

**BETONARME KOLONLARIN NORMAL KUVVET–MOMENT  
ETKİLEŞİM DİYAGRAMLARI****Cengiz DÜNDAR***Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana***Serkan TOKGÖZ***M.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mersin*

**ÖZET:** Eğik eğilme ve eksenel basınca maruz gelişigüzel geometriye sahip betonarme kolonların normal kuvvet–moment etkileşim diyagramlarının hesabı için bir yöntem önerilerek, yöntemi uygulayan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Önerilen yöntemde, malzemelerin doğrusal olmayan davranışları esas alınmakta ve beton basınç bölgesinde literatürde mevcut bulunan çeşitli gerilme–birim deformasyon ilişkileri veya deneysel olarak elde edilmiş gerilme–birim deformasyon ilişkisi kullanılabilir. Çalışmada, literatürde yer alan eğik eğilme ve eksenel yüke maruz betonarme kolonlar eksenel kuvvet–moment etkileşim diyagramlarının belirlenmesi için geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Eğik eğilme, betonarme kolon, gerilme–şekil değiştirme, eksenel kuvvet–moment etkileşim diyagramı

**BIAXIAL INTERACTION DIAGRAMS FOR REINFORCED CONCRETE  
COLUMNS**

**ABSTRACT:** An iterative method is proposed for the computation of interaction diagrams of arbitrarily shaped reinforced concrete columns, and a computer program based on the proposed method has been developed. In the proposed method, nonlinear stress–strain relationships are taken into account and various stress–strain models available in the literature or experimental stress–strain model can be used for the materials. In the study, reinforced concrete columns subjected to biaxial bending and axial load available in the literature have been analyzed for the determination of biaxial interaction diagrams by using the developed computer program and the comparative results have been presented.

**Keywords:** Biaxial bending, reinforced concrete column, stress–strain, axial load–moment interaction diagram

## 1. GİRİŞ

Yapılarda sıkça kullanılan betonarme kolonlar dış yüklerin etkisiyle eğik eğilme ve eksenel basınca maruz kalırlar. Betonarme kolonların analiz ve tasarımı yapının yük etkisi altında davranışının bilinmesi bakımından çok önemlidir. Betonarme kolonlara etki eden eksenel basınç kuvveti ve momentler etkileşim durumundadırlar. Bu nedenle betonarme kolonlar için normal kuvvet–moment karşılıklı etki diyagramları tanımlanmaktadır. Karşılıklı etki diyagramı üzerindeki noktalar taşıma gücünü simgelediğinden bu eğri bir dayanım zarfı niteliğindedir. Karşılıklı etki diyagram yüzeyi, kesitin x-x ve y-y eksenlerine ait elde edilen düzlem karşılıklı etki diyagramlarının birleştirilmesinden meydana gelir. Eğik eğilme ve eksenel basınç altındaki betonarme kolonların davranışı ve normal kuvvet–moment etkileşim diyagramları bir çok araştırmacı tarafından deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Furlong [1], dikdörtgen kesitli betonarme kolon numunelerini eğik eğilme ve eksenel basınç altında test etmiş ve deney sonuçlarını önerdiği teorik yöntem sonuçları ile karşılaştırmıştır. Hsu [2-4], eğik eğilme ve eksenel yüke maruz L-kesitli, kanal kesitli ve T-kesitli betonarme kolonların analizi ve yük-deformasyon davranışlarını belirlemek üzere deneysel ve teorik çalışmalar sunmuştur. Rangan [5], tek eksenli eğilme ve eksenel yük altında dikdörtgen kesitli betonarme narin kolonların analizi için bir yöntem önermiştir. Bazant vd. [6], tek eksenli eğilme altında, narinlik etkisinin de dahil edildiği kolon etkileşim diyagramlarının hesabı için bir yöntem sunmuşlardır. Wang ve Hsu [7], iki eksenli eğilme ve eksenel yük altında betonarme kısa ve narin kolonların yük–deformasyon ilişkilerini tanımlamak için değişik geometrideki kesitler, yükseklik boyunca değişken kesitler ve çeşitli malzemeler içeren kesitler için teorik bir yöntem önermişlerdir. Rodriguez ve Ochoa [8], eğik eğilme ve eksenel basınç altında gelişigüzel geometriye sahip betonarme kısa kolonların iki eksenli karşılıklı etki diyagramlarının elde edilmesi ve betonarme kolonların tasarımı için bir yöntem önermişlerdir. Furlong vd. [9], betonarme kolonların analizi ve yük-deplasman ilişkileri ile normal kuvvet–moment etkileşim diyagramları hesabı için teorik bir yöntem önererek, yöntemin geçerliliğini literatürde mevcut gerçek deneysel kısa ve narin betonarme kolonların analizini yaparak sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Tokgöz [10] ve Dunder vd. [11], betonarme kısa ve narin kolonların davranışını ortaya koyan deneysel ve teorik bir çalışma sunmuşlardır. Deneysel çalışma kapsamında kare ve L-kesitli betonarme kolonlar hazırlayarak eğik eğilme ve eksenel basınç altında test edilmiş ve elde edilen taşıma kapasiteleri, önerdikleri teorik yöntem ile analiz edilerek sonuçları karşılaştırılmıştır.

