

# KOLON EKSENLERİNİN SEÇİMİNİN KESİT TESİRLERİNE ETKİSİ

**Hasan ELÇİ, Mehmet TERZİ**

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 10145-Balıkesir

Geliş Tarihi : 28.04.2005

## ÖZET

Yapı çerçevelerinin idealleştirilmesinde bazı sorular özel yorumlar gerektirir. Bunların en önemlileri etkili açıklık, etkili atalet momenti ve mesnet durumlarıdır. Elastik çerçeve analizinde bir yapı genellikle kolonlar ve kat kirişleri eksenlerinden geçen çizgiler olarak gösterilir. Gerçekte, kirişlerin yüksekliği ve kolonların genişliği bu elemanların boyu yanında çok da küçük değildir. Diğer taraftan bunların temiz açıklığı, bu elemanların düğüm noktaları arasındaki mesafeden daha küçüktür. Çerçeve analizinde, eksenler arasındaki atalet momentinin sabit olmasıyla birlikte, elemanların prizmatik olması genel kabulü tam olarak doğru değildir. Kolonun kirişi kestiği noktaya yani kolon yüzüne kadar kiriş prizmatik olarak kabul edilebilir. Fakat bu noktadan kolon eksenine kadar, kiriş oldukça büyük bir yüksekliğe sahiptir. Bu bölgede açıklık aynı kalarak, atalet momenti sonsuz kabul edilebilir. Bunlara ek olarak, kolon boyutlarının değişimi veya hatalı imalat nedeniyle kolon akslarında düşeyde eksantriklikler meydana gelir. Bu çalışmada, düzlem çerçeve tipi yapılarda kolon boyuna eksenlerinin seçiminin, kesit tesirlerine etkisi araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Betonarme, Kolon ekseni, Rijit uçlar

## THE EFFECT OF THE SELECTION OF COLUMN AXES ON THE INTERNAL FORCES

### ABSTRACT

In the idealization of structural frames, certain questions require special comments. The most important of these are; the effective span lengths, effective moment of inertia, and conditions of supports. In an elastic frame analysis, a structure is usually represented by a simple line diagram, which is based on the centerline distance between columns and between floor beams. Actually, the depths of beams and the widths of columns amount to sizable fractions of the respective lengths are considerably smaller than their centerline distance between joints. It is evident that the usual assumption in a frame analysis that the members are prismatic, with constant moment of inertia between centerlines, is not strictly correct. A beam intersection with a column may be prismatic up to the column face, but from that point to the column centerline, it has a greatly increased depth, with a moment of inertia that could be considered infinite compared with that of the remainder of the span. In addition, some eccentricities occur on the column axis due to variation of column dimensions and erroneous production. In this study, the effects of the selection of column longitudinal axes at planar frame system structures were investigated.

**Key Words :** Reinforced concrete, Column axis, Rigid ends

### 1. GİRİŞ

Yapı sistemlerinin hesaplanma amacı, statik ve dinamik dış yüklerden dolayı sistemde meydana

gelen iç kuvvetlerin, deformasyonların ve deplasmanların belirlenmesidir. Sistemler, düğüm noktaları ile birleşmiş çubuk elemanlardan oluşur. Aynı zamanda sürekli ortam parçası olabilen her

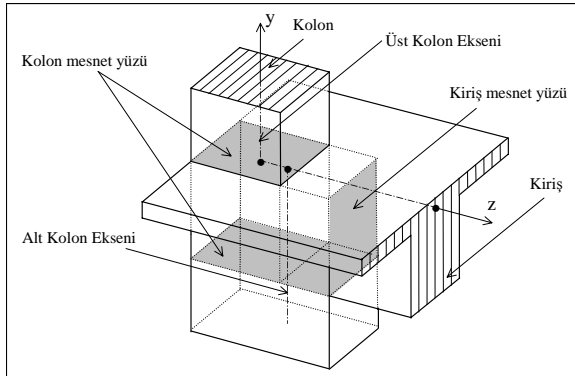
elemanda ve çubuk sistemlerde dış etkilerden meydana gelen iç etkiler tayin edilir.

Moment etkisi altındaki betonarme çerçevelerin düğüm noktaları tasarımda kritik bölgeler olabilir. Özellikle yatay yükler altında, bu bölgelerde çok büyük kesit tesirleri meydana gelmektedir. Sismik hareketlere karşı bu bölgelerin iyi detaylandırılması gerekmektedir. Betonarme bir çerçevenin düğüm noktalarında kiriş ve kolonlara ait kayma donatıları birleşim bölgesi boyunca devam ettirilmelidir (Cheung, 1993).

Düğüm noktalarında eğilme rijitliğinin azalması yük taşıma kapasitesini de azaltır. Esnek kiriş-rijit kolon bağlantılardan elde edilen kafeslerde eğilme rijitliğinin artması bağlantılarda yük taşıma kapasitesini artırır. Eğilme rijitliği azaldıkça kirişin yatay deplasmanı aniden artar ve kolonlar konsol kiriş gibi davranır. Bunun sonucunda çerçeve göçer (Abu-Yasein, 1993).

