad (3.14b)$$

Elde edilen A, B, C, D katsayıları ve diferansiyel deklemin çözümü :

$$(u=kL, c=\cos kL, s=\sin kL, H=us+2c-2)$$

$$A = \frac{c-1}{kH} \quad B = -D = \frac{u-s}{kH} \quad C = \frac{1-c}{H} \quad (3.15a)$$

$$z = \frac{(c-1)\sin kx + (u-s)\cos kx - (c-1)kx - u + s}{kH} \quad (3.15b)$$

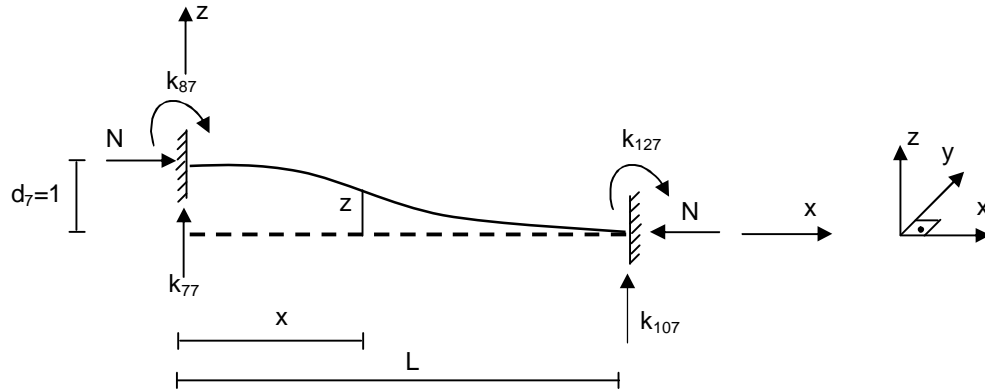
$M=EIz''(x=0, x=L)$ ve denge denklemleri aracılığı elde edilen rijitlik katsayıları;

$$k_{1212} = \frac{u(uc-s)}{H} \frac{EI_{effy}}{L} \quad (3.16a)$$

$$k_{812} = \frac{u(s-u)}{H} \frac{EI_{effy}}{L} \quad (3.16b)$$

$$k_{712} = -k_{1012} = \frac{k_{1212} + k_{812}}{L} = \frac{u^2(1-c)}{H} \frac{EI_{effy}}{L^2} \quad (3.16c)$$

$d_7=1$ durumu:



Şekil 3.4. Eksenel basınç kuvveti için $d_7=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem ($k^2 = \frac{N}{EI_{effy}}$):

$$z'' + k^2 z = \frac{k_{77}}{EI_{effy}} x + \frac{k_{87}}{EI_{effy}} + \frac{N}{EI_{effy}} \quad (3.17)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad z=1 \quad z'=0 \quad (3.18a)$$

$$x=L \quad z=0 \quad z'=0 \quad (3.18b)$$

Elde edilen A, B, C, D katsayıları ve diferansiyel deklemin çözümü:

$$(u=kL, c=\cos kL, s=\sin kL, H=us+2c-2)$$

$$A = \frac{s}{H}, \quad B = \frac{c-1}{H}, \quad C = \frac{-ks}{H}, \quad D = \frac{us+c-1}{H} \quad (3.19a)$$

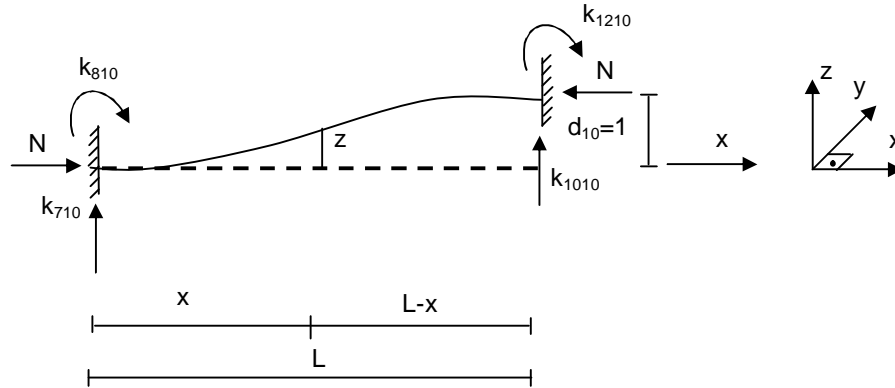
$$z = \frac{s}{H} \sin kx + \frac{c-1}{H} \cos kx - \frac{ks}{H} x + \frac{us+c-1}{H} \quad (3.19b)$$

$M=EIz''(x=0, x=L)$ ve denge denklemleri aracılığı elde edilen rijitlik katsayıları:

$$k_{87} = k_{127} = -\frac{u^2(c-1)}{H} \frac{EI_{\text{effy}}}{L^2} \quad (3.20a)$$

$$k_{107} = -k_{77} = \frac{u^3s}{H} \frac{EI_{\text{effy}}}{L^3} \quad (3.20b)$$

$d_{10}=1$ durumu:



Şekil 3.5. Eksenel basınç kuvveti için $d_{10}=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem ($k^2 = \frac{N}{EI_{\text{effy}}}$):

$$z'' + k^2 z = \frac{k_{1010}(L-x)}{EI_{\text{effy}}} - \frac{k_{1210}}{EI_{\text{effy}}} + \frac{N}{EI_{\text{effy}}} \quad (3.21)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad z=0 \quad z'=0 \quad (3.22a)$$

$$x=L \quad z=1 \quad z'=0 \quad (3.22b)$$

Elde edilen A, B, C, D katsayıları ve diferansiyel deklemin çözümü:

$$(u=kL, c=\cos kL, s=\sin kL, H=us+2c-2)$$

$$A = -\frac{s}{H}, \quad B = \frac{1-c}{H}, \quad C = \frac{ks}{H}, \quad D = \frac{c-1}{H} \quad (3.23a)$$

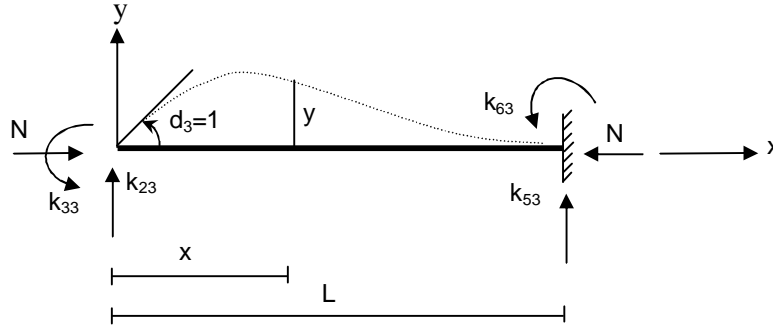
$$z = -\frac{s}{H} \sin kx - \frac{c-1}{H} \cos kx + \frac{ks}{H} x + \frac{c-1}{H} \quad (3.23b)$$

$M=EIz''(x=0, x=L)$ ve denge denklemleri aracılığıyla elde edilen rijitlik katsayıları:

$$k_{810} = k_{1210} = \frac{u^2(c-1)}{H} \frac{EI_{\text{effy}}}{L^2} \quad (3.24a)$$

$$k_{1010} = -k_{710} = -\frac{u^3 s}{H} \frac{EI_{\text{effy}}}{L^3} \quad (3.24b)$$

$d_3=1$ durumu:



Şekil 3.6. Eksenel basınç kuvveti için $d_3=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem ($k^2 = \frac{N}{EI_{\text{effz}}}$):

$$EI_{\text{effz}} y'' = -N y + k_{23} x - k_{33} \quad (3.25a)$$

$$y'' + k^2 y = \frac{k_{23}}{EI_{\text{effz}}} x - \frac{k_{33}}{EI_{\text{effz}}} \quad (3.25b)$$

Diferansiyel denklemin genel çözümü:

$$y = A \sin kx + B \cos kx + Cx + D \quad (3.26)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad y=0 \quad y'=1 \quad (3.27a)$$

$$x=L \quad y=0 \quad y'=0 \quad (3.27b)$$

Elde edilen A, B, C, D katsayıları ve diferansiyel deklemin çözümü:

$$A = \frac{us + c - 1}{kH} \quad B = -D = \frac{uc - s}{kH} \quad C = \frac{c - 1}{H} \quad (3.28a)$$

$$u = kL, \quad c = \cos kL, \quad s = \sin kL, \quad H = us + 2c - 2. \quad (3.28b)$$

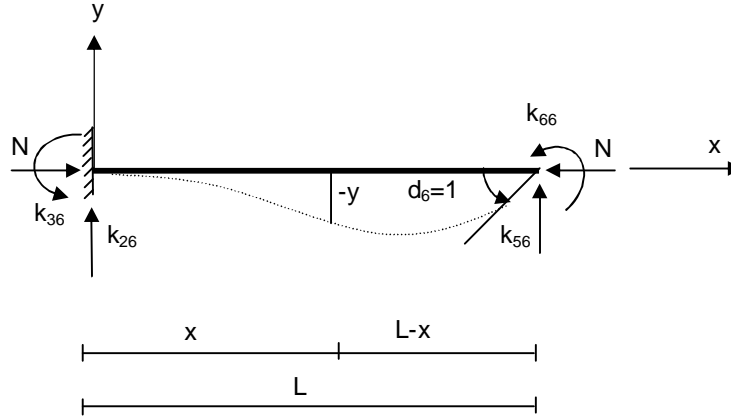
$$y = \frac{(us + c - 1) \sin kx + (uc - s) \cos kx + (c - 1) kx - uc + s}{kH} \quad (3.28c)$$

$M = EIy''(x=0, x=L)$ ve denge denklemleri aracılığı elde edilen rijitlik katsayıları:

$$k_{33} = \frac{u(uc - s)}{H} \frac{EI_{effz}}{L} \quad (3.29a)$$

$$k_{63} = \frac{u(s - u)}{H} \frac{EI_{effz}}{L} \quad (3.29b)$$

$$k_{23} = -k_{53} = \frac{k_{33} + k_{63}}{L} = \frac{u^2(c - 1)}{H} \frac{EI_{effz}}{L^2} \quad (3.29c)$$

$d_6=1$ durumu:Şekil 3.7. Eksenel basınç kuvveti için $d_6=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem ($k^2 = \frac{N}{EI_{\text{effz}}}$):

$$EI_{\text{effz}} y'' = -N y + k_{56} (L - x) + k_{66} \quad (3.30a)$$

$$y'' + k^2 y = \frac{k_{56} (L - x)}{EI_{\text{effz}}} + \frac{k_{66}}{EI_{\text{effz}}} \quad (3.30b)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad y=0 \quad y'=0 \quad (3.31a)$$

$$x=L \quad y=0 \quad y'=1 \quad (3.31b)$$

Elde edilen A, B, C, D katsayıları ve diferansiyel deklemin çözümü:

$$(u=kL, c=\cos kL, s=\sin kL, H=us+2c-2)$$

$$A = -\frac{c-1}{kH} \quad B = -D = \frac{s-u}{kH} \quad C = \frac{c-1}{H} \quad (3.32a)$$

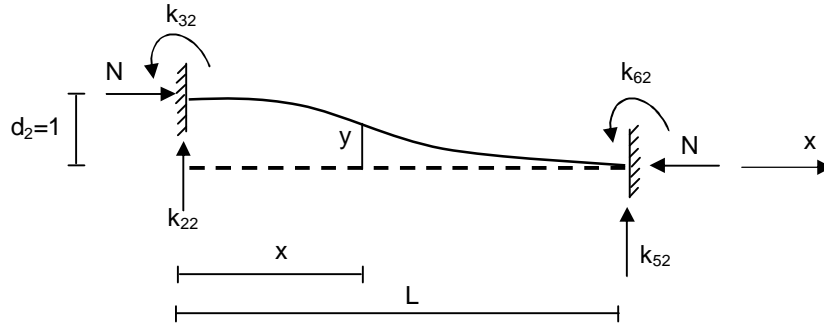
$$y = \frac{(1-c)\sin kx - (u-s)\cos kx + (c-1)kx + u-s}{kH} \quad (3.32b)$$

$M=EIy''(x=0, x=L)$ ve denge denklemleri aracılığı elde edilen rijitlik katsayıları:

$$k_{36} = \frac{u(s-u)}{H} \frac{EI_{effz}}{L} \quad k_{66} = \frac{u(uc-s)}{H} \frac{EI_{effz}}{L} \quad (3.33a)$$

$$k_{26} = -k_{56} = \frac{k_{66} + k_{36}}{L} = \frac{u^2(c-1)}{H} \frac{EI_{effz}}{L^2} \quad (3.33b)$$

d₂=1 durumu:



Şekil 3.8. Eksenel basınç kuvveti için $d_2=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem ($k^2 = \frac{N}{EI_{effz}}$):

$$y'' + k^2 y = \frac{k_{22}}{EI_{effz}} x - \frac{k_{32}}{EI_{effz}} + \frac{N}{EI_{effz}} \quad (3.34)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad y=1 \quad y'=0 \quad (3.35a)$$

$$x=L \quad y=0 \quad y'=0 \quad (3.35b)$$

Elde edilen A, B, C, D katsayıları ve diferansiyel deklemin çözümü:

$$(u=kL, c=\cos kL, s=\sin kL, H=us+2c-2)$$

$$A = \frac{s}{H}, \quad B = \frac{c-1}{H}, \quad C = \frac{-ks}{H}, \quad D = \frac{us+c-1}{H} \quad (3.36a)$$

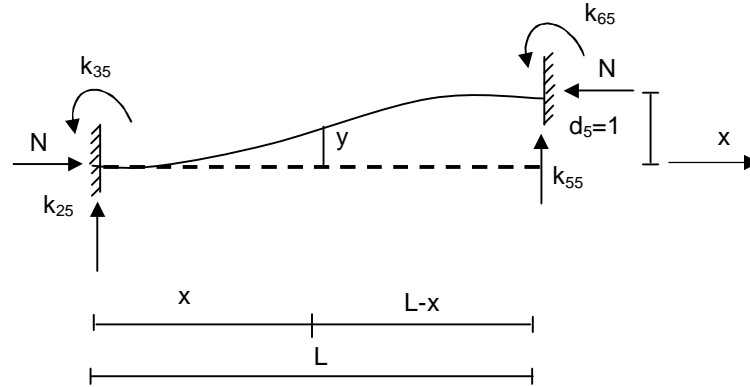
$$y = \frac{s}{H} \sin kx + \frac{c-1}{H} \cos kx - \frac{ks}{H} x + \frac{us+c-1}{H} \quad (3.36b)$$

$M=EIy''(x=0, x=L)$ ve denge denklemleri aracılığı elde edilen rijitlik katsayıları:

$$k_{32} = k_{62} = \frac{u^2(c-1)}{H} \frac{EI_{effz}}{L^2} \quad (3.37a)$$

$$k_{22} = -k_{52} = \frac{-u^3s}{H} \frac{EI_{effz}}{L^3} \quad (3.37b)$$

$d_5=1$ durumu:



Şekil 3.9. Eksenel basınç kuvveti için $d_5=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem ($k^2 = \frac{N}{EI_{effz}}$):

$$y'' + k^2 y = \frac{k_{55}(L-x)}{EI_{effz}} + \frac{k_{65}}{EI_{effz}} + \frac{N}{EI_{effz}} \quad (3.38)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad y=0 \quad y'=0 \quad (3.39a)$$

$$x=L \quad y=1 \quad y'=0 \quad (3.39b)$$

Elde edilen A, B, C, D katsayıları ve diferansiyel deklemin çözümü:

$$(u=kL, c=\cos kL, s=\sin kL, H=us+2c-2)$$

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem:

$$EI_{\text{effy}} z'' = Nz + k_{78} x + k_{88} \quad (3.42a)$$

$$z'' - k^2 z = \frac{k_{78}}{EI_{\text{effy}}} x + \frac{k_{88}}{EI_{\text{effy}}} \quad (3.42b)$$

$$k^2 = \frac{N}{EI_{\text{effy}}} \quad (3.42c)$$

Diferansiyel denklemin genel çözümü :

$$z = A' \sinh kx + B' \cosh kx + C' x + D' \quad (3.43)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad z=0 \quad z'=1 \quad (3.44a)$$

$$x=L \quad z=0 \quad z'=0 \quad (3.44b)$$

Elde edilen A', B', C', D' katsayıları ve diferansiyel denklemin çözümü:

$$A' = -\frac{us - c + 1}{kH} \quad B' = -D' = \frac{uc - s}{kH} \quad C' = \frac{c - 1}{H} \quad (3.45a)$$

$$u = kL, \quad c = \cosh kL, \quad s = \sinh kL, \quad H = us - 2c + 2. \quad (3.45b)$$

$$z = \frac{-(us - c + 1) \sinh kx + (uc - s) \cosh kx + (c - 1) kx - uc + s}{kH} \quad (3.45c)$$

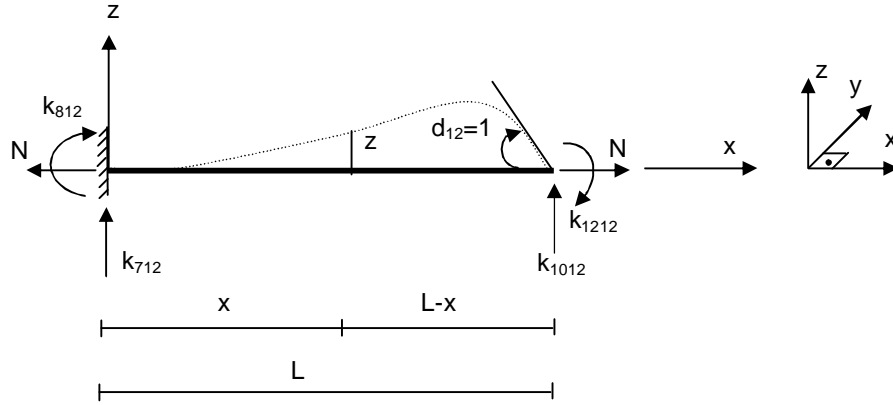
$M = EIz''(x=0, x=L)$ ve denge denklemleri aracılığı elde edilen rijitlik katsayıları:

$$k_{88} = \frac{u(uc - s)}{H} \frac{EI_{\text{effy}}}{L} \quad (3.46a)$$

$$k_{128} = \frac{u(s - u)}{H} \frac{EI_{\text{effy}}}{L} \quad (3.46b)$$

$$k_{78} = -k_{108} = \frac{k_{88} + k_{128}}{L} = \frac{u^2(1-c)}{H} \frac{EI_{effy}}{L^2} \quad (3.46c)$$

$d_{12}=1$ durumu:



Şekil 3.11. Eksenel çekme kuvveti için $d_{12}=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemannın davranışını idare eden diferansiyel denklem:

$$z'' - k^2 z = \frac{k_{1012}(L-x)}{EI_{effy}} - \frac{k_{1212}}{EI_{effy}} \quad (3.47a)$$

$$k^2 = \frac{N}{EI_{effy}} \quad (3.47b)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad z=0 \quad z'=0 \quad (3.48a)$$

$$x=L \quad z=0 \quad z'=1 \quad (3.48b)$$

Elde edilen A', B', C', D' katsayıları ve diferansiyel deklemin çözümü:

($u=kL$, $c=\cosh kL$, $s=\sinh kL$, $H=us-2c+2$)

$$A' = \frac{1-c}{kH} \quad B' = -D' = \frac{s-u}{kH} \quad C' = \frac{c-1}{H} \quad (3.49a)$$

$$z = \frac{(1-c) \sinh kx + (s-u) \cosh kx + (c-1)kx + u-s}{kH} \quad (3.49b)$$

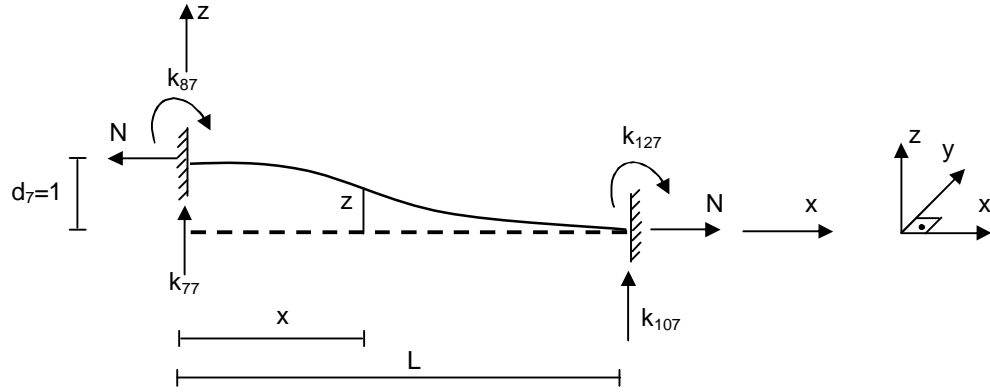
$M=EIz''(x=0, x=L)$ ve denge denklemleri aracılığı elde edilen rijitlik katsayıları:

$$k_{1212} = \frac{u(uc-s)}{H} \frac{EI_{\text{effy}}}{L} \quad (3.50a)$$

$$k_{812} = \frac{u(s-u)}{H} \frac{EI_{\text{effy}}}{L} \quad (3.50b)$$

$$k_{712} = -k_{1012} = \frac{k_{1212} + k_{812}}{L} = \frac{u^2(1-c)}{H} \frac{EI_{\text{effy}}}{L^2} \quad (3.50c)$$

$d_7=1$ durumu:



Şekil 3.12. Eksenel çekme kuvveti için $d_7=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem:

$$z'' - k^2 z = \frac{k_{77}}{EI_{\text{effy}}} x + \frac{k_{87}}{EI_{\text{effy}}} - \frac{N}{EI_{\text{effy}}} \quad (3.51a)$$

$$k^2 = \frac{N}{EI_{\text{effy}}} \quad (3.51b)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad z=1 \quad z'=0 \quad (3.52a)$$

$$x=L \quad z=0 \quad z'=0 \quad (3.52b)$$

Elde edilen A', B', C', D' katsayıları ve diferansiyel deklemin çözümü:

$$(u=kL, c=\cosh kL, s=\sinh kL, H=us-2c+2)$$

$$A' = \frac{s}{H}, \quad B' = \frac{1-c}{H}, \quad C' = \frac{-ks}{H}, \quad D' = \frac{us-c+1}{H} \quad (3.53a)$$

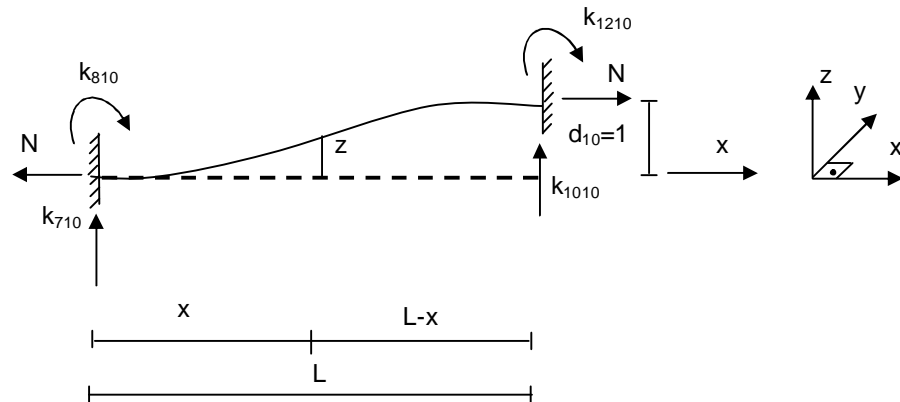
$$z = \frac{s}{H} \sinh kx - \frac{c-1}{H} \cosh kx - \frac{ks}{H} x + \frac{us-c+1}{H} \quad (3.53b)$$

$M=EIz''(x=0, x=L)$ ve denge denklemleri aracılığı elde edilen rijitlik katsayıları:

$$k_{87} = k_{127} = -\frac{u^2(c-1)}{H} \frac{EI_{effy}}{L^2} \quad (3.54a)$$

$$k_{107} = -k_{77} = -\frac{u^3 s}{H} \frac{EI_{effy}}{L^3} \quad (3.54b)$$

$d_{10}=1$ durumu:



Şekil 3.13. Aksenal çekme kuvveti için $d_{10}=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem:

$$z'' - k^2 z = \frac{k_{1010}(L-x)}{EI_{\text{effy}}} - \frac{k_{1210}}{EI_{\text{effy}}} - \frac{N}{EI_{\text{effy}}} \quad (3.55a)$$

$$k^2 = \frac{N}{EI_{\text{effy}}} \quad (3.55b)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad z=0 \quad z'=0 \quad (3.56a)$$

$$x=L \quad z=1 \quad z'=0 \quad (3.56b)$$

Elde edilen A', B', C', D' katsayıları ve diferansiyel deklemin çözümü:

$$(u=kL, c=\cosh kL, s=\sinh kL, H=us-2c+2)$$

$$A' = -\frac{s}{H}, \quad B' = \frac{c-1}{H}, \quad C' = \frac{ks}{H}, \quad D' = \frac{1-c}{H} \quad (3.57a)$$

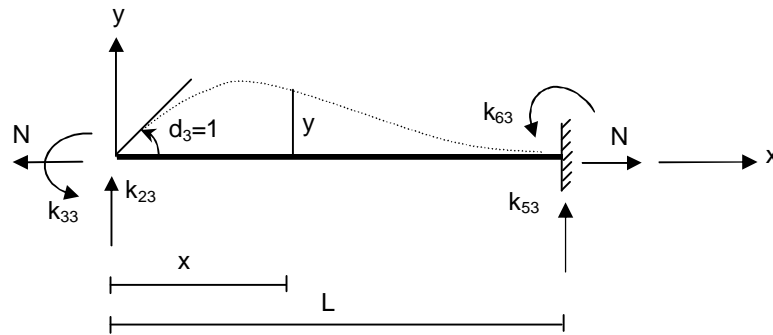
$$z = -\frac{s}{H} \sinh kx + \frac{c-1}{H} \cosh kx + \frac{ks}{H} x - \frac{c-1}{H} \quad (3.57b)$$

$M=EIz''(x=0, x=L)$ ve denge denklemleri aracılığı elde edilen rijitlik katsayıları:

$$k_{810} = k_{1210} = \frac{u^2(c-1)}{H} \frac{EI_{\text{effy}}}{L^2} \quad (3.58a)$$

$$k_{1010} = -k_{710} = \frac{u^3 s}{H} \frac{EI_{\text{effy}}}{L^3} \quad (3.58b)$$

$d_3=1$ durumu:



Şekil 3.14. Eksenel çekme kuvveti için $d_3=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem:

$$y'' - k^2 y = \frac{k_{23}}{EI_{effz}} x - \frac{k_{33}}{EI_{effz}} \quad (3.59a)$$

$$k^2 = \frac{N}{EI_{effz}} \quad (3.59b)$$

Diferansiyel denklemin genel çözümü:

$$y = A' \sinh kx + B' \cosh kx + C' x + D' \quad (3.60)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad y=0 \quad y'=1 \quad (3.61a)$$

$$x=L \quad y=0 \quad y'=0 \quad (3.61b)$$

Elde edilen A', B', C', D' katsayıları ve diferansiyel denklemin çözümü:

($u=kL$, $c=\cosh kL$, $s=\sinh kL$, $H=us-2c+2$)

$$A' = \frac{us - c + 1}{kH} \quad B' = -D' = \frac{s - uc}{kH} \quad C' = \frac{1 - c}{H} \quad (3.62a)$$

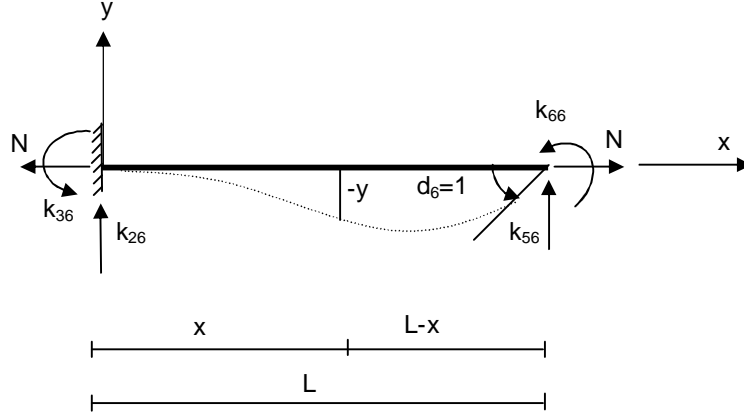
$$y = \frac{(us - c + 1) \sinh kx + (s - uc) \cosh kx + (1 - c) kx + uc - s}{kH} \quad (3.62b)$$

$M=EIy''(x=0, x=L)$ ve denge denklemleri aracılığıyla elde edilen rijitlik katsayıları:

$$k_{33} = \frac{u(uc - s)}{H} \frac{EI_{effz}}{L} \quad (3.63a)$$

$$k_{63} = \frac{u(s - u)}{H} \frac{EI_{effz}}{L} \quad (3.63b)$$

$$k_{23} = -k_{53} = \frac{k_{33} + k_{63}}{L} = \frac{u^2(c - 1)}{H} \frac{EI_{effz}}{L^2} \quad (3.63c)$$

$d_6=1$ durumu:**Şekil 3.15.** Eksenel çekme kuvveti için $d_6=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem:

$$y'' - k^2 y = \frac{k_{56}(L-x)}{EI_{effz}} + \frac{k_{66}}{EI_{effz}} \quad k^2 = \frac{N}{EI_{effz}} \quad (3.64)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad y=0 \quad y'=0 \quad (3.65a)$$

$$x=L \quad y=0 \quad y'=1 \quad (3.65b)$$

Elde edilen A', B', C', D' katsayıları ve diferansiyel denklemin çözümü:

$$(u=kL, c=coshkL, s=sinhkL, H=us-2c+2)$$

$$A' = \frac{c-1}{kH} \quad B' = -D' = \frac{u-s}{kH} \quad C' = \frac{1-c}{H} \quad (3.66a)$$

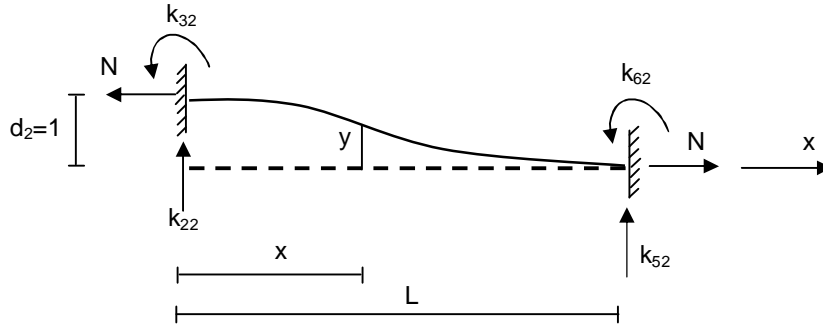
$$y = \frac{(c-1) \sinh kx + (u-s) \cosh kx + (1-c)kx - (u-s)}{kH} \quad (3.66b)$$

$M=EIy''(x=0, x=L)$ ve denge denklemleri aracılığı elde edilen rijitlik katsayıları:

$$k_{36} = \frac{u(s-u)}{H} \frac{EI_{effz}}{L} \quad k_{66} = \frac{u(uc-s)}{H} \frac{EI_{effz}}{L} \quad (3.67a)$$

$$k_{26} = -k_{56} = \frac{k_{66} + k_{36}}{L} = \frac{u^2(c-1)}{H} \frac{EI_{effz}}{L^2} \quad (3.67b)$$

d₂=1 durumu:



Şekil 3.16. Eksenel çekme kuvveti için $d_2=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem:

$$y'' - k^2 y = \frac{k_{22}}{EI_{effz}} x - \frac{k_{32}}{EI_{effz}} - \frac{N}{EI_{effz}} \quad k^2 = \frac{N}{EI_{effz}} \quad (3.68)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad y=1 \quad y'=0 \quad (3.69a)$$

$$x=L \quad y=0 \quad y'=0 \quad (3.69b)$$

Elde edilen A', B', C', D' katsayıları ve diferansiyel deklemin çözümü:

($u=kL$, $c=\cosh kL$, $s=\sinh kL$, $H=us-2c+2$)

$$A' = \frac{s}{H}, \quad B' = \frac{1-c}{H}, \quad C' = \frac{-ks}{H}, \quad D' = \frac{us-c+1}{H} \quad (3.70a)$$

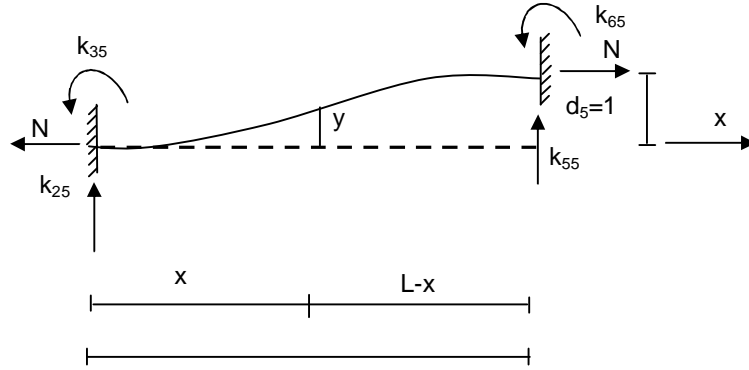
$$y = \frac{s}{H} \sinh kx + \frac{1-c}{H} \cosh kx - \frac{ks}{H} x + \frac{us-c+1}{H} \quad (3.70b)$$

$M=EIy''(x=0, x=L)$ ve denge denklemleri aracılığı elde edilen rijitlik katsayıları:

$$k_{32} = k_{62} = \frac{u^2(c-1)}{H} \frac{EI_{effz}}{L^2} \quad (3.71a)$$

$$k_{22} = -k_{52} = \frac{u^3s}{H} \frac{EI_{effz}}{L^3} \quad (3.71b)$$

d₅=1 durumu:



Şekil 3.17. Eksenel çekme kuvveti için $d_5=1$ durumunda rijitlik katsayıları

Elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem:

$$y'' - k^2 y = \frac{k_{55}(L-x)}{EI_{effz}} + \frac{k_{65}}{EI_{effz}} - \frac{N}{EI_{effz}} \quad k^2 = \frac{N}{EI_{effz}} \quad (3.72)$$

Sınır Şartları:

$$x=0 \quad y=0 \quad y'=0 \quad (3.73a)$$

$$x=L \quad y=1 \quad y'=0 \quad (3.73b)$$

Elde edilen A', B', C', D' katsayıları ve diferansiyel deklemin çözümü:

($u=kL$, $c=\cosh kL$, $s=\sinh kL$, $H=us-2c+2$)

$$A' = -\frac{s}{H}, \quad B' = \frac{c-1}{H}, \quad C' = \frac{ks}{H}, \quad D' = \frac{1-c}{H} \quad (3.74a)$$

$$y = -\frac{s}{H} \sinh kx + \frac{c-1}{H} \cosh kx + \frac{ks}{H} x - \frac{c-1}{H} \quad (3.74b)$$

$M=EIy''(x=0, x=L)$ ve denge denklemleri aracılığı elde edilen rijitlik katsayıları:

$$k_{35} = k_{65} = -\frac{u^2(c-1)}{H} \frac{EI_{effz}}{L^2} \quad (3.75a)$$

$$k_{25} = -k_{55} = -\frac{u^3s}{H} \frac{EI_{effz}}{L^3} \quad (3.75b)$$

Geometrik nonlineerlik ve çatlamların etkisi göz önünde bulundurularak, üç boyutlu bir eleman için rijitlik matrisi değerleri S ve t ifadelerine bağlı olacak şekilde genel olarak

$$\underline{k} = \begin{bmatrix} \underline{k}_{11} & \underline{k}_{12} \\ \underline{k}_{21} & \underline{k}_{22} \end{bmatrix} \quad (3.76a)$$

$$\underline{k}_{11} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2(S_z+t_z)}{L^2} - (\gamma \frac{N}{L}) & \frac{S_z+t_z}{L} & 0 & -\frac{2(S_z+t_z)}{L^2} + (\gamma \frac{N}{L}) & \frac{S_z+t_z}{L} \\ 0 & \frac{S_z+t_z}{L} & S_z & 0 & -\frac{S_z+t_z}{L} & t_z \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{2(S_z+t_z)}{L^2} + (\gamma \frac{N}{L}) & -\frac{S_z+t_z}{L} & 0 & \frac{2(S_z+t_z)}{L^2} - (\gamma \frac{N}{L}) & -\frac{S_z+t_z}{L} \\ 0 & \frac{S_z+t_z}{L} & t_z & 0 & -\frac{S_z+t_z}{L} & S_z \end{bmatrix} \quad (3.76b)$$

$$\underline{k}_{22} = \begin{bmatrix} \frac{2(S_y+t_y)}{L^2} - (\gamma \frac{N}{L}) & -\frac{S_y+t_y}{L} & 0 & -\frac{2(S_y+t_y)}{L^2} + (\gamma \frac{N}{L}) & 0 & -\frac{S_y+t_y}{L} \\ -\frac{S_y+t_y}{L} & S_y & 0 & \frac{S_y+t_y}{L} & 0 & t_y \\ 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 \\ -\frac{2(S_y+t_y)}{L^2} + (\gamma \frac{N}{L}) & \frac{S_y+t_y}{L} & 0 & \frac{2(S_y+t_y)}{L^2} - (\gamma \frac{N}{L}) & 0 & \frac{S_y+t_y}{L} \\ 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 \\ -\frac{S_y+t_y}{L} & t_y & 0 & \frac{S_y+t_y}{L} & 0 & S_y \end{bmatrix} \quad (3.76c)$$

$$\underline{k}_{21} = \underline{k}_{12} = \underline{0} \quad (3.76d)$$

$$S_m = \frac{EI_{effm} (u_m (u_m c - s))}{H_m L} \quad t_m = \frac{EI_{effm} (u_m (s - u_m))}{H_m L} \quad (3.76e)$$

$$u_m = k_m L \quad k_m = \sqrt{\frac{N}{EI_{effm}}} \quad s = \sin u \quad c = \cos u \quad m=y,z \quad (3.76f)$$

$$H_m = u_m s + (g 2c) - (g 2)$$

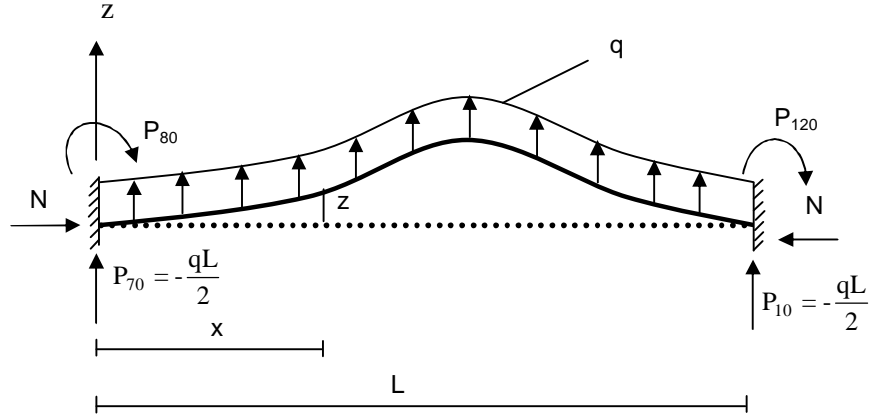
formunda elde edilmişlerdir. Bu denklemlerde, aksenal kuvvetin (N) basınç olması halinde $\gamma=1$, çekme olması halinde ise $\gamma=-1$ alınmaktadır. Yine aynı eşitliklerde aksenal kuvvetin çekme olması durumunda **sinu** ve **cosu** ifadelerinin yerini **sinhu** ve **coshu** ifadeleri almaktadır. Bununla birlikte aynı denklemlerdeki A, E ve J değerleri ise kesit alanı, elastisite modülü ve burulma atalet momentini ifade etmektedirler.