Sunulan çalışmanın amacı, eğik eğilme ve eksenel yüke maruz gelişigüzel geometriye sahip betonarme kolonların dayanım zarfını tanımlayan normal kuvvet–moment etkileşim diyagramlarının elde edilmesidir. Önerilen yöntemde malzemelerin doğrusal olmayan gerilme–birim deformasyon ilişkileri esas alınmaktadır. Literatürde mevcut kolonlar analiz edilerek normal kuvvet–moment etkileşim diyagramları elde edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

## 2. ETKİLEŞİM DİYAGRAMLARI İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

### 2.1. Problemin Çözümünde Kabul Edilen Varsayımlar

1. Eğilmeden önce düzlem olan kesitler eğilmeden sonra da düzlem kalır (Bernoulli-Navier hipotezi).

2. Betonun gerilme–birim deformasyon ilişkisi literatürde mevcut herhangi bir model olabildiği gibi deneysel olarak belirlenen bir model de esas alınabilmektedir [10,11].

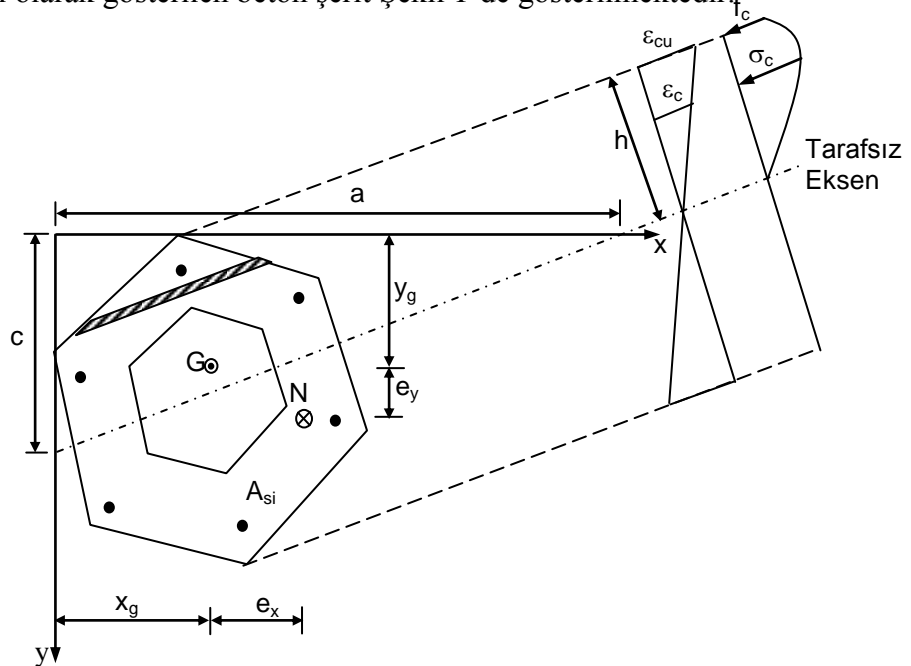
3. Donatı için çekme ve basınçta elasto–plastik davranış kabul edilmektedir:

4. Betonunda oluşan sünme ve büzülme etkileri ihmal edilmektedir.

5. Kesme deformasyonları ihmal edilmektedir.

### 2.2. Problemin Formülasyonu

Betonarme kolonların normal kuvvet–moment etkileşim diyagramları hesaplanırken, betonarme kolonların analiz ve tasarımında yazılan statik denge denklemleri kullanılmaktadır. Oluşturulacak olan doğrusal olmayan denge denklemlerinde yer alan gerilmelerin hesabında malzemelerin gerçek davranışları esas alınmaktadır. Betonun gerilme–birim deformasyon ilişkisinin hesaplara yansıtılabilmesi için kolon kesiti beton basınç bölgesi, tarafsız eksen konumuna paralel olarak şeritlere bölünmektedir ([10,11]). Şeritlerin ağırlık merkezinde hesaplanacak olan birim deformasyonlara karşılık gelen gerilmeler, malzeme için seçilen gerilme–birim deformasyon modeli kullanılarak elde edilmektedir. Gelişigüzel geometriye sahip içerisinde boşluk bulunan betonarme bir kesit, donatı düzeni ve taralı olarak gösterilen beton şerit Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Gelişigüzel geometriye sahip betonarme kesit