Sonuç olarak yapılan araştırmalar göstermiştir ki; ister betonarme ister çelik yapı olsun, kiriş ve kolonların birleştiği düğüm noktalarının tam rijit bir bağlantı gibi idealize edilmeleri gerçek sonuçları vermez. Bu yüzden düğüm noktalarının yarı rijit olarak göz önüne alınmaları daha uygun sonuçlar verecektir (Shi, 1991; Abu-Yasein, 1993).

Kirişlerin hesap açıklıkları mesnet eksenleri arasındaki açıklık olarak alınmalıdır (Anon., 2000). Bu da kolonların ağırlık merkezlerinden geçen eksenler arasındaki mesafedir (Şekil 1).



Şekil 1. Betonarme yapı için kiriş-kolon birleşim bölgesi

Kolon eksenini olarak, genellikle, kiriş eksenlerinin kesiştikleri noktalar alınır. Bu şekilde belirlenen kolon eksenlerinin yeri çoğu zaman kolon kesitinin ağırlık merkezinden geçmez. Buna rağmen kolon rijitlikleri, kolonların kendi ağırlık merkezlerinden geçen eksenlere göre hesaplanır.

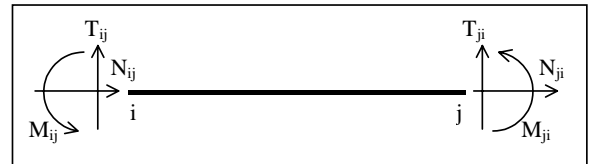
Bazı durumlarda kolon eksenini olarak en alt kattaki kolonların ağırlık merkezinden geçen eksenlerin kesiştikleri noktalar alınır. Bu durumda da üst katlarda, kolonun bir kenarı sabit tutularak boyutlarının küçültülmesi halinde, kolon eksenlerinin yeri değişir. Ancak bu değişim hesaplarda dikkate alınmaz.

Bu çalışmada, düzlem çerçeve tipi yapılarda kolon boyuna eksenlerinin seçiminin kesit tesirlerine etkisi araştırılmıştır.

## 2. YÖNTEM

Bütün çözüm yöntemlerinin genel amacı, dış etkilerden meydana gelen uç kuvvetlerinin ve uç deplasmanlarının tayin edilmesidir. Bunun için de; denge şartlarından, geometrik uygunluk şartlarından ve malzemeye ait deformasyon-iç kuvvet bağlantılarından faydalanılır. Sistemler, düğüm noktaları ile birleşmiş elemanlardan oluşur. Aynı zamanda sürekli ortam parçası olabilen her elemmanda ve çubuk sistemlerde dış etkilerden meydana gelen iç etkiler tayin edilir.

Betonarme çerçevenin statik hesabı Rijitlik Matrisi Metodu ile yapılmıştır. Hesaplama, kayma etkileri de dikkate alınarak, sabit enkesitli prizmatik çubuk için elde edilen rijitlik matrisi kullanılarak yapılmıştır. Çözümlemede çubuk uç kuvvetlerinin pozitif yönleri Şekil 2'deki gibi alınmıştır (Dündar, 1986).



Şekil 2. Çubuk uç kuvvetleri için kabul edilen pozitif yönler

Deplasman Metodu olarak da bilinen Rijitlik Matrisi Metodu'nda çubuk sistemlerin statik yükler için denge denklemi;

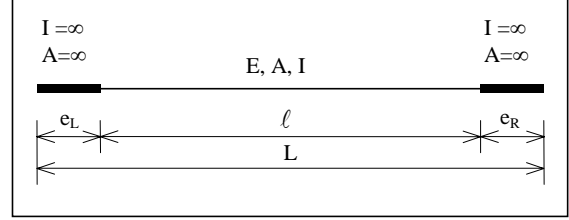
$$[K]\{U\}=\{P\} \quad (1)$$

olarak kapalı formda gösterilmiştir. Burada,  $[K]$  çerçeve sisteme ait rijitlik matrisi,  $\{U\}$  düğüm noktaları deplasmanlarını gösteren vektör ve  $\{P\}$  düğüm noktalarında sisteme etkidiği kabul edilen dış kuvvetleri gösteren vektör olarak ifade edilir.