3.3.2. Yük Vektörlerinin Elde Edilmesi

İkinci mertebeye etkiler göz önünde bulundurularak düzgün yayılı yük ve ara tekil yük etkisi altındaki bir elemanda ankastrelik uç kuvvetleri, aksenal kuvvetin etki ettiği elemanın davranışını idare eden denklemin sınır şartları altında çözümünden elde edilmektedir. Aksenal kuvvetin basınç ve çekme olması durumlarına göre bu uç kuvvetleri ayrı ayrı olarak elde edilmişlerdir. (Kara İ., 2007)

3.3.2.1. Düzgün Yayılı Yük Durumu

3.3.2.1.(1). Eksenel Kuvvetin Basınç Olması Durumu ($N > 0$)



Şekil 3.18. Eksenel basınca maruz düzgün yayılı yük etkisi altındaki bir kiriş

Düzgün yayılı yüklü eksenel basınca maruz bir elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem

$$EI_{\text{effy}} z'' = M = -Nz - \frac{qL}{2}x + P_{80} + \frac{qx^2}{2} \quad (3.77)$$

formunda elde edilmekte ve bu denklemin genel çözümü

$$z = A \sin kx + B \cos kx + Cx^2 + Dx + F \quad (3.78)$$

şeklinde olmaktadır. Genel çözümden elde edilen bu denklem ve z'' ifadesi (3.77) eşitliğinde yerine koyulursa C, D ve F katsayıları

$$EI_{\text{effy}} \left[-Ak^2 \sin kx - Bk^2 \cos kx + 2C \right] = -N \left[A \sin kx + B \cos kx + Cx^2 + Dx + F \right] - \frac{qL}{2}x + P_{80} + \frac{qx^2}{2} \quad (3.79a)$$

$$2EI_{\text{effy}} C = -N \left[Cx^2 + Dx + F \right] - \frac{qL}{2}x + P_{80} + \frac{qx^2}{2} \quad (3.79b)$$

$$D = \frac{-qL}{2N} \quad C = \frac{q}{2N} \quad F = -\frac{EI_{\text{effy}} q}{N^2} + \frac{P_{80}}{N} \quad (3.80)$$

denklemlerindeki gibi elde edilmektedirler. Bu değerler de göz önünde bulundurularak genel çözümü ifade eden denklem

$$z = A\sin kx + B\cos kx + \frac{q}{2N}x^2 - \frac{qL}{2N}x - \frac{EIq}{N^2} + \frac{P_{80}}{N} - \frac{EI_{effy}q}{N^2} \quad (3.81)$$

şeklinde elde edilmektedir. A ve B katsayıları ile P_{80} değeri ise

$$x=0 \quad z=0 \quad (3.82a)$$

$$x=0 \quad z'=0 \quad (3.82b)$$

$$x=L \quad z=0 \quad (3.82c)$$

denklemlerinde verilen sınır şartları göz önünde bulundurularak ve $k^2 = \frac{N}{EI_{effy}}$ olmak üzere (3.83) ve (3.84) eşitliklerindeki gibi elde edilmektedirler.

$$B = -\frac{P_{80}}{N} + \frac{EI_{effy}q}{N^2}, \quad A = \frac{qL}{2kN} \quad (3.83)$$

$$u=kL \quad c=\cos kL \quad s=\sin kL$$

$$P_{80} = \frac{EI_{effy}q}{N} \left[1 + \frac{us}{2(c-1)} \right] = \frac{qL^2}{u^2} \left[1 + \frac{us}{2(c-1)} \right] \quad (3.84)$$

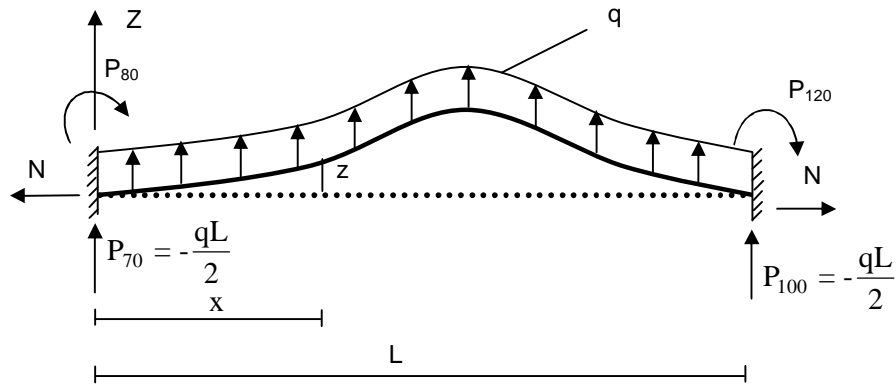
Moment dengesi de göz önünde bulundurularak P_{120} değeri

$$P_{120} = -P_{80} = -\frac{EI_{effy}q}{N} \left[1 + \frac{us}{2(c-1)} \right] = -\frac{qL^2}{u^2} \left[1 + \frac{us}{2(c-1)} \right] \quad (3.85)$$

şeklinde elde edilmektedir.

3.3.2.1.(2). Eksenel Kuvvetin Çekme Olması Durumu($N < 0$)

Düzgün yayılı yük etkisi altındaki çekme kuvvetine maruz bir elemanda ankastrelik uç kuvvetleri ise bir önceki bölümde olduğu gibi aynı işlem adımları uygulanarak elde edilmektedirler.



Şekil 3.19. Eksenel çekmeye maruz düzgün yayılı yük etkisi altındaki kiriş

Düzgün yayılı yüklü eksenel çekmeye maruz bir elemanın davranışını idare eden diferansiyel denklem

$$EI_{\text{effy}} z'' = M = Nz - \frac{qL}{2}x + P_{80} + \frac{qx^2}{2} \quad (3.86)$$

şeklinde elde edilmekte ve bu denklemin genel çözümü

$$z = A' \sinh kx + B' \cosh kx + C' x^2 + D' x + F' \quad (3.87)$$

olarak bulunmaktadır. Genel çözümden elde edilen denklem (3.90) eşitliğinde yerine koyulur ve gerekli düzenlemeler yapılırsa C' , D' ve F' katsayıları

$$C' = \frac{-q}{2N} \quad D' = \frac{qL}{2N} \quad F' = -\frac{EI_{\text{effy}} q}{N^2} - \frac{P_{80}}{N} \quad (3.88)$$

şeklinde elde edilmektedirler. Bu değerler (3.87) eşitliğinde yerine koyulursa genel çözümü ifade eden denklem

$$z = A' \sinh kx + B' \cosh kx - \frac{q}{2N} x^2 + \frac{qL}{2N} x - \frac{EI_{\text{effy}} q}{N^2} - \frac{P_{80}}{N} \quad (3.89)$$

formunda elde edilmektedir. A' ve B' katsayıları ile P₈₀ değeri

$$x=0 \quad z=0 \quad (3.90a)$$

$$x=0 \quad z'=0 \quad (3.90b)$$

$$x=L \quad z=0 \quad (3.90c)$$

verilen sınır şartları da göz önünde bulundurularak

$$u=kL \quad c=\cosh kL \quad s=\sinh kL \quad (3.91)$$

olmak üzere

$$B = \frac{EI_{\text{effy}} q}{N^2} + \frac{f_g}{N} \quad A = \frac{-qL}{2kN} \quad (3.92)$$

$$P_{80} = \frac{qL^2}{u^2} \left[\frac{us}{2(c-1)} - 1 \right] \quad (3.93)$$

şeklinde elde edilmektedirler. Moment dengesi de göz önünde bulundurularak P₁₂₀ değeri

$$P_{120} = -P_{80} = -\frac{qL^2}{u^2} \left[\frac{us}{2(c-1)} - 1 \right] \quad (3.94)$$

şeklinde elde edilmekte ve $k^2 = \frac{N}{EI_{effy}}$ olmak üzere bu diferansiyel denklemlerin genel

çözümleri aşağıdaki denklemlerdeki gibi elde edilmektedirler.

$$z_1 = A_1 \sin kx + B_1 \cos kx + C_1 x + D_1 \quad (3.97a) \quad z_2 = A_2 \sin kx + B_2 \cos kx + C_2 x + D_2$$

$$(3.97b)$$

Genel çözümden elde edilen bu denklemler ve

$$x=0 \quad z_1=0 \quad z_1'=0 \quad (3.98a)$$

$$x=a \quad z_1=y_2 \quad z_1' = z_2' \quad z_1'' = z_2'' \quad EI_{effy} z_2''' = EI_{effy} z_1''' - P \quad (3.98b)$$

$$x=L \quad z_2=0 \quad z_2'=0 \quad (3.98c)$$

şeklinde verilen sınır koşulları göz önünde bulundurularak;

$$(A_2 - A_1) \sin ka + (B_2 - B_1) \cos ka + (C_2 - C_1)a + D_2 - D_1 = 0 \quad (3.99a)$$

$$(A_2 - A_1) k \cos ka - (B_2 - B_1) k \sin ka + C_2 - C_1 = 0 \quad (3.99b)$$

$$-(A_2 - A_1) k^2 \sin ka - (B_2 - B_1) k^2 \cos ka = 0 \quad (3.99c)$$

$$-(A_2 - A_1) k^3 \cos ka + (B_2 - B_1) k^3 \sin ka = \frac{P}{EI} \quad (3.99d)$$

$$A_2 \sin kL + B_2 \cos kL + C_2 L + D_2 = 0 \quad (3.99e)$$

$$A_2 k \cos kL - B_2 k \sin kL + C_2 = 0 \quad (3.99f)$$

$$A_1 k + C_1 = 0 \quad (3.99g)$$

$$B_1 + D_1 = 0 \quad (3.99h)$$

(3.99a-h) denklemleri elde edilmektedirler. Bu denklemlerin çözümünden elde edilen katsayılar (3.97a) eşitliğinde yerine konur ve elde edilen değerler (3.96a) denkleminde yerine koyularak $x=0$ noktasında çözümünden P_{80} değeri, aynı denklemin türevi

alınarak aynı noktada ($x=0$) çözümünden de P_{70} değeri elde edilmektedir. $u=kL$, $H=us+2c-2$, $a=dL$ ve $b=1-d$ olmak üzere

$$P_{80} = -\frac{NL}{uH} (\text{bucosu} - \sin u + \sin du + \sin bu - u \cos bu + du) \quad (3.100)$$

şeklinde elde edilmektedir. P_{100} ve P_{120} değerleri ise denge denklemleri aracılığı ile elde edilmektedirler.

Tekil yük etkisi altındaki çekme kuvvetine maruz bir elemanda ankastrelik uç kuvvetleri ise aynı işlem adımları uygulanarak ilk etapta $u=kL$, $H=us-2c+2$, $a=dL$ ve $b=1-d$ olmak üzere

$$P_{80} = -\frac{NL}{uH} (\text{bucoshu} - \sin hu + \sinh du + \sinh bu - u \cosh bu + du) \quad (3.101)$$

değeri elde edilmektedir. Yük vektörünün diğer terimleri ise aksenal basınç durumundaki gibi, benzer işlem adımları uygulanarak ve denge denklemleri aracılığı ile elde edilmektedirler.

3.3.3. Bilgisayar Programı

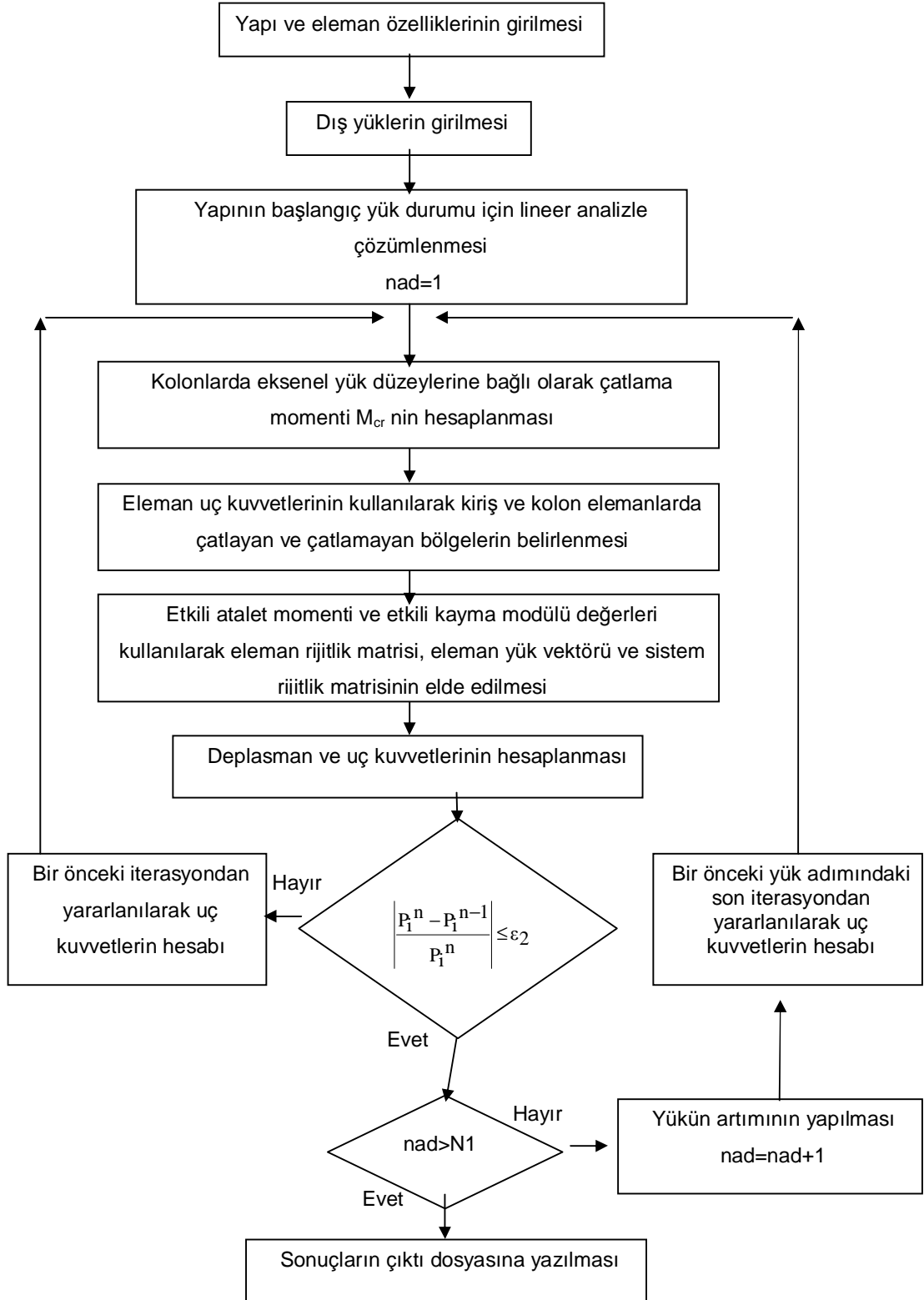
Çatlamalar ve ikinci mertebe etkiler göz önünde bulundurularak Dünder C. ve Kara İ. tarafından oluşturulan bilgisayar programı Fortran 77 dilinde yazılmış olup akış diyagramı Şekil 3.21'de gösterilmiştir. (Kara İ., 2007)

Programda, yükler yapıya adım adım uygulanıp her yük adımında iteratif işlemlere başvurulmaktadır. İlk yük adımının başlangıcında yapı lineer elastik analiz göz önünde bulundurularak çözümlenmekte ve bu çözümlene sonucunda kiriş ve kolon elemanlarda oluşan moment değerlerine bağlı olarak çatlayan ve çatlamayan bölgeler belirlenip geliştirilen formülasyonlar ışığı altında deplasmanlarla eleman uç kuvvetleri elde edilmektedir. Her iterasyonda sonuca daha çabuk ve kolay ulaşılabilmesi için bu iterasyondan önceki iterasyonlardaki uç kuvveti değerlerinin ortalaması kullanılarak çözümlenmeler yapılmaktadır. Her yük adımında birbirini izleyen iki iterasyondaki eleman uç kuvvetleri arasındaki belirlenen yakınsaklığın sağlanması durumunda iterasyonlara son verilmekte ve diğer yük adımına geçilmektedir.