Kesite  $e_x$  ve  $e_y$  eksantrisitesi ile aksenal basınç kuvveti (N) etki etmektedir. Elemanın herhangi bir noktasında oluşan birim deformasyon ( $\varepsilon_i$ ), eğilmeden önce düzlem olan kesitlerin eğilmeden sonra da düzlem kaldığı varsayımına göre aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\varepsilon_i = \varepsilon_o + \varphi_x(y_i) + \varphi_y(x_i) \quad (1)$$

burada  $\varepsilon_o$ , kesitin ağırlık merkezinde oluşan birim deformasyon,  $\varphi_x$  ve  $\varphi_y$ , x ve y eksenlerine göre eğriliği temsil etmektedir. Elemanın birim deformasyon dağılımından eğrilikler:

$$\varphi_x = \frac{\varepsilon_{cu}}{c} \quad ; \quad \varphi_y = \frac{\varepsilon_{cu}}{a} \quad (2)$$

şeklinde elde edilir. İfadelerdeki (a) ve (c) parametreleri tarafsız eksen konumunu tanımlayan parametrelerdir (Şekil 1).

Hesaplanan birim deformasyonlar ile malzemeler için kabul edilen gerilme–birim deformasyon modellerinden gerilmeler hesaplanarak, beton ve çelikte oluşan kuvvetler elde edilir ve problemi idare eden denge denklemleri oluşturulur.

### 2.3. Denge Denklemleri

Betonarme elemanların analiz ve tasarımı için oluşturulan denge denklemleri elemanların toplamları cinsinden yazılarak hesap edilir. Oluşturulan denge denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\sum_k^t \bar{A}_{ck} \sigma_{ck} - \frac{A_{st}}{m} \sum_i^m \sigma_{si} - N \quad (3)$$

$$\frac{A_{st}}{m} \sum_i^m (y_i - y_g) \sigma_{si} - \sum_k^t \bar{A}_{ck} \sigma_{ck} (\bar{y}_{ck} - y_g) - M_x = 0 \quad (4)$$

$$\frac{A_{st}}{m} \sum_i^m (x_i - x_g) \sigma_{si} - \sum_k^t \bar{A}_{ck} \sigma_{ck} (\bar{x}_{ck} - x_g) - M_y = 0 \quad (5)$$

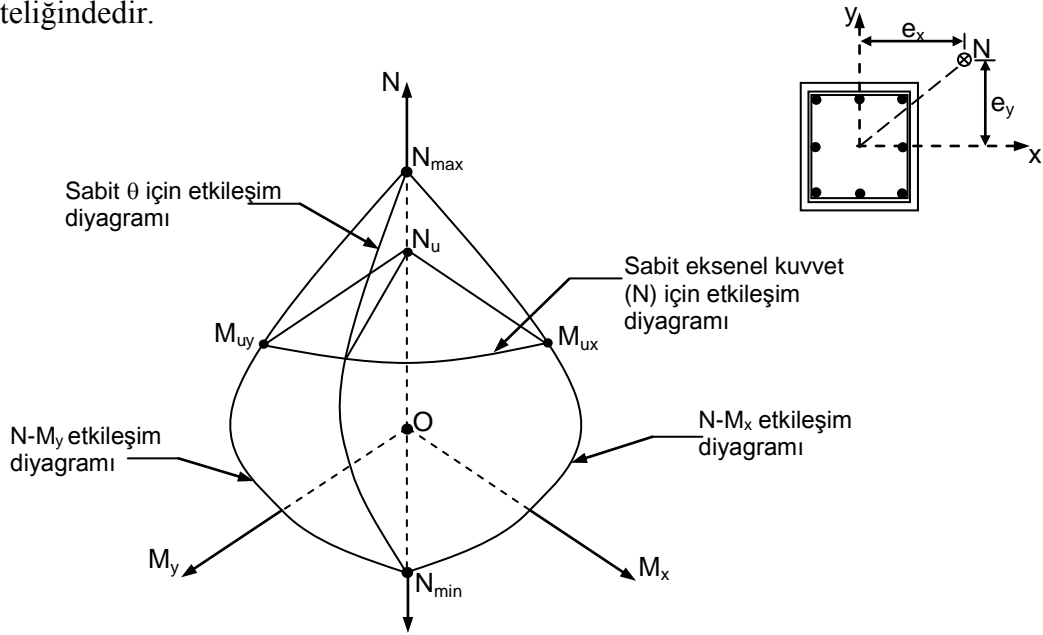
burada,  $A_{st}$ , kesitteki toplam donatı alanını; m, toplam donatı sayısını  $\sigma_{ck}$ , beton basınç bölgesinin k'nci şeritinin ağırlık merkezinde hesaplanan beton basınç gerilmesi;  $\bar{A}_{ck}$  ve  $(\bar{x}_{ck}, \bar{y}_{ck})$ , k'nci şeritin alan ve ağırlık merkezinin koordinatlarını; t, beton basınç bölgesi şerit sayısını;  $\sigma_{si}$ , i'nci donatının gerilmesini;  $x_i$  ve  $y_i$ , i'nci donatının koordinatlarını göstermektedir.