Şekil 3'te görüldüğü gibi her iki ucunda sonsuz rijit uçlar ( $e_L$  ve  $e_R$ ) bulunan ve hesap açıklığı  $L$  olan, düzlemi içinde yüklü bir çubuk eleman için, kayma etkileri de dikkate alınarak elde edilen eleman rijitlik matrisi Tablo 1'de verilmiştir (Oakberg, 1969). Eleman rijitlik matrisinin hesabında kayma etkilerini göz önüne alabilmek için, bu etkilerden dolayı meydana gelen deplasman, kesitin geometrisine bağlı olan  $k$  gibi bir katsayı ile çarpılmalıdır. Tablo 1'deki  $g$  katsayısı,

$$g = k \frac{6EI}{\ell^2 GA} \quad (2)$$

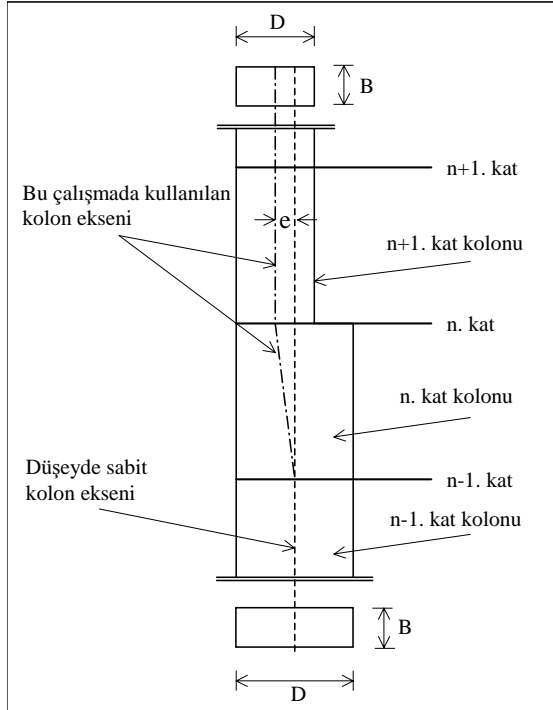
olarak tanımlanmıştır. Burada,  $k$  çubuk enkesitinin form faktörü,  $E$  çubuk elemanın elastisite modülü,  $I$  atalet momenti,  $\ell$  temiz açıklığı,  $G$  kayma modülü,  $A$  ise enkesit alanıdır.



Şekil 3. İki ucu sonsuz rijit çubuk eleman

Tablo 1. Çubuk Eleman İçin Eleman Rijitlik Matrisi

$$[k] = \begin{bmatrix} S_1 & 0 & 0 & -S_1 & 0 & 0 \\ 0 & S_2 & e_L S_2 + S_4 & 0 & -S_2 & e_R S_2 + S_4 \\ 0 & e_L S_2 + S_4 & e_L^2 S_2 + 2e_L S_4 + S_3 & 0 & -e_L S_2 - S_4 & e_L e_R S_2 + (e_L + e_R) S_4 + S_5 \\ -S_1 & 0 & 0 & S_1 & 0 & 0 \\ 0 & -S_2 & -e_L S_2 - S_4 & 0 & S_2 & -e_R S_2 - S_4 \\ 0 & e_R S_2 + S_4 & e_L e_R S_2 + (e_L + e_R) S_4 + S_5 & 0 & -e_R S_2 - S_4 & e_R^2 S_2 + 2e_R S_4 + S_3 \end{bmatrix}$$

$$S_1 = \frac{EA}{\ell}, \quad S_2 = \frac{12EI}{\ell^3(1+2g)}, \quad S_3 = \frac{4EI}{\ell} \left( \frac{1+g/2}{1+2g} \right), \quad S_4 = \frac{6EI}{\ell^2(1+2g)}, \quad S_5 = \frac{2EI}{\ell} \left( \frac{1-g}{1+2g} \right)$$


Şekil 4. Kolonlar için kabul edilen düşey eksenler

Şekil 4'te görüldüğü gibi yapıyı teşkil ederken, çerçevenin kenar kolonlarının düşey eksenleri için iki farklı kabul yapılmıştır. İlk kabulde kolon eksenlerinin zemin kat kolonlarının ağırlık merkezlerinden geçtiği ve yapı yüksekliği boyunca değişmediği kabul edilmiştir. İkinci kabulde ise kolon eksenlerinin yine zemin kat kolonlarının ağırlık merkezlerinden geçtiği kabul edilmiş ancak kolon boyutlarının değiştiği katlarda bu eksenler kolon ağırlık merkezlerinden geçecek şekilde çerçeve dışına doğru kaydırılmıştır. Bunun sonucunda üst katlardaki kenar kirişlerin hesap açıklıkları  $e$  kadar artmıştır. İçte kalan kolonlarda ise, kolon boyutlarındaki küçülmenin plandaki her iki eksene göre simetrik olarak yapıldığı kabul edilmiştir. Bunun sonucunda orta kolonlarda kolon eksenleri düşeyde sabit olarak kalmıştır.