Programda,

$$\left| \frac{P_i^n - P_i^{n-1}}{P_i^n} \right| \leq \varepsilon_2 \quad (3.102)$$

şeklinde yakınsaklık kriterleri tanımlanmıştır. Bu denklemdeki ε_2 eleman uç kuvvetleri arasındaki yakınsaklık kriterini, n iterasyon numarasını, P_i^n ve P_i^{n-1} yük adımı içerisindeki (n). ve ($n-1$). iterasyonlarda elemanda oluşan uç kuvveti değerlerini ifade etmektedirler. (Kara İ., 2007)



Şekil 3.21. Bilgisayar programı akış diyagramı

3.3.3.1. Bilgisayar Programı Hazırlama Klavuzu

Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme yapıda kiriş ve kolonlardaki çatlamlar göz önünde bulundurularak geliştirilen bilgisayar programı 11 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler sırasıyla;

1. Ana program
2. “Input” Data dosyasının okunması
3. “Tx” Her eleman için transformasyon matrisinin hesabı
4. “Kontroll” Yapıyı oluşturan kiriş elmanlarında oluşabilecek çatlaman ve çatlama olmayan bölgelerin belirlenmesi
5. “Beamcoll” Elemanlara ait rijitlik matrisinin elde edilmesi
6. “Sistem” Sistem rijitlik matrisi ve sistem yük vektörünün oluşturulması
7. “Bansol” Yapıya ait sistem denkleminin çözülerek sistem deplasmanlarının elde edilmesi
8. “Bcforce” Elemanlara ait uç kuvveti değerlerinin elde edilmesi
9. “Kontrol2” Birbirini izleyen iki iterasyondaki eleman uç kuvvetleri arasındaki yakınsaklığın elde edilmesi
10. “Hava” Eleman uç kuvvetlerinin çıktı dosyasına yazılması
11. “Ndisp” Her elemana ait elde edilen deplasmanların çıktı dosyasına yazılması

Bu bölümler gerektiğinde ana program tarafından çağrılarak işlemlere devam edilmektedir.(Kara İ., 2007)

Geliştirilen programda, veri girişi herhangi bir editör yardımıyla hazırlanabilen ve data bloklarından oluşan data dosyası ile yapılmaktadır. Data dosyası genel bilgiler, eleman özellikleri, koordinatlar, mesnet şartları ve yükler bölümlerinden oluşmuştur. Çatlamlarla birlikte ikinci mertebe etkiler göz önünde bulundurularak geliştirilen yöntemde, elemanların etkili atalet momentlerinin hesabında olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli kullanılmış ve analizde kayma deformasyonları etkisi göz önünde bulundurulmamıştır.

Bu data bloğuna

N_p N_m I_{ck} I_{kk} E_{st} G_n

şeklinde,

N_p :Yapıdaki toplam düğüm sayısı

N_m : Yapıdaki toplam eleman sayısı

I_{ck} : Çatlamayı kontrol eden parametre

E_{st} : Çeliğin elastisite modülü

G_n : Geometrik nonlinearlik etkisini kontrol eden parametre

değerleri girilmektedir.

Analizde yazılan 1 değerinin anlamı, çatlamayı ve geometrik nonlinearlik etkisi göz önünde bulundurulacaktır. Eğer bu değerler sıfır olarak girilirse, çatlama ve/veya geometrik nonlinearlik etkisi analizde göz önünde bulundurulmayacaktır.

Data bloğuna girilecek eleman özellikleri aşağıdaki sırayla girilecektir.

K I_d J_d M_i M_j B_w H P_p E_m F_{ctk} A_s A_{sp} N_b N_c A_{sgv}

Buradaki,

K : Eleman numarası

I_d : Elemanın i ucunun düğüm numarası

J_d : Elemanın j ucunun düğüm numarası

m_i : elemanın bağlı bulunduğu i ucunun master noktası düğüm numarası

m_j : elemanın bağlı bulunduğu j ucunun master noktası düğüm numarası

b_w : Kesit genişliği

H : Kesit yüksekliği

p_p : Paspayı

E_m : Betonun elastisite modülü

F_{ctk} : Betonun karakteristik çekme dayanımı

A_s : Kesitteki çekme donatısı alanı

A_{sp} : Kesitteki basınç donatısı alanı

N_b : Basınç donatısı sayısı

N_c : Çekme donatısı sayısı

A_{sgv} : Kesitteki gövde donatısı alanı

Koordinatlar data bloğunda bilgi girişi iki şekilde olmaktadır.

Eğer düğüm noktalarının koordinatlarını herhangi bir şekilde türetme imkanı yoksa,

$$K1 \text{ Pkoor1} \text{ Pkoor2} \text{ Pkoor3}$$

şeklinde, elemanın düğüm numarası ve o düğümün x, y ve z koordinatları girilmektedir.

Koordinatları türetme imkânı varsa,

$$K1 \text{ K2} \text{ R} \text{ X} \text{ Y} \text{ Z} \text{ U}$$

şeklinde,

K1: Türetmesi yapılacak ilk düğümün numarası

K2: Türetmesi yapılacak son düğümün numarası

R: Türetme miktarı

X: Türetmesi yapılacak düğümün x koordinatı

Y: Türetmesi yapılacak düğümün y koordinatı

Z: Türetmesi yapılacak düğümün z koordinatı

U: Türetmesi yapılacak düğüm noktaları arası uzaklık

değerleri girilmektedir. Burada doğrusal bir türetme yapılabilmekte ve türetmesi yapılacak düğüm noktalarının bir doğru üzerinde bulunması ve ara mesafelerinin eşit olması gerekmektedir.

Data bloğunun bu bölümünde, düğüm numarası ve o düğümün mesnet şartlarını ifade eden değerler girilmektedir. Bilgi girişi düğümlerin mesnet şartlarında türetme olup olmamasına bağlı olarak iki şekilde yapılmaktadır.

Eğer türetme söz konusu değilse düğüm numarası ve o düğümün mesnet şartlarını belirten değerler girilmektedir.

Düğümlerin mesnet şartlarını türetme imkanı varsa,

$$R1 \text{ R2} \text{ Rm} \text{ Rx} \text{ Ry} \text{ Rz} \text{ Rxx} \text{ Ryy} \text{ Rzz}$$

şeklinde,

R1: Türetmesi yapılacak ilk düğümün numarası

R2: Türetmesi yapılacak son düğümün numarası

Rm: Türetme miktarı

Rx: Türetmesi yapılacak düğümün x yönündeki deplasmanını ifade eden mesnet şartı

Ry: Türetmesi yapılacak düğümün y yönündeki deplasmanını ifade eden

mesnet şartı

Rz: Türetmesi yapılacak düğümün z yönündeki deplasmanını ifade eden

mesnet şartı

Rxx: Türetmesi yapılacak düğümün x eksenini etrafındaki dönmesini ifade eden mesnet şartı

Ryy: Türetmesi yapılacak düğümün y eksenini etrafındaki dönmesini ifade eden mesnet şartı

Rzz: Türetmesi yapılacak düğümün z eksenini etrafındaki dönmesini ifade eden mesnet şartı

değerleri girilmektedir.

Data bloğunda bilgi girişindeki yükler kısmı ise yayılı yükler ve düğüm yükleri olmak üzere iki şekilde ele alınmaktadır. Elemanlar üzerine gelen yayılı yükler birbirine eşit oldukları zaman bu değerler türetme yapılarak aşağıdaki gibi girilebilir.(Kara İ., 2007)

Kb Ks Kt Yyukb Tekb Ai Yyart Tekart N1

Buradaki,

Kb: Türetmesi yapılacak ilk elemanın numarası

Ks: Türetmesi yapılacak son elemanın numarası

Kt: Türetme miktarı

Yyukb: Eleman üzerindeki yayılı yükün başlangıç değeri

Tekb: Elemana etkiyen tekil yükün başlangıç değeri

Ai: Tekil yükün sol mesnetten olan uzaklığı

Yyart: Yayılı yük artım değeri

Tekart: Tekil yük artım değeri

N1: Yük adım sayısı

değerleridir.

Eğer türetme sözkonusu değilse

K1 Yyukb Tekb Ai Tekart Yyart N1

formunda, değerleri girilmektedir. Yükler data bloğunun düğüm yükleri bölümünde ise;

Ky Y1 Y2 Y3 Y4 Y5 Y6 Y1art Y2art Y3art Y4art Y5art Y6art

şeklinde,

Ky: Düğüm Numarası

Y1: Düğüme x yönünde etkiyen kuvvetin başlangıç değeri

Y2: Düğüme y yönünde etkiyen kuvvetin başlangıç değeri

Y3: Düğüme z yönünde etkiyen kuvvetin başlangıç değeri

Y4: Düğüme etkiyen burulma momentin başlangıç değeri

Y5: Düğüme etkiyen y eksenini etrafındaki eğilme momentinin başlangıç değeri

Y6: Düğüme etkiyen z eksenini etrafındaki eğilme momentinin başlangıç değeri

Y1art: Düğüme x yönünde etkiyen kuvvetin artım değeri

Y2art: Düğüme y yönünde etkiyen kuvvetin artım değeri

Y3art: Düğüme z yönünde etkiyen kuvvetin artım değeri

Y4art: Düğüme etkiyen burulma momentin artım değeri

Y5art: Düğüme etkiyen y eksenini etrafındaki eğilme momentinin artım değeri

Y6art: Düğüme etkiyen z eksenini etrafındaki eğilme momentinin artım değeri

sırasıyla girilmektedirler.(Kara İ., 2007)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Giriş

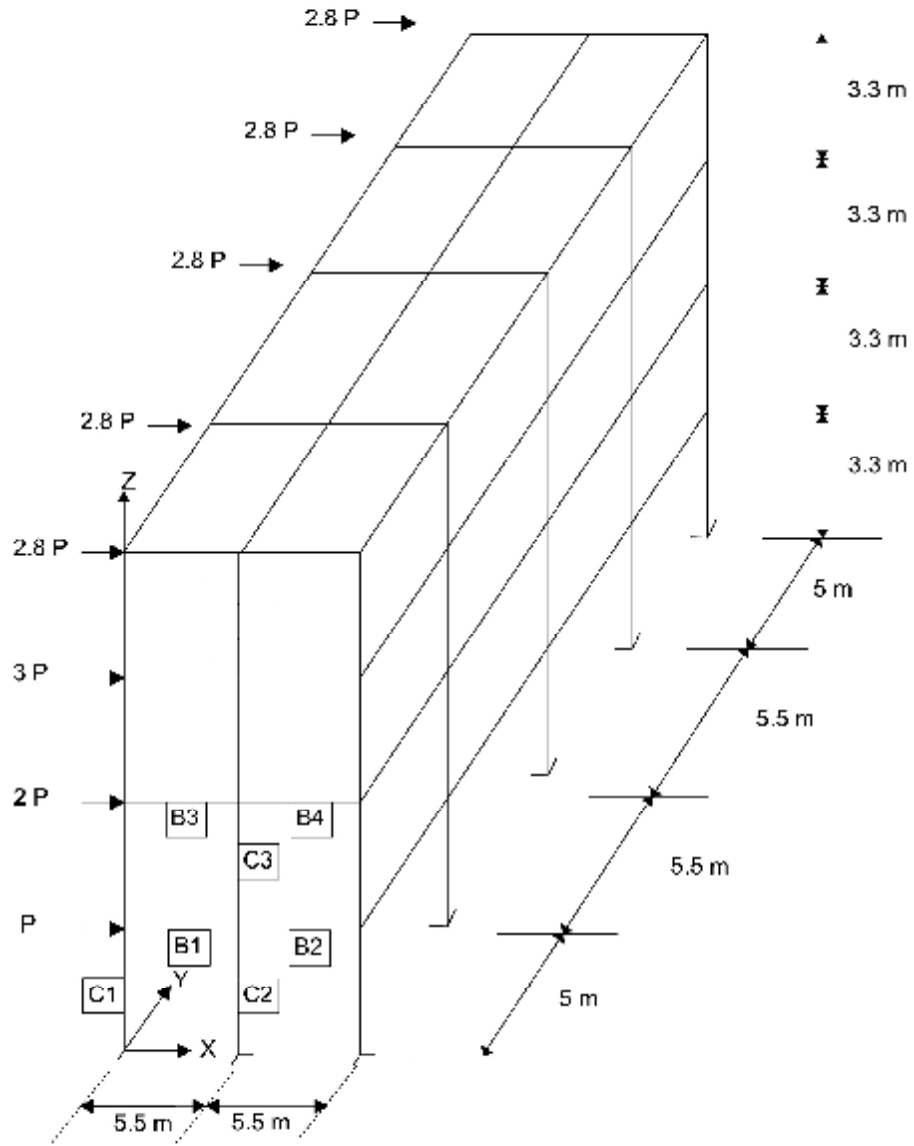
Bu bölümde, betonarme çerçeve modelleri düşey yükler sabit kalırken, yatay yükler başlangıçtan belli bir değere kadar arttırılıp daha önceden Dündar C. ve Kara İ. (2006) tarafından geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile çözümlenmiş ve elde edilen yatay deplasmanların yatay yüklerin artmasına bağlı olarak lineer analiz sonuçlarına göre nasıl bir değişim gösterdiği görülmeye çalışılmıştır.

Ayrıca çatlama ile birlikte geometrik nonlineerlik etkisinin yapı davranışı üzerine olan etkisi irdelenmiştir. Değişik kat ve boyutlara sahip üç boyutlu betonarme çerçeve örnekleri eşdeğer deprem yüküne göre elde edilen ve katların ilgili düğüm noktalarına etkileyen yatay yükler belirli oranlarda arttırılıp azaltılarak gerek lineer analizle gerekse çatlama ile ve ikinci mertebeye etkilerin göz önünde bulundurulması durumunda yapıda oluşan maksimum rölatif yatay ötelemelerin uygulanan yatay yüklere göre değişimi incelenmiş ve TDY’de verilen sınır değerlerini aşıp aşmadığı kontrol edilmiştir.

4.2. Örnekler

4.2.1. Örnek 1

Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki dört katlı betonarme çerçeve örneği geometrik nonlineerlik ve çatlama ile etkisi göz önünde bulundurularak geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile analiz edilmiştir. (Şekil 4.1). Betonarme çerçevenin elemanlarına ait özellikler ve yüklemeye ait bilgiler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

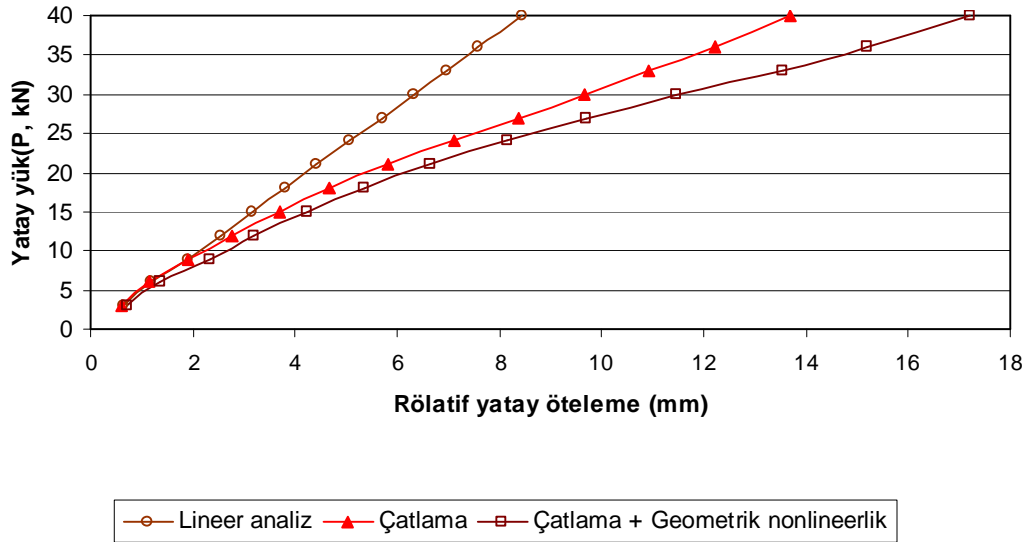


Şekil 4.1. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki dört katlı betonarme çerçeve örneği

Çizelge 4.1. Betonarme çerçeve örneği ile ilgili gerekli bilgiler

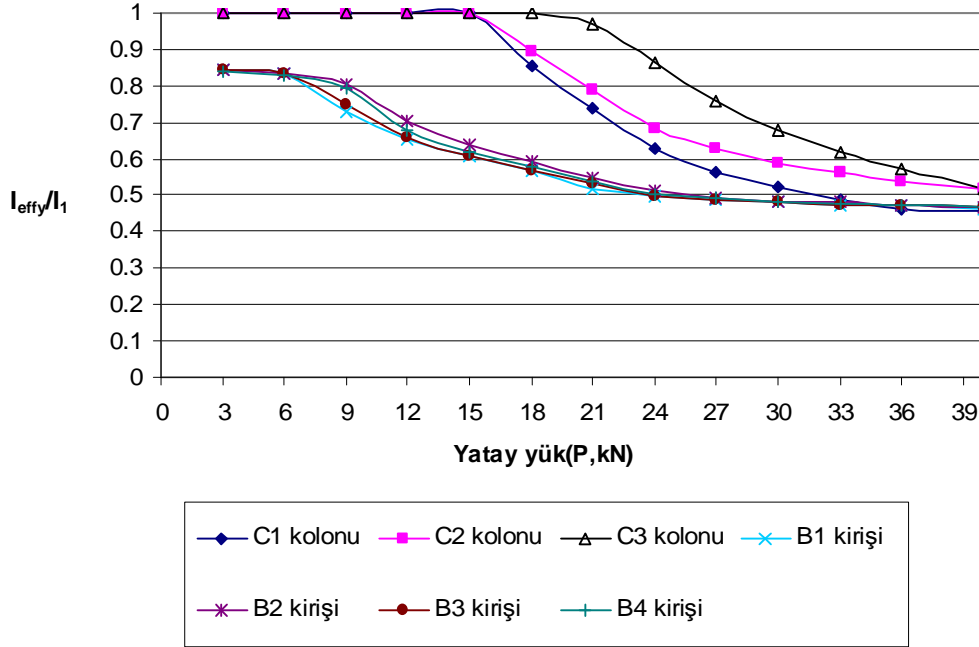
	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat
Kolon Boyutları (mm*mm)	500x500	500x500	500x500	400x400
Kiriş Boyutları (mm*mm)	300x500	300x500	300x500	300x500
Düşey Yükler (kN/m)	30	30	30	24

Betonarme çerçeve, kirişler üzerinde bulunan düşey yükler sabit kalırken P'ye bağlı olarak ifade edilen yatay yük başlangıçtan 40 kN'a kadar artırılarak çatlama ve ikinci mertbe etkiler göz önünde bulundurularak analiz edilmiştir. Lineer elastik model ve çatlama ve ikinci mertbe etkiler göz önünde bulundurularak, yapıda oluşan maksimum rölatif yatay ötelemenin uygulanan yatay yüke göre değişimi Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

**Şekil 4.2.** Maksimum rölatif yatay ötelemenin uygulanan yatay yüke göre değişimi

Grafikten anlaşıldığı üzere, lineer analiz sonucu elde edilen değerlerle, çatlama ve geometrik nonlineerlik etkisi göz önüne alındığında aralarında büyük farklılıklar görülmektedir. Yükün artmasına bağlı olarak yapılan analizde P=40 kN olduğu durumda bu fark %95 olarak elde edilmiştir.

Şekilden sadece çatlamların etkisi göz önünde bulundurularak elde edilen deplasmanlarla, çatlamlar ve ikinci mertebeye etkiler göz önünde bulundurularak elde edilen deplasmanlar arasındaki farkın yatay yükün artmasına bağlı olarak daha da arttığı ve yatay yük değerinin $P=40$ kN olduğu düzeyde ise bu farkın yaklaşık olarak %20'ye ulaştığı görülmektedir.