### 3. SAYISAL UYGULAMALAR

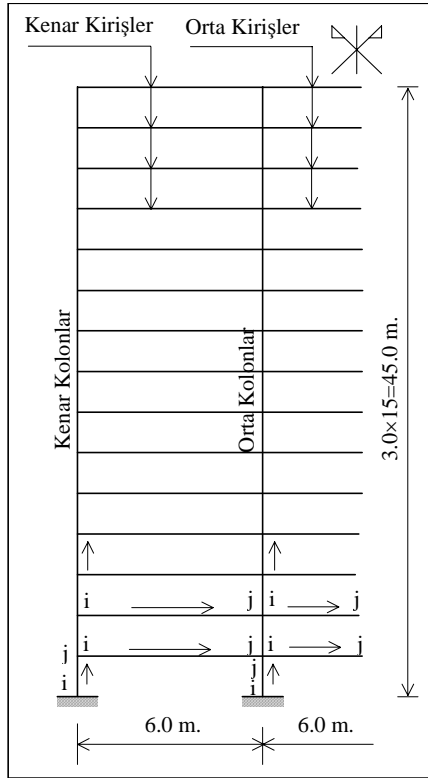
Düzlem çerçeve tipi yapılarda kolon boyuna eksenlerinin seçiminin kesit tesirlerine etkisini

araştırmak için yapılan bu çalışmada; toplam açıklığı  $3 \times 6.0 = 18.0$  m. toplam yüksekliği  $15 \times 3.0 = 45.0$  m. olan düzlemi içinde yüklü betonarme çerçevenin statik hesabı yapılmıştır (Şekil 5). Çerçevenin kolon

ve kiriş boyutları Tablo 2’de verilmiştir. Malzeme C35 betonu olarak seçilmiş,  $E_c = 3.3 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>,  $G_c = 1.32 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır.

Tablo 2. Onbeş Katlı Betonarme Çerçevenin Kolon ve Kiriş Boyutları

Kat No	Kolon Boyutları (B/D)	Kiriş Boyutları(cm)				
		b <sub>w</sub>	h	t	b	
					b <sub>kenar</sub>	b <sub>orta</sub>
11-15	30/60	25	60	14	121	97
6-10	30/80	25	60	14	121	97
1-5	30/100	25	60	14	121	97



Şekil 5. 15 katlı betonarme çerçeve

Çözümler, yatay ve düşey etkiyen yükler için ayrı ayrı yapılmıştır. Sayısal çözümlerde kullanılan yükler Tablo 3’te verilmiştir.

Yapılan çözümlerden elde edilen sonuçları sağlıklı bir şekilde karşılaştırabilmek için, hesaplanacak çubuk kuvvetlerinin aynı kesitlere ait olması gerekir. Bu nedenle, çerçeve düğüm noktaları için hesaplanan çubuk uç kuvvetleri yerine, sonsuz rijit kabul edilen kiriş-kolon birleşim bölgelerinin başladığı noktalar yani mesnet yüzlerinde hesaplanan kesit tesirleri karşılaştırılmıştır. Hesaplama, düzlem çerçeve sistemlerin statik analizini Rijitlik Matrisi Metodu’na göre yapan bir

bilgisayar programından yararlanılmıştır (Dündar, 1986). Mesnet yüzündeki kesit tesirlerinin gerçek değerleri yine bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır (Elçi, 1996).

Grafiklerde, KC kenar kolon elemanı, OC orta kolon elemanı, KB kenar kiriş elemanı, OB orta kiriş elemanı, D düşey yükü, Y yatay yükü, X kolon eksenlerinin düşeyde değişken alındığını, A ise kiriş elemanlara ait çubuk uç kuvvetlerinin kolon aksındaki değerlerini göstermektedir. Normal kuvvet ve kesme kuvvetleri kN, eğilme momentleri ise kNm olarak verilmiştir.

Tablo 3. Çerçeveye Etki Eden Yükler

Kat No	Düşey Yükler		Yatay Yük
	Yayıllı (kN/m)	Tekil (kN)	Tekil (kN)
15	34.68	28.05	142.69
14	48.06	74.16	128.86
13	48.06	74.16	119.66
12	48.06	74.16	110.45
11	48.06	74.16	101.25
10	48.06	92.13	97.74
9	48.06	92.13	87.97
8	48.06	92.13	78.19
7	48.06	92.13	68.42
6	48.06	92.13	58.64
5	48.06	95.73	49.44
4	48.06	95.73	39.55
3	48.06	95.73	29.66
2	48.06	95.73	19.78
1	48.06	95.73	9.90

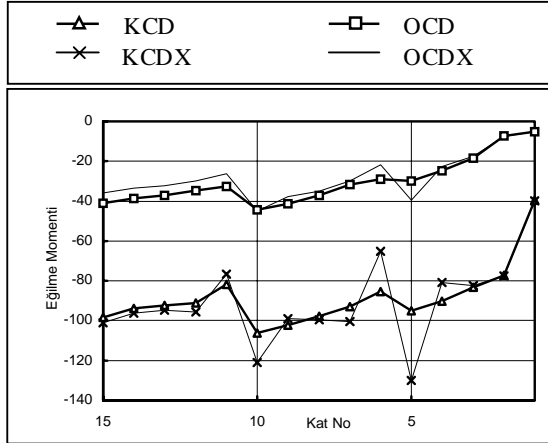
Düşey tekil yükler (kN) her düğüm noktasına, yatay tekil yükler (kN) her katta en dış düğüm noktasına etki etmektedir. Kirişler üzerinde ise uniform yayıllı yük (kN/m) vardır.

### 3. 1. Düşey Yükler için Çözüm

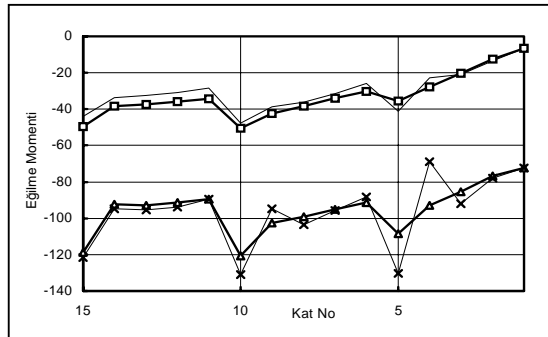
Çerçevenin statik hesabı servis yükleri için yapılmıştır. Karşılaştırılacak bütün çubuk uç kuvvetleri Şekil 1’de gösterilen mesnet yüzleri için

hesaplanmıştır. Deplasman ise, kiriş ve kolonların birleştiği düğüm noktaları için hesaplanmıştır.

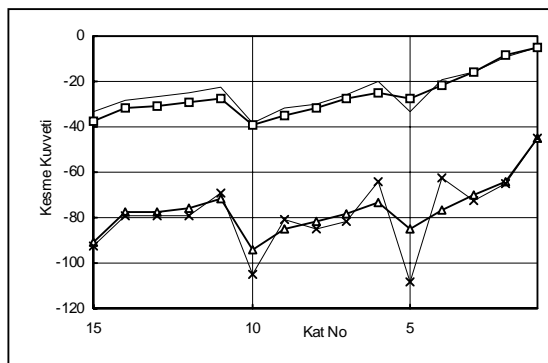
Kolonlara ait  $M_{ij}$ ,  $M_{ji}$  uç momentlerinde, özellikle kolon boyutlarının değiştiği 5. ve 10. katlarda büyük değişimler meydana gelmiştir. Bu değişim kenar kolonlar için daha belirgindir. Örneğin  $M_{ij}$  değerleri; 5. katta kenar kolonda % 37, orta kolonda % 33, 10. katta kenar kolonda % 14 mertebesinde değişmiştir (Şekil 6). Benzer ifadeler  $M_{ji}$  momentleri ve  $T_{ij}$  kesme kuvvetleri için de söylenebilir (Şekil 7-8).



Şekil 6. Kenar ve orta kolonda  $M_{ij}$  momentleri

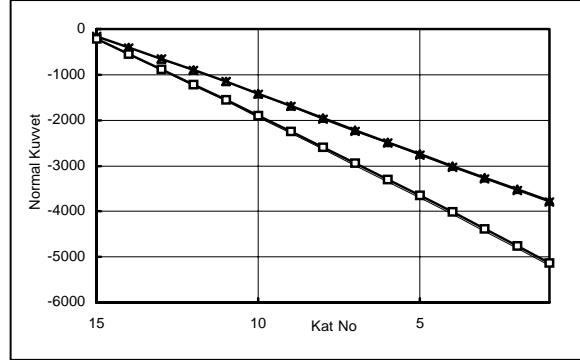


Şekil 7. Kenar ve orta kolonda  $M_{ji}$  momentleri



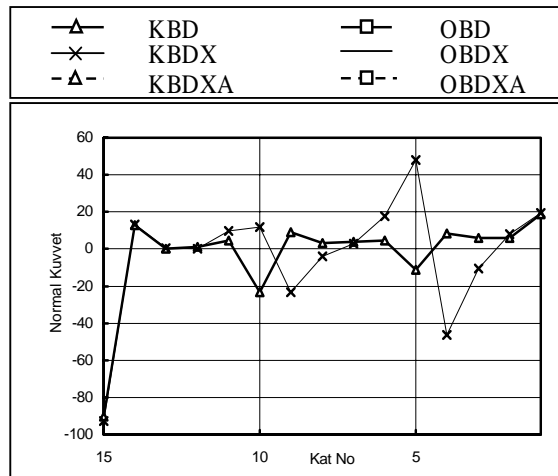
Şekil 8. Kenar ve orta kolonda  $T_{ij}$  kuvvetleri

İki farklı kabul için kolonlara gelen aksel normal kuvvetlerde kayda değer bir değişim olmamıştır. Ancak üst katlardaki kirişlerin hesap açıklıkları arttığından toplam düşey yük ve buna bağlı olarak kolon normal kuvvetleri çok az artmıştır (Şekil 9).