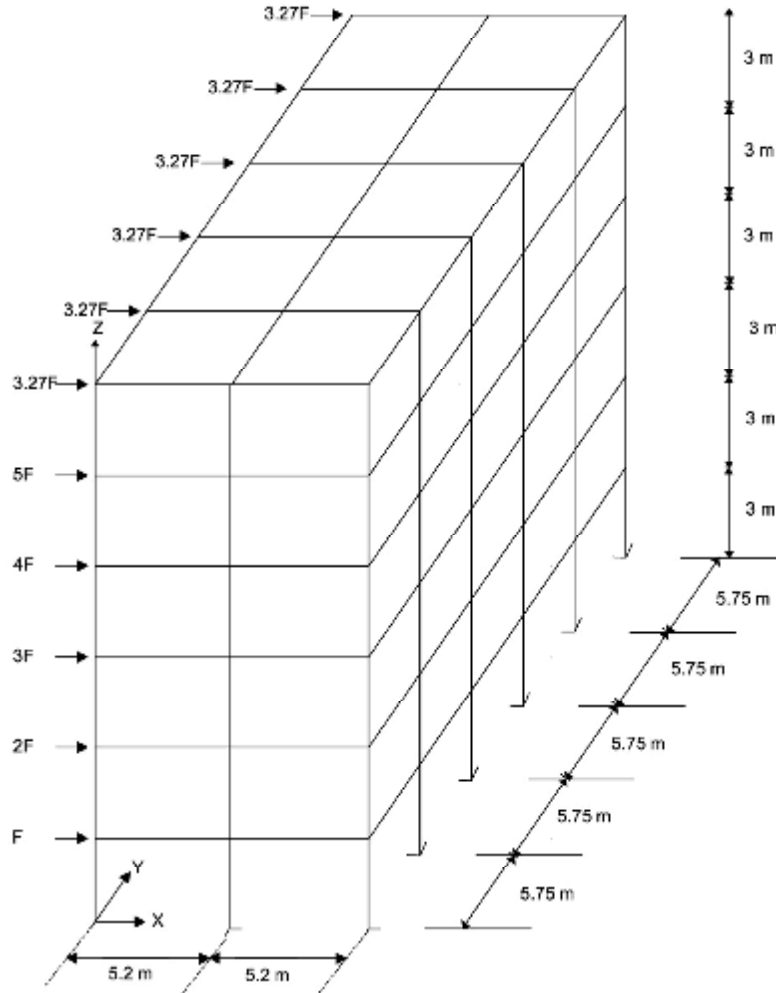
Şekil 4.3. Kiriş ve kolonların etkili atalet momentlerinin yatay yüke göre değişimi

Şekil 4.3'de betonarme yapıya uygulanan yatay yükün artmasına bağlı olarak değişik elemanların etkili atalet momentindeki değişimler gösterilmiştir.

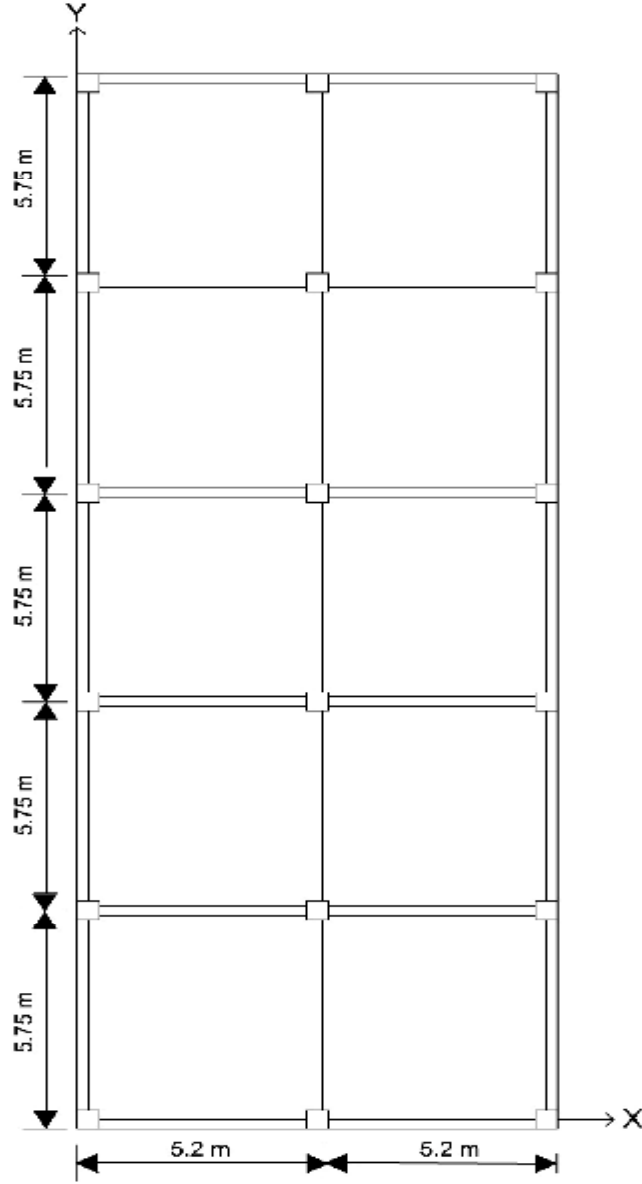
Yukarıdaki grafikten de anlaşıldığı üzere, B1 ve B2 kiriş elemanlarının atalet momentlerinin çatlama kesit atalet momentlerinin yaklaşık olarak %50'sine eşit olduğu anda C1 ve C2 kolonlarının atalet momenti sırasıyla çatlama kesit atalet momentlerinin %57 ve %64'üne eşit olduğu görülmüştür.

4.2.2. Örnek 2

Bu örnekte, yatay ve düşey yükler etkisi altında gerek lineer analizle gerekse çatlama ve ikinci mertebeye etkiler göz önünde bulundurularak betonarme çerçeve örneği geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile analiz edilmiştir. Betonarme çerçeve Şekil 4.4'te görüldüğü gibi her iki yönde simetrik olmak üzere 6 katlı olarak modellenmiştir. Çerçeve modeline ait elemanların özellikleri ve üzerine uygulanan yatay yükler Çizelge 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.4. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçeve örneği



Şekil 4.5. 2. Örneğe ait normal kat planı (m)

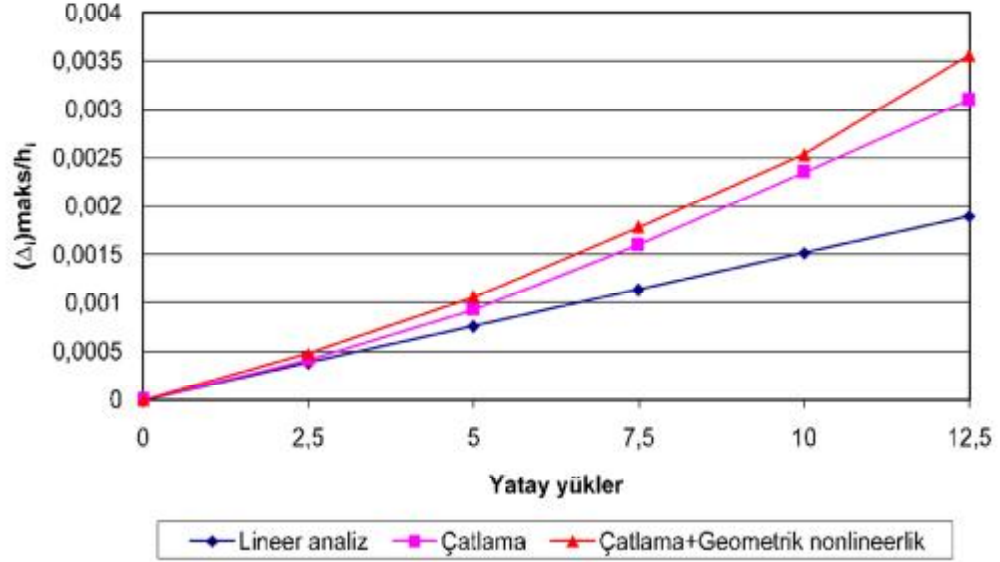
Çizelge 4.2. Betonarme çerçeve örneğine ait bilgiler

	Kolon boyutları (mm*mm)	Kiriş boyutları (mm*mm)	Kat yükseklikleri (mm)	Yatay yükler (kN)
1. Kat	500x500	250x500	3000	12.5
2. Kat	500x500	250x500	3000	25
3. Kat	500x500	250x500	3000	37.5
4. Kat	500x500	250x500	3000	50
5. Kat	500x500	250x500	3000	62.5
6. Kat	500x500	250x500	3000	40.88
R=8 (Süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve sistemi)				

Düşey yükler sabit kalırken yatay yükler F' 'ye bağlı ifade edilen şekilde başlangıçtan 12.5 kN'a kadar arttırılmıştır (Çizelge 4.3). Bu değerlere bağlı olarak yapı analiz edildiğinde elde edilen değerler Şekil 4.6' da gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Yatay yüklere bağlı olarak analiz sonucunda oluşan görel kat ötelemeleri

Yatay yükler F (kN)	Lineer Analiz $(D_i)_{maks.}/h_i$	Lineer Olmayan Analiz	
		$(D_i)_{maks.}/h_i$ (Çatlama)	$(D_i)_{maks.}/h_i$ (Geometrik nonlineerlik+Çatlama)
0	0	0	0
2.5	0.000380	0.000413	0.000478
5	0.000759	0.000933	0.001062
7.5	0.001139	0.001596	0.001782
10	0.001519	0.002350	0.002534
12.5	0.001898	0.003100	0.003560



Şekil 4.6. $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ 'nin yatay yüklere göre değişimi ($i=2$)

Lineer analiz sonucu elde edilen maksimum rölatif yatay öteleme değerleriyle, çatlama ve geometrik nonlineerlik etkilerinin göz önüne alınmasıyla elde edilen değerler arasında büyük farklılıklar oluşmaktadır. Sadece çatlamanın etkisine bakıldığında, bu fark lineer analize göre % 63 iken geometrik nonlineerlik ile çatlamanın birlikte etki ettiği durumda ise bu değer %88 e yükselmiştir.

Düşey yükler sabit kalırken X eksenini doğrultusunda, yükler %10,%20 ve %30 olarak artırılıp azaltılıp uygulandığında lineer analiz sonucu elde edilen değerlerle birlikte elde edilen lineer olmayan analiz değerleri Çizelge 4.4' de belirtildiği gibidir.

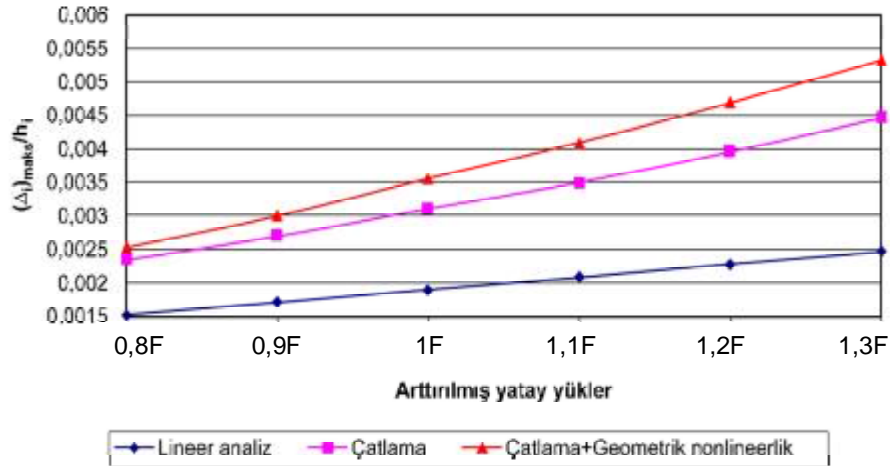
Çizelge 4.4. Lineer ve nonlinear analiz sonucu elde edilen görel kat ötelemeleri

Yük Katsayıları	Lineer Analiz ($(D_i)_{maks}/h_i$)	Lineer Olmayan Analiz	
		($(D_i)_{maks}/h_i$) (Çatlama)	($(D_i)_{maks}/h_i$) (Geometrik nonlinearlik+Çatlama)
0.8	0.001519	0.00235	0.00253
0.9	0.001709	0.00270	0.00300
1	0.001898	0.00310	0.00356
1.1	0.002088	0.00350	0.00409
1.2	0.002278	0.00396	0.00469
1.3	0.002468	0.00446	0.00533

TDY’de istenen sınır şartları:

$$(\Delta_i)_{maks}/h_i \leq 0.0035$$

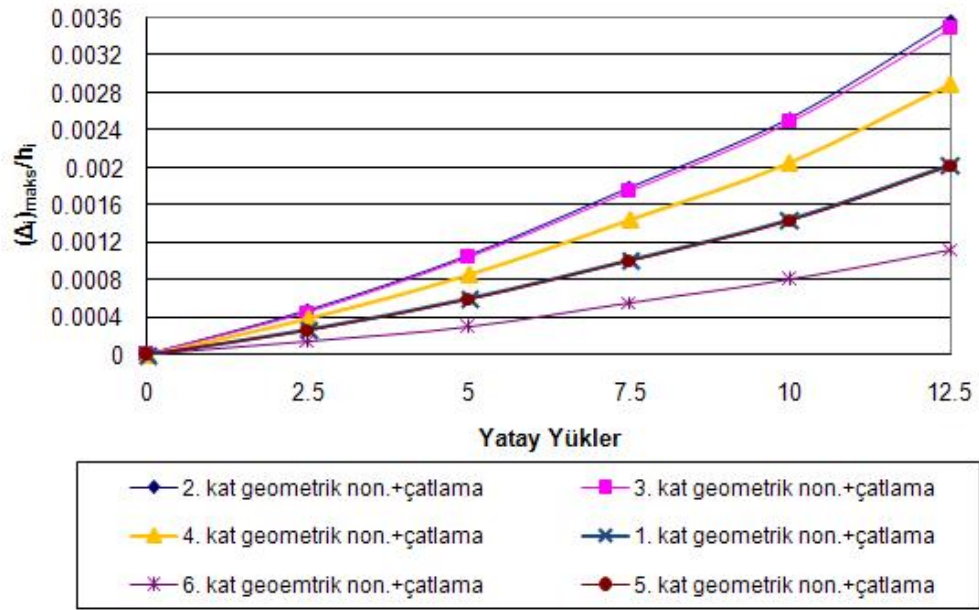
$$(\Delta_i)_{maks}/h_i \leq 0.02 / R = 0.0025$$

**Şekil 4.7.** ($(\Delta_i)_{maks}/h_i$) ‘nin artırılmış yatay yüklere göre değişimi

Şekil 4.7’ de görüldüğü üzere, etki eden yatay yüklerden dolayı lineer analiz sonucu elde edilen görel kat ötelemelerini ifade eden oranlar, tüm yatay yük katsayıları (ilgili düğüm noktalarına etkiyen 0.8F, 0.9F, F, 1.1F, 1.2F, 1.3F yatay yükleri) için TDY’de belirtilen sınır şartlarını sağlamaktadır.(F: ilgili düğüm noktalarına etkiyen yatay yükler)

Çatlamlar ve çatlama-geometrik nonlineerlik etkisi göz önünde bulundurularak elde edilen maksimum rölatif yatay ötelemeler ise TDY sınır şartını aştığı gözlemlenmiştir. (Şekil 4.7)

Ayrıca çalışmada geometrik nonlineerlik ve çatlama göz önünde bulundurularak katların birbirlerine göre nasıl bir değişim gösterdiği de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.8 üzerinde gösterilmiştir.

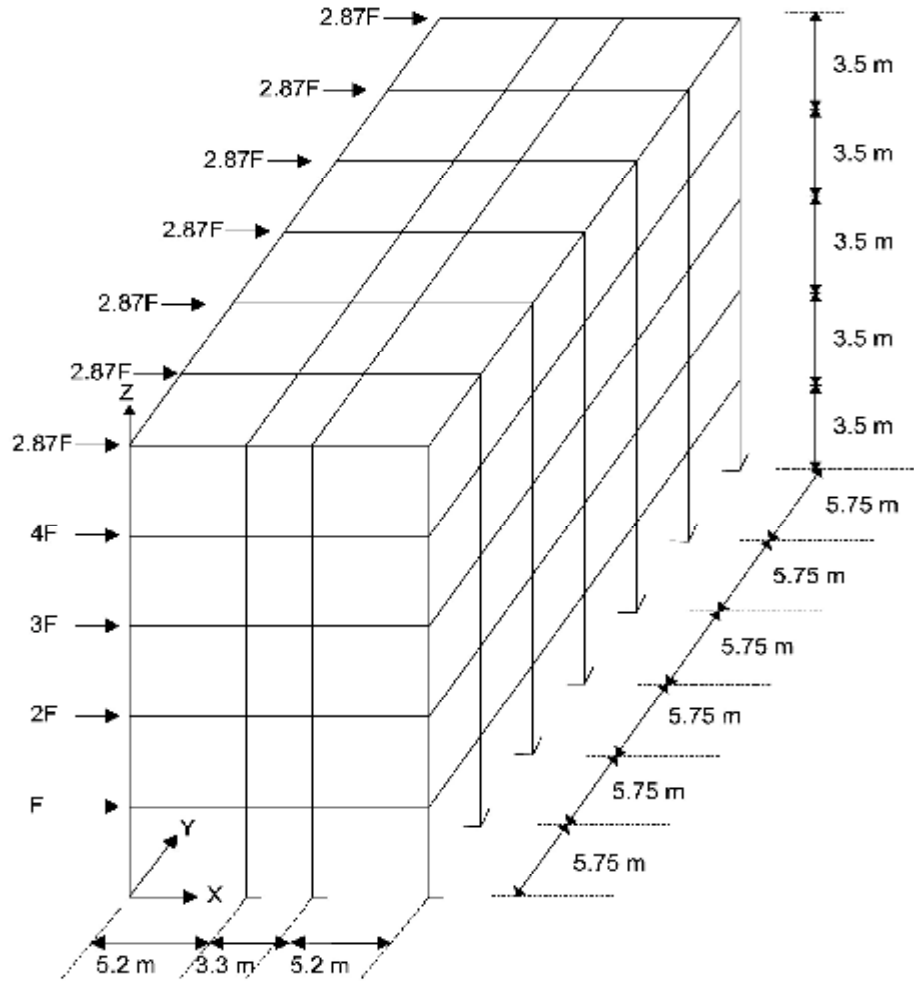


Şekil 4.8. $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ ' nin yatay yüklere göre değişimi (i=1,6)

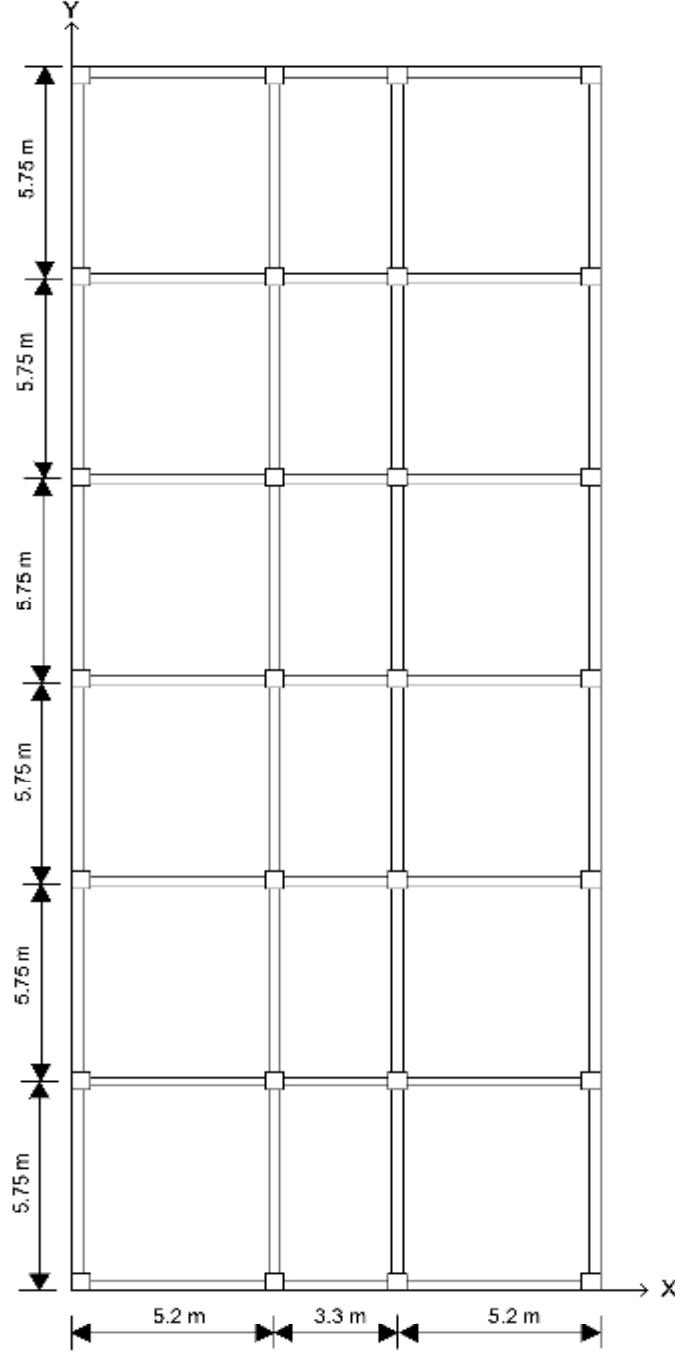
4.2.3. Örnek 3

Bu örnekteki çerçeve modeli ise, bir yönde 3 diğer yönde 6 açıklıklı olmak üzere 5 katlı olarak oluşturulmuş, yatay ve düşey yükler etkisi altında, gerek lineer gerekse kiriş ve kolonlardaki çatlamlar göz önünde bulundurularak daha önceden geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla çözülmüştür.