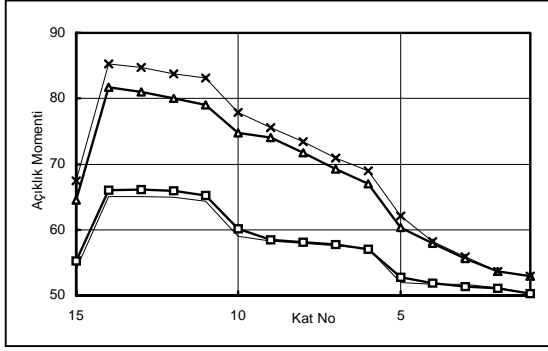


Şekil 9. Kenar ve orta kolonda  $N_{ji}$  kuvvetleri

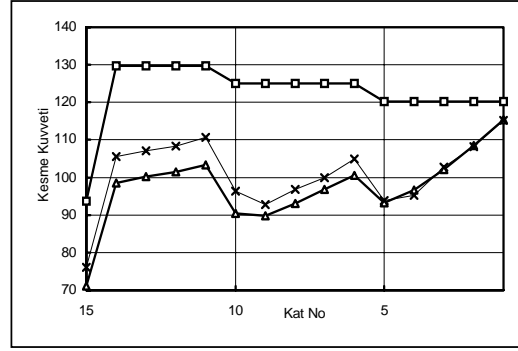
Kirişlere gelen normal kuvvetler tamamen değişmektedir. Ancak bu kuvvetlerin mertebesi düşüktür (Şekil 10). Kiriş hesap açıklıklarının artması nedeniyle açıklık momentleri, üst katlarda, kenar kirişlerde artmıştır orta kirişlerde ise azalmıştır. Artış 5.-10. katlarda % 2-3, 11.-15. katlarda ise % 4-6 mertebesinde (Şekil 11). Kiriş uç momentleri ve kesme kuvvetleri orta kirişlerde hiç değişmemiştir (Şekil 12-15). Kenar kirişlerde ise, hesap açıklığının artmasına da paralel olarak özellikle kolon boyutlarının değiştiği 5. kattan itibaren artmıştır. Bu artış, üst katlarda  $M_{ji}$  momentleri için % 40-50,  $T_{ji}$  kesme kuvveti için % 7 mertebesinde (Şekil 13, 15). Şekil 12 ve 13'te kesikli çizgi, düşeyde kolon eksenlerinin değişken alınması hali için kolon aksındaki kiriş uç momentleridir. Yani düzeltilmemiş momentlerdir.



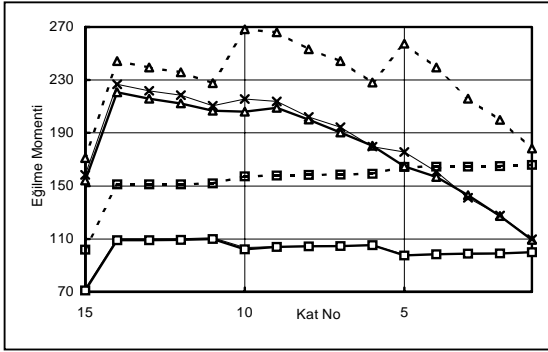
Şekil 10. Kenar kirişte normal kuvvet



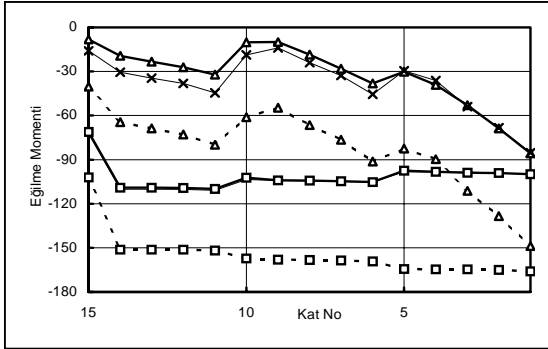
Şekil 11. Kenar ve orta kirişte açıklık momenti



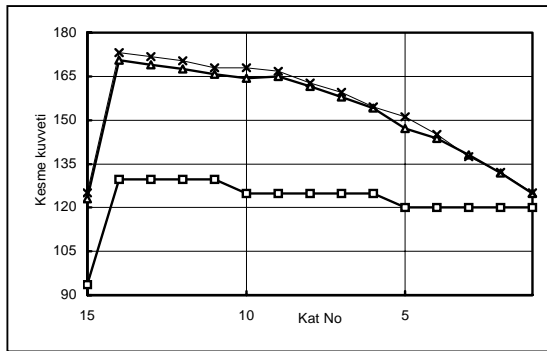
Şekil 15. Kenar ve orta kirişte Tji kuvvetleri



Şekil 12. Kenar ve orta kirişte Mij momentleri



Şekil 13. Kenar ve orta kirişte Mji momentleri

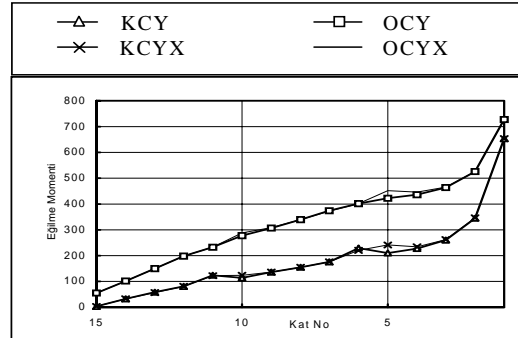


Şekil 14. Kenar ve orta kirişte Tij kuvvetleri

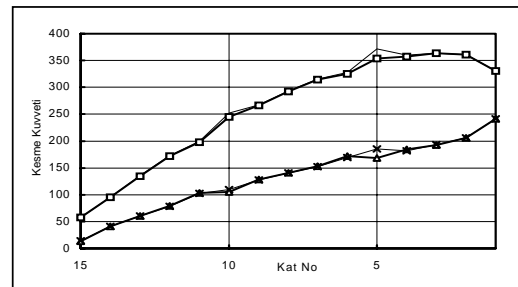
### 3. 2. Yatay Yükler için Çözüm

Çerçevenin statik hesabı birinci derece deprem bölgesi için hesaplanan yatay yüklere göre yapılmıştır.