Yapı sisteminde, ilgili düğüm noktalarına etkiyen yatay yükler, belli oranlarda değiştirilerek (%10, %20 ve %30 artırılıp azaltılarak) analiz edilmiş ve elde edilen deplasman değerleri TDY'de belirtilen ilgili kontrollere göre değerlendirilip grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçeve örneği



Şekil 4.10. 3. Örneğe ait normal kat planı (m)

Çerçeve modeline ait elemanların özellikleri ve üzerine uygulanan yatay yükler Çizelge 4.5 'te verilmiştir.

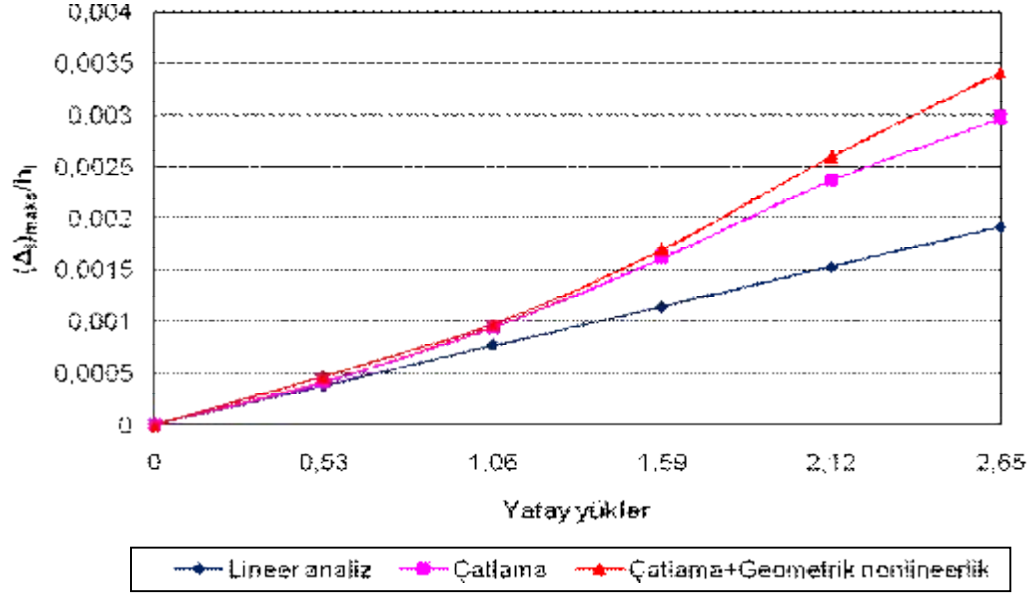
Çizelge 4.5. Betonarme çerçeve örneğine ait bilgiler

	Kolon boyutları (mm*mm)	Kiriş boyutları (mm*mm)	Kat yükseklikleri (mm)	Yatay yükler (ton)
1. Kat	500x500	300x500	3500	2.65
2. Kat	500x500	300x500	3500	5.3
3. Kat	500x500	300x500	3500	7.95
4. Kat	450x450	300x500	3500	10.6
5. Kat	450x450	300x500	3500	7.61
R=8 (Süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve sistemi)				

Betonarme çerçeve örneği, düşey yükler sabit kalırken, F'e bağlı olarak ifade edilen yatay yükler başlangıçtan 2.65 ton'a kadar artırılarak analiz edilmiştir. (Çizelge 4.6) Analizde çatlama ve ikinci mertebe etkiler göz önüne alınarak çözüm yapılmış ayrıca lineer analiz yapılarak elde edilen değerler grafik üzerinde gösterilmiştir.(Şekil 4.11)

Çizelge 4.6. Yatay yüklere bağlı olarak analiz sonucunda oluşan göreceli kat ötelemeleri

Yatay yükler F(ton)	Lineer Analiz $(D_i)_{maks}/h_i$	Lineer Olmayan Analiz	
		$(D_i)_{maks}/h_i$ (Çatlama)	$(D_i)_{maks}/h_i$ (Geometrik nonlineerlik+Çatlama)
0	0	0	0
0.53	0.000383	0.00041	0.00046
1.06	0.000766	0.00094	0.00098
1.59	0.001149	0.00161	0.00170
2.12	0.001532	0.00237	0.00260
2.65	0.001915	0.00297	0.00341



Şekil 4.11. $(\Delta_i)_{\max}/h_i$ 'nin yatay yüklere göre değişimi (i=2)

Grafikten de anlaşılacağı üzere, lineer sonucu elde edilen maksimum rölatif yatay öteleme değerleriyle, çatlama ve geometrik nonlineerlik etkilerinin göz önüne birlikte alınmasıyla elde edilen değerler arasında büyük farklılıklar oluşmaktadır. Sadece çatlamanın etkisine bakıldığında bu fark lineer analize göre % 55 olmakta geometrik nonlineerlik ile çatlamanın birlikte etki ettiği durumda ise bu değer %78 e yükselmektedir. Bu da analizlerde daha gerçekçi sonuca ulaşılabilmesi açısından bu etkilerin göz önüne alınması gerektiğini ortaya koyar.

X eksenini doğrultusundaki yatay yüklerden dolayı lineer analiz sonucu elde edilen görel kat ötelemelerini ifade eden oranlar, tüm yatay yük katsayıları (ilgili düğümlere etki eden 0.8F, 0.9F, F, 1.1F, 1.2F, 1.3F yatay yükleri) için TDY'de belirtilen sınır şartları sağlamaktadır. (F: ilgili düğüm noktalarına etkiyen yatay yükler) Elde edilen değerler Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

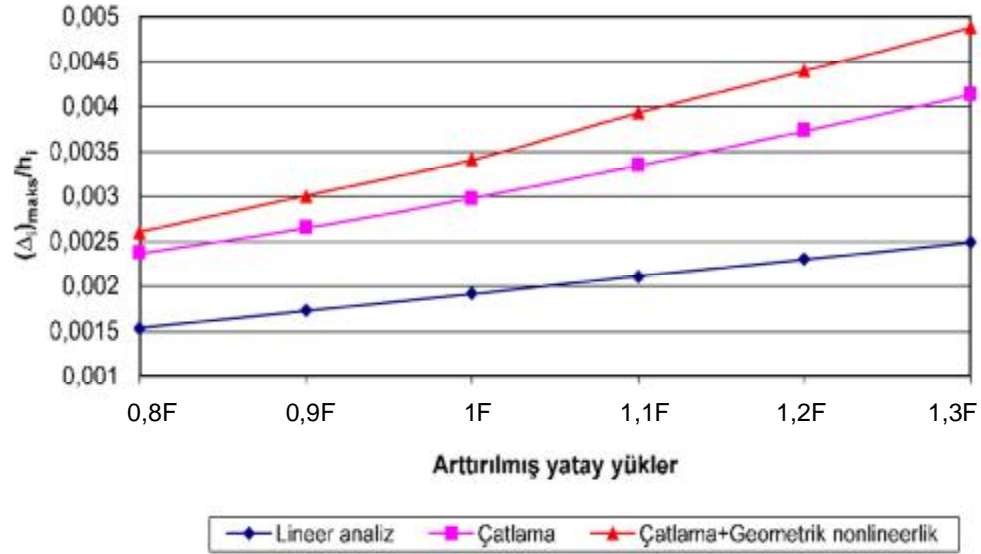
Çizelge 4.7. Lineer ve nonlinear analiz sonucu elde edilen görel kat ötelemeleri

Yük Katsayıları	Lineer Analiz $(D_i)_{maks}/h_i$	Lineer Olmayan Analiz	
		$(D_i)_{maks}/h_i$ (Çatlama)	$(D_i)_{maks}/h_i$ (Geometrik nonlinearlik+Çatlama)
0.8	0.001532	0.002370	0.00260
0.9	0.001724	0.002646	0.00300
1	0.001915	0.002974	0.00341
1.1	0.002107	0.003341	0.00393
1.2	0.002297	0.003730	0.00439
1.3	0.002490	0.004130	0.00488

TDY’de belirtilen sınır şartları:

$$(\Delta_i)_{maks}/h_i \leq 0.0035$$

$$(\Delta_i)_{maks}/h_i \leq 0.02 / R = 0.0025$$

**Şekil 4.12.** $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ ’nin arttırılmış yatay yüklerle göre değişimi

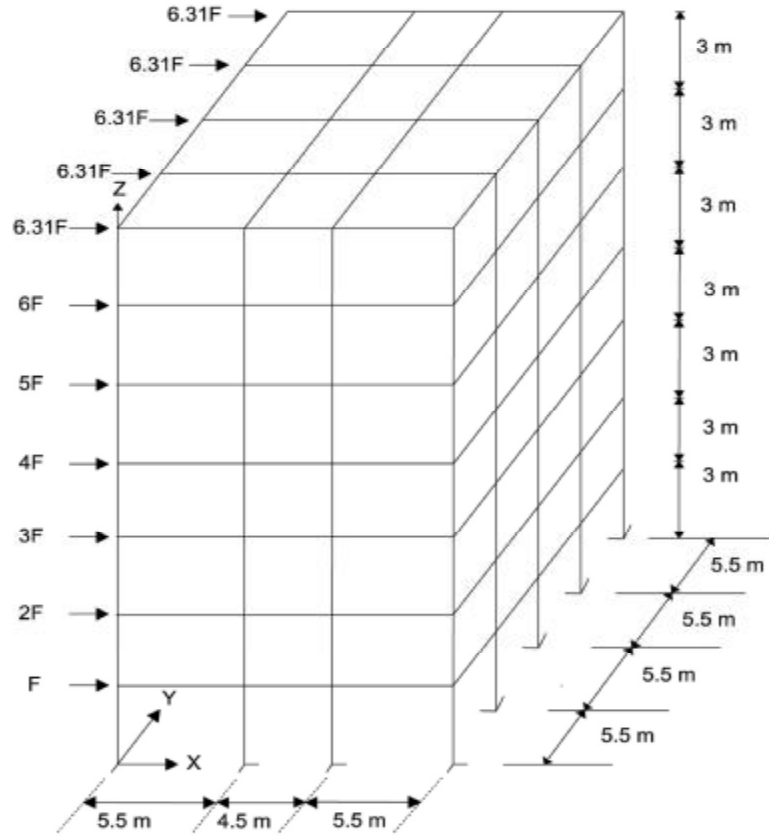
Grafikten görüldüğü üzere, lineer analiz sonucu bulunan maksimum rölatif yatay öteleme değerleri TDY’de belirtilen koşulları sağlamasına rağmen, çatlamlar

ve geometrik nonlineerlik etkileri göz önüne alınarak yapılan analiz sonucunda elde edilen değerlerin TDY koşullarını sağlamadığı görülmektedir.

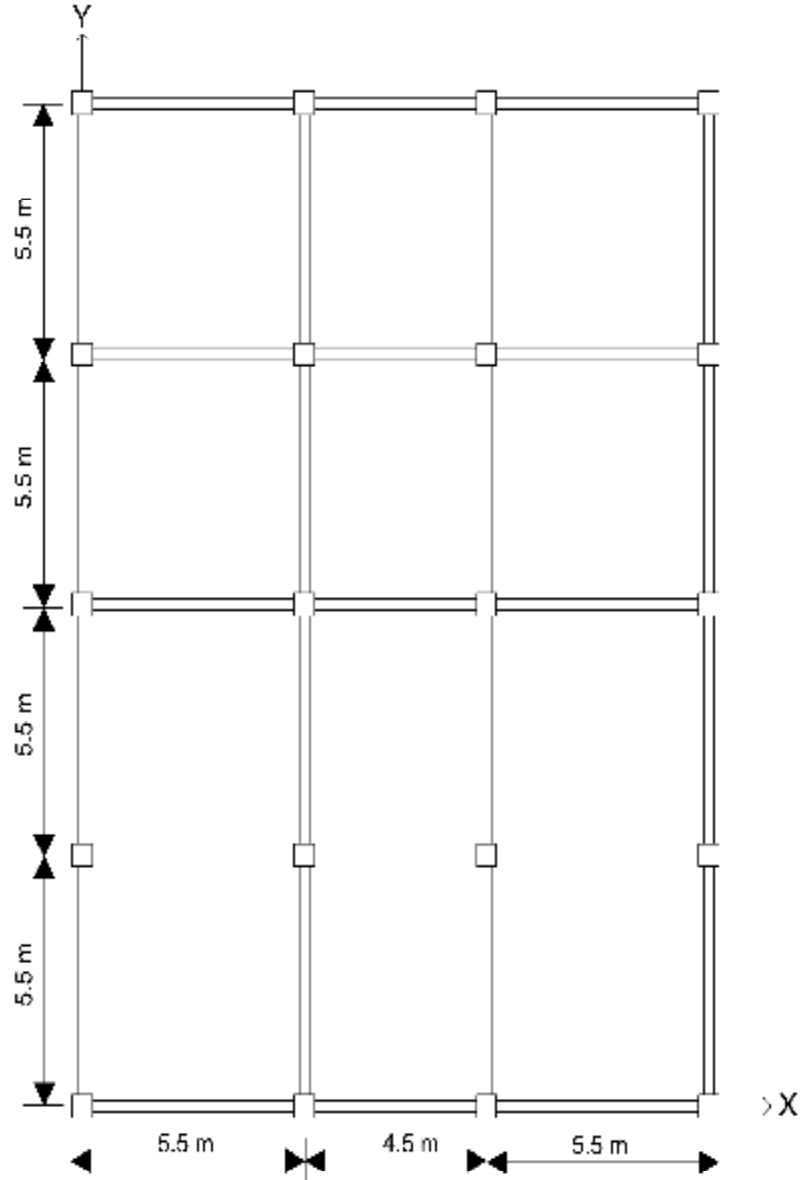
4.2.4. Örnek 4

Bu örnekte yatay ve düşey yükler etkisi altında her iki ekseninde simetrik 7 katlı betonarme çerçeve modeli, gerek lineer gerekse geometrik nonlineerlik ve çatlama etkisi göz önünde bulundurularak geliştirilen bilgisayar programı ile analiz edilmiştir. (Şekil 4.13).

Yapı sistemi, katlardaki ilgili düğüm noktalarına etki eden yatay yükler, belli oranlarda değiştirilerek (%10, %20 ve %30 artırılıp azaltılarak) analiz edilmiş ve elde edilen deplasman değerleri TDY'de belirtilen ilgili kontrollere göre değerlendirilip grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçeve örneği



Şekil 4.14. 4. Örneğe ait normal kat planı (m)

Betonarme yapıya ait kiriş ve kolon elemanların boyutları, kat yükseklikleri ve her kattaki ilgili düğüm noktalarına etkiyen yatay yükler Çizelge 4.8’ de verilmiştir.

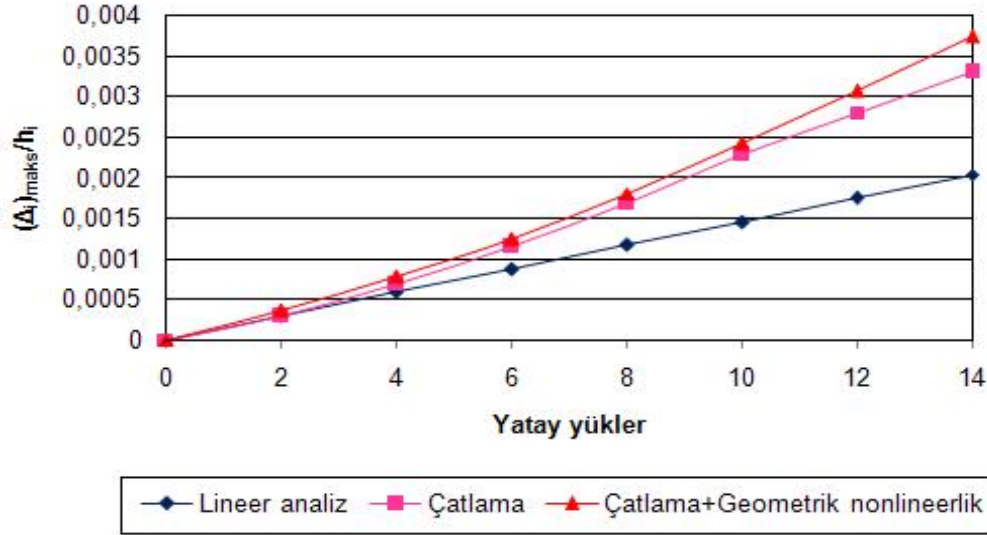
Çizelge 4.8. Betonarme çerçeve örneğine ait bilgiler

	Kolon boyutları (mm*mm)	Kiriş boyutları (mm*mm)	Kat yükseklikleri (mm)	Yatay yükler (kN)
1. Kat	500x500	300x500	3000	14
2. Kat	500x500	300x500	3000	28
3. Kat	500x500	300x500	3000	42
4. Kat	500x500	300x500	3000	56
5. Kat	500x500	300x500	3000	70
6. Kat	500x500	300x500	3000	84
7. Kat	500x500	300x500	3000	88.34
R=8 (Süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve sistemi)				

Yapıya, F’e bağlı olarak ifade edilen yatay yükler etkimektedir. Düşey yükler sabit kalırken yatay yük F, başlangıçtan 14 kN’a kadar arttırılarak çatlama ve ikinci merteye etkiler göz önünde bulundurularak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.9’ da verilen tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Yatay yüklere bağlı olarak analiz sonucunda oluşan göreceli kat ötelemeleri

Yatay yükler F(kN)	Lineer Analiz $(D_i)_{maks.}/h_i$	Lineer Olmayan Analiz	
		$(D_i)_{maks.}/h_i$ (Çatlama)	$(D_i)_{maks.}/h_i$ (Geometrik nonlineerlik+Çatlama)
0	0	0	0
2	0.000290	0.00029	0.000353
4	0.000581	0.00067	0.000775
6	0.000871	0.00114	0.001243
8	0.001162	0.00169	0.001805
10	0.001452	0.00227	0.002422
12	0.001742	0.00279	0.003066
14	0.002033	0.00329	0.003740



Şekil 4.15. $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ 'nin yatay yüklere göre değişimi (i=3)

Şekilden, lineer analiz sonucu elde edilen değerlerle, çatlama ve ikinci mertebe etkiler göz önünde bulundurularak yapılan analizde elde edilen sonuçlar arasında çerçeveye uygulanan yatay yükün artmasına bağlı olarak büyük farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir.

Yükün 14 kN olduğu düzeyde, ikinci mertebe etkilerle çatlama ve ikinci mertebe etkilerle çatlama birliktedir. Sadece çatlama göz önüne alındığında ise bu fark %60 olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlara göre yatay yüklerin artmasıyla birlikte (P- Δ) etkisine de bağlı olarak analizlerde daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmesi açısından geometrik nonlineerlik etkilerinin çatlama ile birlikte ele alınması gerektiğini ifade etmektedir.

Yapı sistemi, giriş elemanları üzerindeki düşey yükler sabit kalırken her kattaki ilgili düğüm noktalarına etki eden yatay yükler sırasıyla %10, %20 ve %30 oranında artırılıp azaltılarak analiz edilmiş ve her bir yük adımı için elde edilen deplasman değerlerine bağlı olarak TDY'de belirtilen ilgili kontroller yapılmıştır. Çizelge 4.10'da yük katsayılarına göre elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

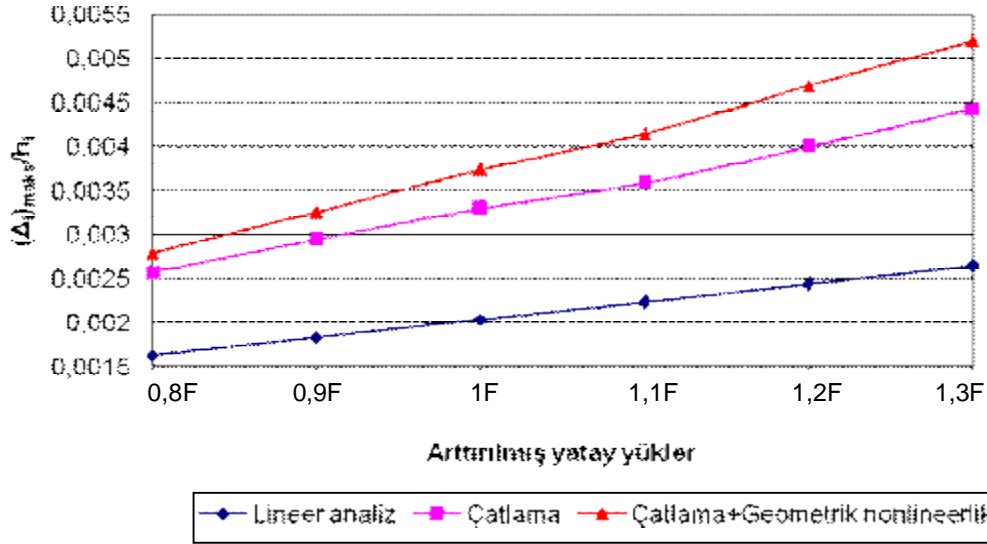
Çizelge 4.10. Lineer ve nonlinear analiz sonucu elde edilen görece kat ötelemeleri

Yük Katsayıları	Lineer Analiz (Δ_i) _{maks./h_i}	Lineer Olmayan Analiz	
		(Δ_i) _{maks./h_i (Çatlama)}	(Δ_i) _{maks./h_i (Geometrik nonlinearlik+Çatlama)}
0.8	0.001626	0.002569	0.002790
0.9	0.00183	0.002946	0.003257
1	0.002033	0.003298	0.003740
1.1	0.002236	0.003584	0.004147
1.2	0.002439	0.004000	0.004685
1.3	0.002643	0.004430	0.005200

TDY’de belirtilen sınır değerler:

$$(\Delta_i)_{maks./h_i} \leq 0.0035$$

$$(\Delta_i)_{maks./h_i} \leq 0.02 / R = 0.0025$$

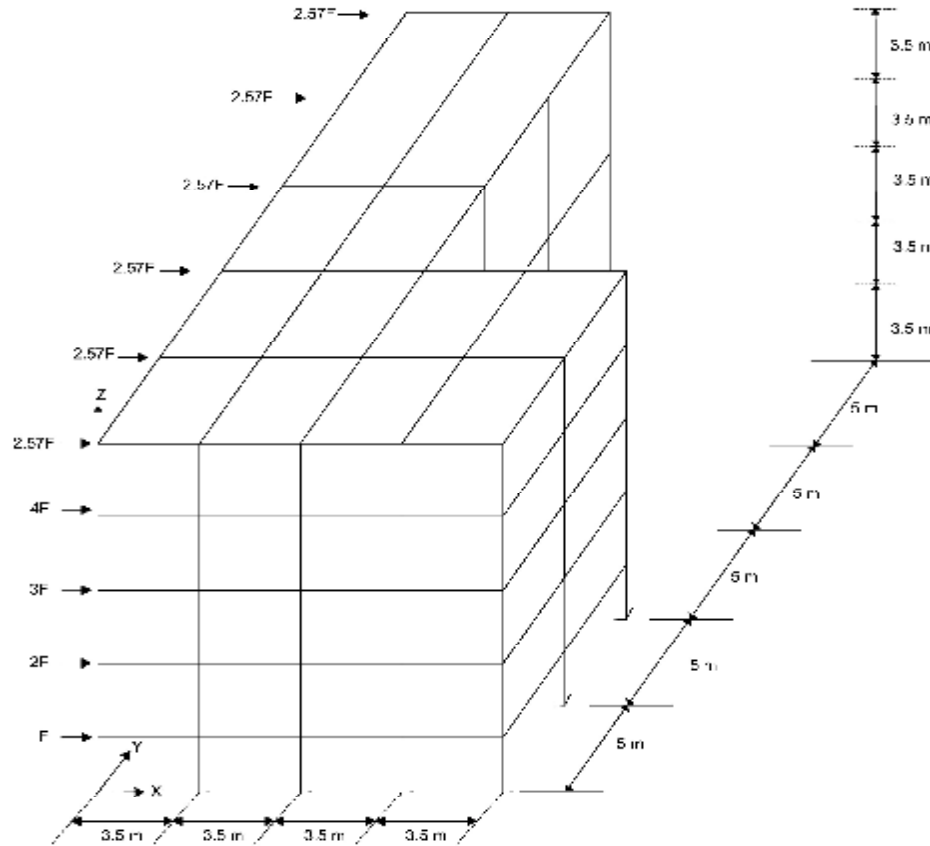
**Şekil 4.16.** (Δ_i)_{maks./h_i ‘nin arttırılmış yatay yüklere göre değişimi}

Grafikten de görüldüğü üzere X eksenı doğrultusundaki yatay yüklerden dolayı lineer analiz sonucu elde edilen görece kat ötelemesi değeri TDY’ye göre

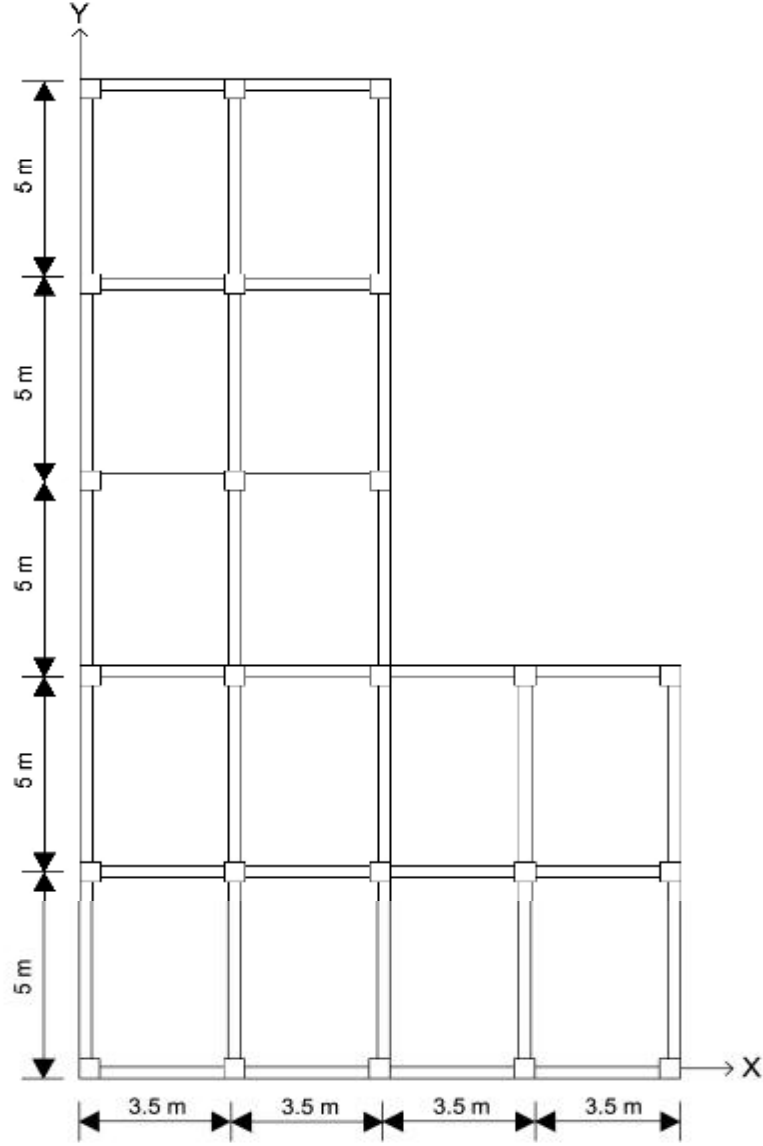
sağlamakta, fakat çatlamlar ve bununla birlikte geometrik nonlineerlik etkileri göz önüne alındığında elde edilen maksimum rölatif yatay ötelemeler bu sınır değeri aşmaktadır.

4.2.5. Örnek 5

Bu örnekte, Şekil 4.16'da gösterilen ve simetrik olmayan bir yönde 2 diğer yönde 5 açıklıklı olmak üzere 5 katlı olarak oluşturulan betonarme çerçeve modeli, yatay ve düşey yükler etkisi altında gerek lineer analizle, gerekse kiriş ve kolonlardaki çatlamlar göz önünde bulundurularak çözülmüştür. Betonarme yapıya ait kiriş ve kolon elemanlarının boyutları, kat yükseklikleri ve her kattaki ilgili düğümlere etkileyen yatay yükler Çizelge 4.11 'de verilmiştir.



Şekil 4.17. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçeve örneği



Şekil 4.18. 5. Örneğe ait normal kat planı (m)

Yapı sistemindeki kiriş ve kolon boyutları, her kat içerisinde sabittir. Aşağıda Çizelge 4.11 'de betonarme çerçeve örneğine ait bilgiler verilmiştir.

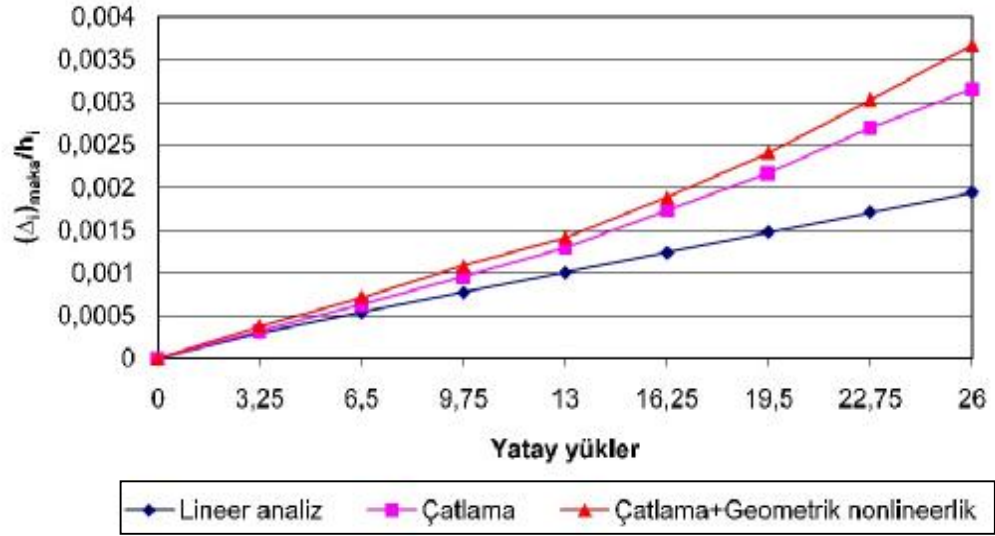
Çizelge 4.11. Betonarme çerçeve örneğine ait bilgiler

	Kolon boyutları (mm*mm)	Kiriş boyutları (mm*mm)	Kat yükseklikleri (mm)	Master noktasına etkiyen yükler (kN)
1. Kat	500x500	300x500	3500	26
2. Kat	500x500	300x500	3500	52
3. Kat	500x500	300x500	3500	78
4. Kat	450x450	300x500	3500	104
5. Kat	450x450	300x500	3500	66.82
R=8 (Süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve sistemi)				

Düşey yükler sabit kalırken yatay yükler F'ye bağlı ifade edilen şekilde başlangıçtan 26 kN'a kadar arttırılmıştır (Çizelge 4.12). Bu değerlere bağlı olarak yapı analiz edildiğinde elde edilen değerler Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Yatay yüklere bağlı olarak analiz sonucunda oluşan görel kat ötelemeleri

Yatay yükler F(kN)	Lineer Analiz $(D_i)_{maks}/h_i$	Lineer Olmayan Analiz	
		$(D_i)_{maks}/h_i$ (Çatlama)	$(D_i)_{maks}/h_i$ (Geometrik nonlineerlik+Çatlama)
0	0	0	0
3.25	0.000305	0.000319	0.000378
6.5	0.000539	0.000630	0.000716
9.75	0.000774	0.000952	0.001083
13	0.001008	0.001300	0.001415
16.25	0.001242	0.001738	0.001887
19.5	0.001477	0.002170	0.002410
22.75	0.001711	0.002700	0.003026
26	0.001946	0.003152	0.003670



Şekil 4.19. $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ ' nin yatay yüklere göre değişimi ($i=2$)

Lineer analiz sonucu elde edilen değerlerle, çatlama ve ikinci mertebe etkiler göz önünde bulundurularak yapılan analizde elde edilen sonuçlar arasında çerçeveye uygulanan yatay yükün artmasına bağlı olarak büyük farklılıkların oluştuğu gözlemlenmiştir.

Yükün 26 kN olduğu düzeyde ikinci mertebe etkilerle çatlama ve ikinci mertebe etkilerle birlikte etkilediği durumda çıkan sonuca göre fark %88 olarak elde edilmiştir. Sadece çatlama göz önüne alındığında ise bu fark %62 olmaktadır.

Belirli oranlarda artırılıp azaltılan yük değerleri aynı örnek üzerine etki edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.13'de belirtildiği gibidir.

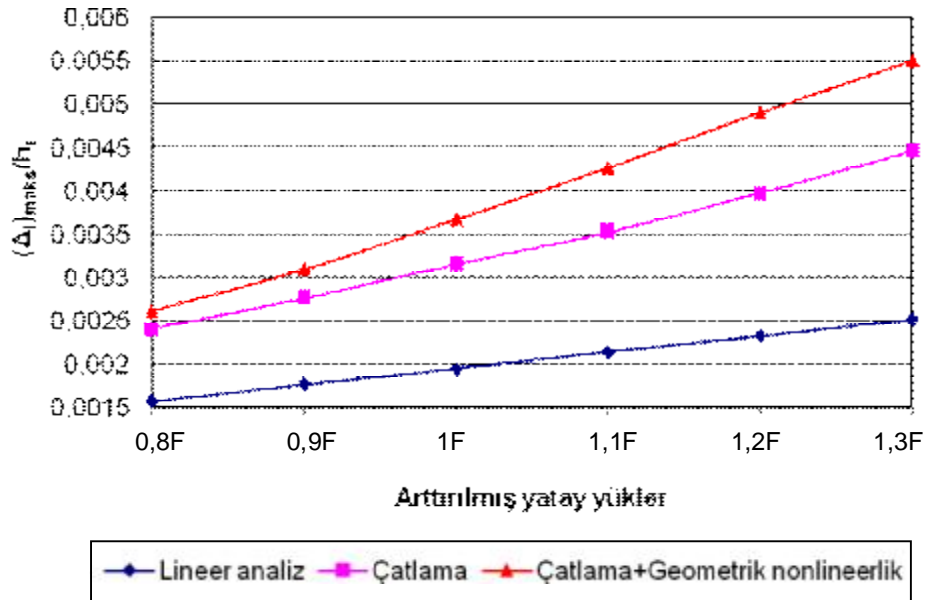
Çizelge 4.13. Lineer ve nonlinear analiz sonucu elde edilen görece kat ötelemeleri

Yük Katsayıları	Lineer Analiz $(D_i)_{maks}/h_i$	Lineer Olmayan Analiz	
		$(D_i)_{maks}/h_i$ (Çatlama)	$(D_i)_{maks}/h_i$ (Geometrik nonlineerlik+Çatlama)
0.8	0.001571	0.00240	0.002607
0.9	0.001758	0.00276	0.003094
1	0.001946	0.00315	0.003670
1.1	0.002133	0.00351	0.004266
1.2	0.002321	0.00396	0.004900
1.3	0.002508	0.00446	0.005500

TDY'deki sınır değerler:

$$(\Delta_i)_{maks}/h_i \leq 0.0035$$

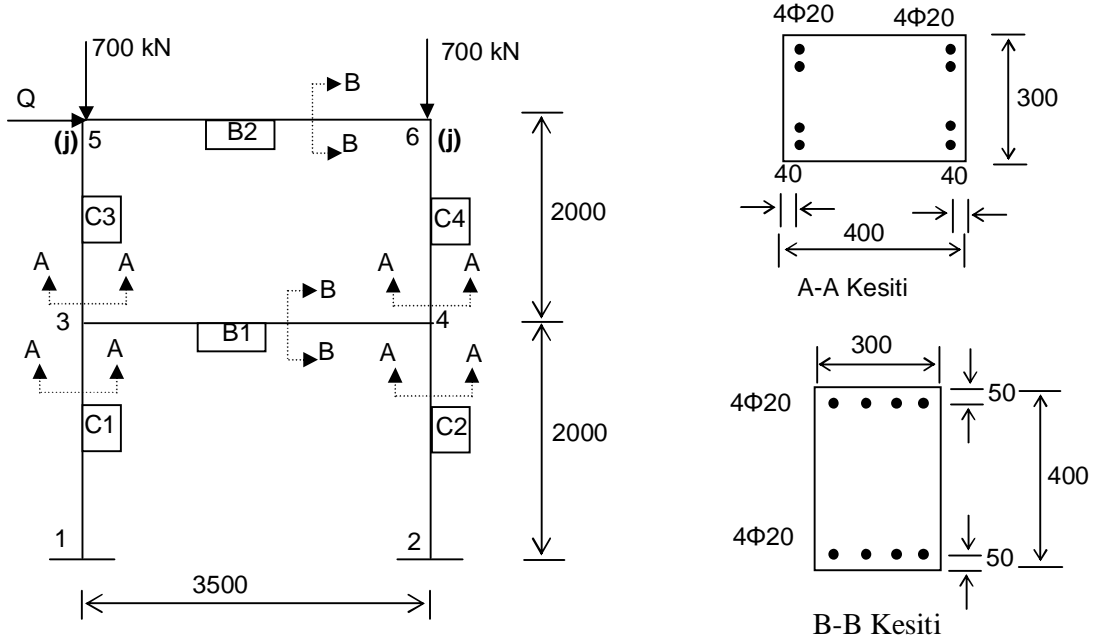
$$(\Delta_i)_{maks}/h_i \leq 0.02 / R = 0.0025$$

Şekil 4.20. $(\Delta_i)_{maks}/h_i$ 'nin artırılmış yatay yüklere göre değişimi

Şekil 4.20' de görüldüğü üzere X eksenı doğrultusundaki yatay yüklerden dolayı lineer analiz sonucu elde edilen görelı kat ötelemelerini ifade eden oranlar, tüm yatay yük katsayıları (ilgili düğüm noktalarına etkiyen 0.8F, 0.9F, F, 1.1F, 1.2F, 1.3F yatay yükleri) için TDY'de belirtilen sınır şartlarını sağlamaktadır.(F: İlgili düğüm noktalarına etkiyen yatay yükler) Çatlamalar ve geometrik nonlineerlik etkisi göz önüne alındığında ise istenilen koşullara uymadığı ortaya çıkmaktadır.