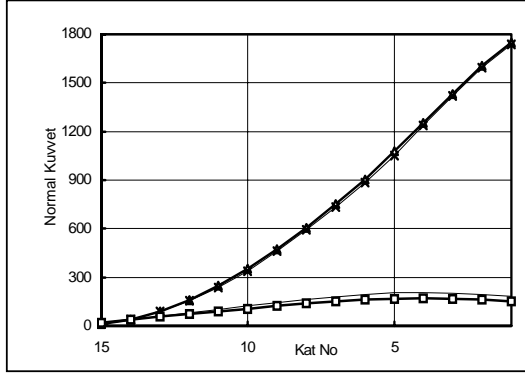
Yatay yükler için yapılan statik çözümde, kolon uç momentlerinde ve kesme kuvvetlerinde sadece kolon boyutlarının değiştiği 5. ve 10. katlarda bir miktar (yaklaşık % 5-10) artış meydana gelmiştir (Şekil 16-17). İki farklı çözüm için kolona gelen eksenel normal kuvvetler değişmiştir. Daha çok alt ve orta katlarda olan bu değişim 5. katta, kenar kolonlar için % 2 oranında azalmayı ve orta kolonlar için % 22 mertebesinde artışı ifade etmektedir (Şekil 18). Kiriş uç momentlerinde ve kesme kuvvetlerinde önemli bir değişim olmamıştır (Şekil 19-21).



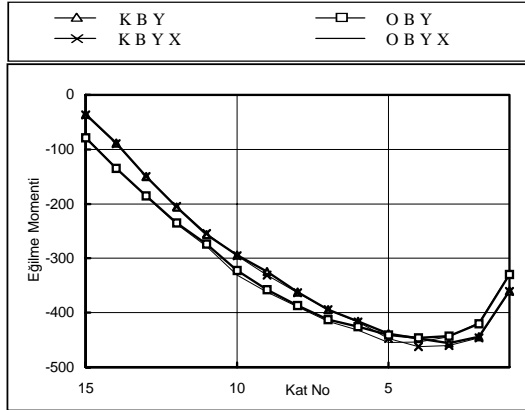
Şekil 16. Kenar ve orta kolonda Mij momentleri



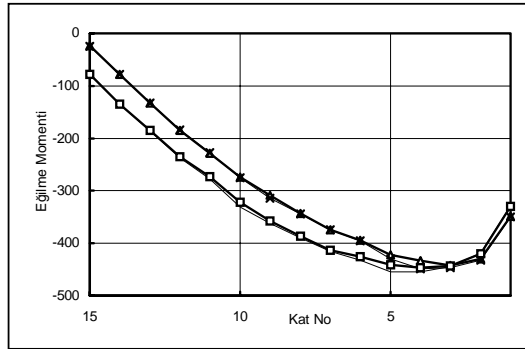
Şekil 17. Kenar ve orta kolonda Tij kuvvetleri



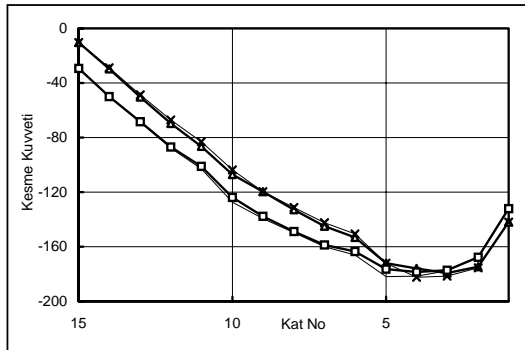
Şekil 18. Kenar ve orta kolonda Nji kuvvetleri



Şekil 19. Kenar ve orta kirişte Mij momentleri

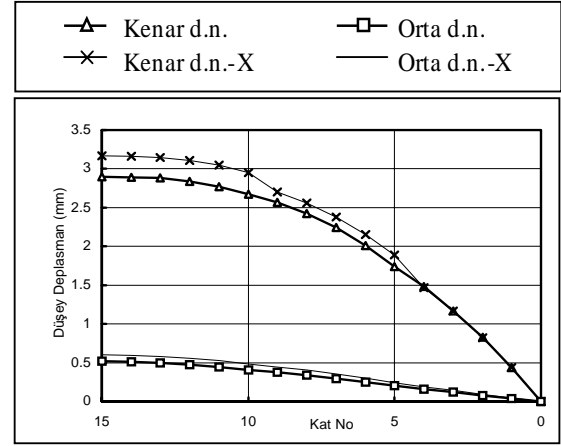


Şekil 20. Kenar ve orta kirişte Mji momentleri

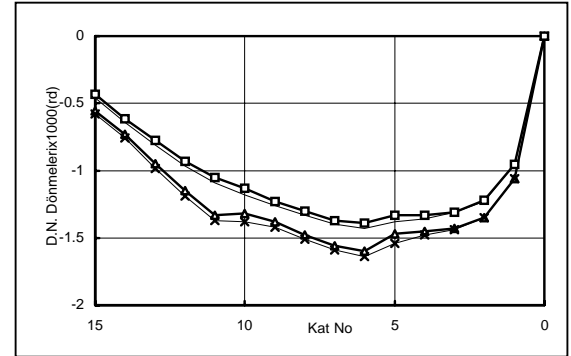


Şekil 21. Kenar ve orta kirişte Tij kuvvetleri

Kolon eksenleri için iki farklı kabul ile yapılan çözümlerden elde edilen düğüm noktası (d.n.) deplasmanları ve dönmeleri düşey yükler için çok fazla değişmemiştir. Yatay yükler altında yapılan çözümlerde ise bir miktar artış gözlenmiştir. Bu artış yatay deplasmanlar için yaklaşık % 2 mertebesindedir. Düşey deplasmanlar, kenar düğüm noktaları için yaklaşık % 10, orta düğüm noktaları için yaklaşık % 15-20 mertebesinde artmıştır (Şekil 22-23).



Şekil 22. Kenar ve orta d.n. düşey deplasmanları



Şekil 23. Kenar ve orta d.n. dönmeleri x 1000 rd

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinin bir nokta (düğüm noktası) olarak idealize edilmesi bu noktadaki deplasmanları artırır. Bu bölgelerin sonsuz rijit kabul edilmesi halinde ise düğüm noktası deplasmanları azalır ve bunun sonucu olarak çubuk uç momentleri artar. Sonuç olarak, kiriş ve kolonların birleştiği bölgelerin bir düğüm noktası olarak idealize edilmesi veya tam rijit bir bağlantı gibi kabul edilmesi gerçek sonuçları vermez. Bu yüzden

birleşim bölgeleri yarı rijit olarak göz önüne alınmalı ve çözümlerde kullanılan kabuller de buna uygun olarak yapılmalıdır (Elçi, 1996).

Kolon eksenlerinin düşeyde farklı şekillerde seçilmesinin, özellikle düşey yükler için yapılan çözümlerden elde edilen sonuçları önemli oranlarda değiştirdiği görülmüştür. Bu değişim, eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri için, kenar kolonlarda % 30-40, orta kolonlarda % 15 mertebesindedir. Kirişlere ait eğilme momenti ve kesme kuvveti kesit tesirlerinde, özellikle üst katlarda ve kenar kirişlerde % 40-50 mertebesine kadar ulaşan artışlar meydana gelmiştir. Kolonların kesit tesirlerindeki değişim, özellikle kolon boyutlarının değiştiği 5. ve 10. katlarda çok belirgindir. Yatay yükler için yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar arasındaki fark daha az olmakla beraber ihmal edilemeyecek mertebededir.

Verilen sonuçların seçilen örnek ile sınırlı olduğu düşünülebilir. Ancak, 25 katlı bir betonarme çerçeve için yapılan çözümler sonucunda da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Kolonlara eksantrik olarak saplanan çerçeveye dik kirişlerin kesit tesirlerine etkisi daha düşük mertebelerde kaldığı için burada ayrıca verilmemiştir.

Sonuç olarak, betonarme elemanlarda kesit tesirlerini daha gerçekçi bir şekilde hesaplayabilmek için; eleman eksenleri, elemanların rijitliklerinin hesaplandığı ağırlık merkezlerinden geçmelidir.

## 5. KAYNAKLAR

Abu-Yasein, O. A. and Frederick, G. R. 1993. Analysis of Frames With Semirigid Joints, Green and Associates, St. Clairville, University of Toledo, Toledo, Ohio, U.S.A, 1161.

Anonim, 2000. TS 500 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları 67 sayfa.

Cheung, P. C., Paula, T. and Park, R. 1993. Behavior of Beam-Column Joints in Seismically Loaded RC Frames, The Structural Engineer, Volume 71, No : 8, 129-137.

Dündar, C., Kırıl, E. ve Mengi, Y. 1986. Yapı Mekaniğinde Bilgisayar Programları 328 s. Teknik Yayınevi, Ankara.

Elçi, H. 1996. Düğüm Noktaları İdealleştirilmesinin Kesit Tesirlerine Etkisi 116 s. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.

Shi, G., Atluri and S. N. 1991. Nonlinear Dynamic Response of Frame-Type Structures with Hysteretic Damping at the Joints, AIAA Journal, Published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics 234.

Weaver, Jr. W., Oakberg, R. G. 1969. "Analysis of Frames with Shear Walls by Finite Elements", Symposium on Application of Finite Elements Methods in Civil Engineering, Page 567-607.