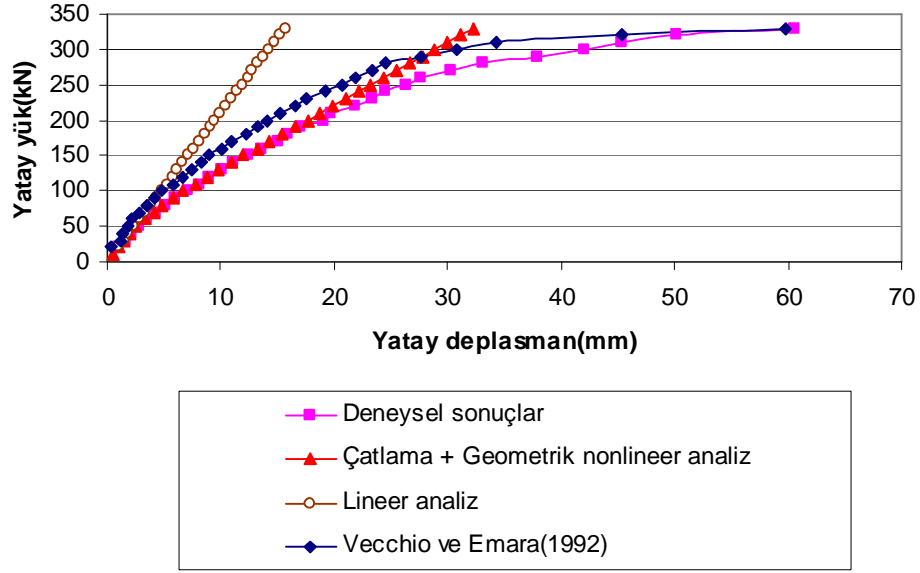
4.2.6. Örnek 6

Sunulan örnek, 6 elemandan oluşan bir çerçeve modelidir. Yapıya etkiyen yatay yükler (Q) çerçeve taşıma gücüne erişinceye kadar arttırılarak ikinci katındaki 5 numaralı düğümde oluşan yatay deplasmanlar elde edilmiştir. Analizde çatlama ve ikinci mertbe etkiler göz önünde bulundurularak örnek geliştirilen bilgisayar programı ile çözümlenmiştir.



Şekil 4.21. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki iki katlı betonarme çerçeve örneği

Çatlamlar ve geometrik nonlineerlik etkiler göz önünde bulundurularak geliştirilen analitik yöntemle bağlı olarak çerçevenin 5 numaralı düğümünde elde edilen yatay deplasmanların gerek lineer elastik analiz, gerekse diğer analitik model ve deneysel çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılması Şekil 4.22’de gösterilmiştir.

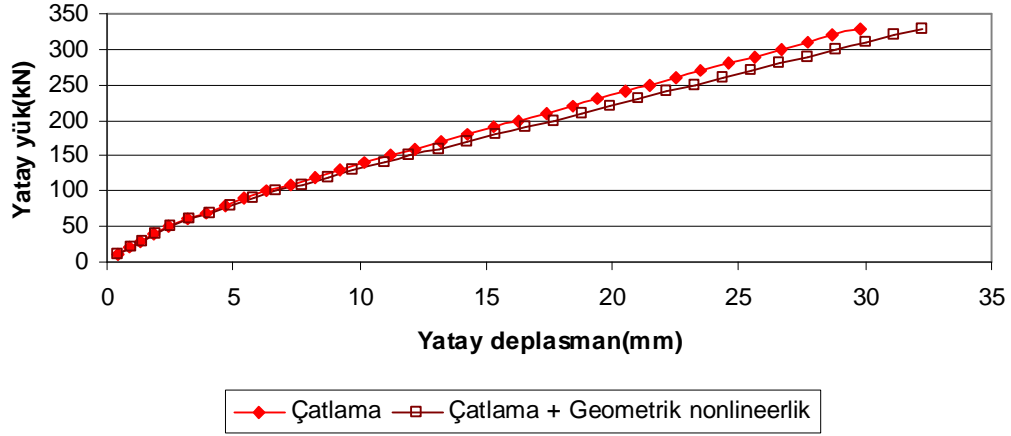


Şekil 4.22. Deneysel ve analitik çalışma sonuçlarından elde edilen yatay deplasmanların karşılaştırılması

Grafikte görüldüğü gibi, lineer analiz sonucunda elde edilen değerlerin deneysel değerlerden oldukça farklı olduğu anlaşılmaktadır.

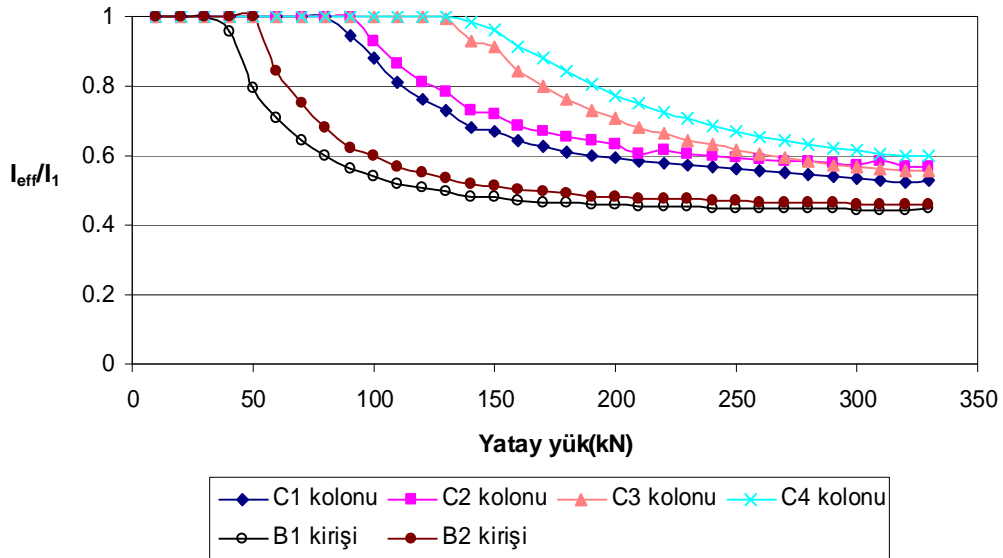
Çalışmada betonarme çerçeveye uygulanan yatay yükün, çerçevenin taşıma gücü yükünün yaklaşık olarak %83 düzeyine kadar analiz ile elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Ayrıca çalışmada elde edilen sonuçların yatay yükün 275 kN olduğu düzeye kadar Vecchio ve Emara (1992) tarafından elde edilen sonuçlara göre daha iyi olduğu da görülmektedir.

Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçevede geometrik nonlineerlik etkilerin yatay deplasmanlar üzerine olan etkisi Şekil 4.23’te gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Geometrik nonlineerlik etkilerinin yatay deplasmanlar üzerine olan etkisi

Şekilden sadece çatlama etkisi göz önünde bulundurularak elde edilen deplasmanlarla, çatlama ve ikinci mertebe etkiler göz önünde bulundurularak elde edilen deplasmanlar arasındaki farkın yatay yükün artmasına bağlı olarak arttığı ve yatay yük değerinin 330 kN olduğu düzeyde ise bu farkın %11'e ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.24. Kiriş ve kolonların etkili atalet momentlerinin yatay yüke göre değişimi

Şekil 4.24'de gösterildiği üzere betonarme çerçeveye uygulanan yatay yükün artmasına bağlı olarak elemanlardaki çatlamların oluşum sırası ve elemanların eğilme rijitliğinde oluşan değişimler elde edilmiştir.

Şekilden ilk olarak çerçevenin birinci ve ikinci katındaki kirişler daha sonra ise çerçevenin birinci katındaki C1 ve C2 kolonları çatlamaktadır. En son olarak da yapının ikinci kattaki C3 ve C4 kolonlarında çatlama oluşmaktadır. Yatay yük çerçevenin taşıma gücü yükünün %82'sine ulaştığı anda C1, C2, C3 ve C4 kolonlarının atalet momenti değerleri çatlama kesit atalet momenti değerlerinin sırası ile %54 %56, %59 ve %64'üne eşit olurken, birinci ve ikinci kattaki kirişlerin atalet momenti değerleri çatlama kesit atalet momenti değerlerinin %44 ve %46'sına karşılık gelmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sunulan çalışmada, farklı katlara ve değişik boyutlara sahip olarak oluşturulan betonarme yapı modelleri gerek lineer, gerekse kiriş ve kolonlardaki çatlamlar ve ikinci mertbe etkiler göz önünde bulundurularak yapıların üç boyutlu analizi için önceden geliştirilen bir bilgisayar programı aracılığı ile çözümlenmiştir. Çalışma kapsamında, yapıların analizinde, yapıyı oluşturan kiriş elemanlar üzerindeki düşey yükler sabit kalırken, yatay yükler başlangıçtan belirli bir seviyeye kadar arttırılarak, ilgili düğüm noktalarına etki ettirilmiştir. Elde edilen değerlere bağlı olarak, TDY’de belirtilen görelî kat ötelemesi kontrolleri yapılmıştır. Aynı yük seviyesinde lineer analiz sonucu elde edilen maksimum rölatif yatay ötelemeler, TDY’de belirtilen sınır değeri aşmazken, çatlama ve ikinci mertbe etkiler göz önünde bulundurularak elde edilen maksimum görelî kat ötelemelerinin bu sınır değeri aştığı gözlemlenmiştir. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçevelerde, çatlama ve ikinci mertbe etkiler göz önüne alındığında lineer analiz sonucu elde edilen değerlerle, lineer olmayan analiz sonucu elde edilen değerler arasındaki farkın gittikçe arttığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yatay yüklerin artmasıyla birlikte (P-Δ) etkisine de bağlı olarak analizlerde geometrik nonlineerlik etkilerinin çatlamlarla birlikte ele alınması daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmesi açısından önemli olabilmektedir.

Ayrıca, literatürde mevcut ve deneysel çalışması yapılmış olan betonarme çerçeve örneği geliştirilen program aracılığı ile analiz edilmiş ve elde edilen değerler deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla yakın değerler içerisinde olduğu görülmüştür. Örneklere uygulanan yükün, taşıma gücüne yaklaşması durumunda sonuçlar arasında farklılıklar oluşmasına neden olmuştur. En büyük etkenin ise, beton ve çelik malzemelerin lineer olmayan davranışlarının daha da etkin hale gelmesi olarak ifade edilebilir.

Bu çalışma kapsamında, farklı kat, açıklık ve boyutlara sahip betonarme yapıların kat seviyelerindeki ilgili düğüm noktalarına uygulanan yatay yükler %10, %20 ve %30 oranında değiştirilerek üç boyutlu analizi yapılmış ve her bir yük adımı için elde edilen deplasman değerleri, TDY’de belirtilen kriterlere göre kontrol

edilmiştir. Elde edilen değerlerin, lineer analiz sonuçlarına göre farklılık gösterdiği görülmüştür. Analiz sonuçları göre, çatlamların ve ikinci merteye etkilerinin analizlerde dikkate alınmasının, tasarım ve boyutlandırma açısından faydalı olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- AKSOĞAN O., ve ERDEM H., 2001. Yarı Rijit Bağlı Üç Boyutlu Çerçevelerin Nonlinear Analizi. İMO Teknik Dergi, 2355-2377.
- BRANSON, D.E., 1967. Instantaneous and Time-Dependent Deflections of Simple and Continuous Reinforced Concrete Beams. HPR Report, Alabama Highway Department/US, Report No.7, Part 1,78.
- CHANNAKESHAVA, C., ve SUNDARA RAJA IYENGAR KT., 1988. Elastoplastic Cracking Analysis of Reinforced Concrete. J. Struct. Engrg. ASCE, 114:2421-2438.
- CHUN-MAN, C., NEIL, C. M., ve FENG, N., 2000. Analysis of Cracking Effects on Tall Reinforced Concrete Buildings. Journal of Structural Engineering, 126(9), 995-1003.
- CHUN-MAN, C., NEIL, C. M., ve FENG, N., 2005. Lateral Stiffness Characteristics of Tall Reinforced Concrete Buildings Under Service Loads. Struct. Design Tall Build., 9, 365-383.
- CELEP, Z, ve KUMBASAR, N., 1998. Betonarme Yapılar. Sema Matbaacılık, İstanbul, 888s.
- CEDOLIN, L., ve DEI, P., 1977. Finite Element Studies of Shear Critical Reinforced Concrete Beams. J. Engineering Mech. Div., ASCE, EM3.
- COMITE EURO-INTERNATIONAL, 1985. Manual on Cracking and Deformation, Bulletin d'Information, 158-E.
- COSENZA, E., 1990. Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Elements in a Cracked State. Computers&Structures, 36(1), 71-79.
- DÜNDAR, C., ve KARA, İ. F., 2007. Three Dimensional Analysis of Reinforced Concrete Frames with Cracked Beam and Column Elements.
- DÜNDAR, C., ve KARA, İ. F., ve TANRIKULU, A. K., 2001. Kirişlerdeki Çatlama Göz Önüne Alınarak Çerçevelerin Üç Boyutlu Analizi. Türkiye İnşaat Mühendisliği Teknik Kongre ve Sergisi, Böl. 8, Ankara.

- DÜNDAR, C., ve KARA, İ. F., ve TANRIKULU, A. K., 2006. Geometrik Nonlineerlik ve Çatlamların Etkisi Göz Önüne Alınarak Yapıların Üç Boyutlu Analizi. 7 th International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE), 240.
- EL-METWALLY S.E., ve CHEN W.F., 1989. Nonlinear Behaviour of R/C Frames. Computers and Structures, 32(6): 1203-1209.
- GHALI, A., ve FAVRE R., 1986. Concrete Structures: Stresses and Deformations. Chapman and Hall, N.Y.
- KARA İ. F., 2007. Betonarme Yapıların Çatlama Etkisi Göz Önüne Alınarak Lineer Olmayan Analizi. Doktora Tezi.
- MASSICOTTE, B., ELWI, A.E., ve MACGREGOR, J.G., 1990. Tension-Stiffening Model for Planar Reinforced Concrete Members. J. Struct. Eng. ASCE, 116(11), 3039-3058.
- MICKLEBOROUGH, N.C., NING, F., ve CHAN, C.M., 1999. Prediction of the Stiffness of Reinforced Concrete Shear Walls under Service Loads. ACI Struct. J., 96(6), 1018-1026.
- NGO, D., ve SCORDELIS A.C., 1967. Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Beams. ACI J., 64(3), 152-163.
- POLAK, M.A., VECCHIO, F.J., 1993. Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Shells. J. Struct. Engrg. ASCE, 119(12), 3439-3462.
- POLAK, M.A., 1996. Effective Stiffness Model for Reinforced Concrete Slabs. Journal of Structural Engineering, 122(9), 1025-1030.
- PULMANO, A.V., ve SHIN, Y.S., 1988. Simplified Finite-Element Analysis of Deflections of Reinforced Concrete Beams. ACI Structural Journal, July-August, 342-348.
- SAKAI, K., ve KAKUTA, Y., 1980. Moment-Curvature Relationship of Reinforced Concrete Members Subjected to Combined Bending and Axial Force. ACI J., 77, 189-194.
- STAFFORD SMITH, B., ve COULL, A., 1991. Tall Building Structures: Analysis and Design, Wiley, New York.

- SUN, C.H., BRADFORD, M.A., ve GILBERT, R.I, 1992. Nonlinear Analysis for Concrete Frame Structures Using the Finite Element Method. *Computers& Structures*, 48(1), 73-79.
- TIKKA, T.K, 2005. Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Sway Frames. 33 rd Annual General Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, GC-131, Toronto Canada.
- TANRIKULU, A. K., DÜNDAR, C, ve ÇAĞATAY, İ. H., 2000. A Computer Program for the Analysis of Reinforced Concrete Frames with Cracked Beam Elements, *Structural Engineering and Mechanics*, 10(5), 463-478.
- TÜRK STANDARTLARI, Türk Standartları Enstitüsü, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, 67s.
- VECCHIO, C. F., ve EMARA, M. B., 1992. Shear Deformations in Reinforced Concrete Frames. *ACI Structural Journal*, 89(1), 46-56.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Adana'da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimini burada tamamladım. 2000 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliğini kazandım ve 2004 yılında mezun oldum. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans çalışmalarına İnşaat Mühendisliği YAPI Anabilim Dalı'nda başladım. Halen yüksek lisans çalışmalarına devam etmekteyim.