Belirli kesit ve donatı düzeni için yapılacak analizde, Denklem (4,5) tarafsız eksen konumunu belirleyen parametreler (a,c) için çözülerek, Denklem (3)'de yerine konulduğunda kesit taşıma gücü kapasitesi ( $N_u$ ) aşağıdaki ifade ile elde edilmektedir:

$$N_u = \sum_k^t \bar{A}_{ck} \sigma_{ck} - \frac{A_{st}}{m} \sum_i^m \sigma_{si} \cdot \quad (6)$$

#### 2.4. Eğik Eğilme ve Eksenel Basınca Maruz Kolonların Karşılıklı Etki Diyagramı

Eğik eğilme ve eksenel basınca maruz betonarme kolonların üç boyutlu karşılıklı etki diyagramı, kesitin x-x ve y-y eksenlerine ait elde edilen karşılıklı etki diyagramlarının birleştirilmesinden meydana gelir (Şekil 2). Karşılıklı etki diyagramı üzerindeki noktalar taşıma gücünü simgelediğinden bu eğri bir dayanım zarfı niteliğindedir.

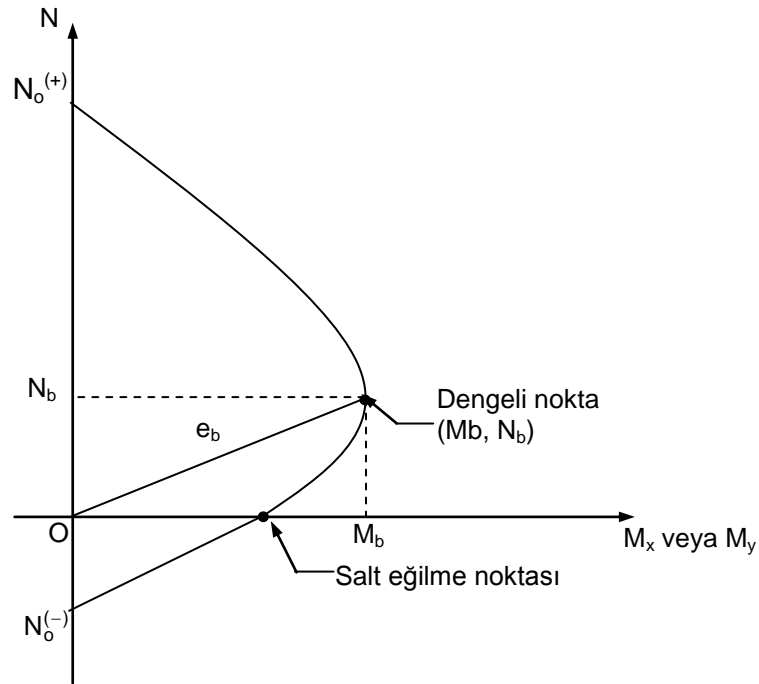


Şekil 2. Betonarme kolon üç boyutlu karşılıklı etki diyagramı

Karşılıklı etki diyagramı sabit moment oranı ( $M_x/M_y = \tan\theta$ ) dikkate alınarak x-x ve y-y yönünde, denge denklemleri kullanılarak elde edilir. Bu yöntemde kesit boyutları, malzeme özellikleri, donatı düzeni ve eksenel yükün uygulama noktası ( $e_x$ ,  $e_y$ ) belirli ise, bu duruma karşılık gelen ve önceki bölümlerde elde edilmiş olan doğrusal olmayan denge denklem takımının çözümünden taşıma gücü değeri ( $N_u$ ), o noktada belirlenmiş olur. Taşıma gücüne karşılık gelen iki yöndeki momentler;

$$M_{ux} = N_u (e_y) ; \quad M_{uy} = N_u (e_x) \quad (7)$$

olarak belirlenmiş olmaktadır. Dolayısı ile  $\theta$  sabit kalmak üzere her bir  $M_x/M_y=\tan\theta$  veya  $e_y/e_x=\tan\theta$  için eğik eğilme ve aksenal yüke maruz elemana ait kesit taşıma gücü kapasitesi ve karşılık gelen momentler bir çok noktada elde edilerek her bir yön için düzlem karşılıklı etki diyagramları elde edilmektedir (Şekil 3). Bu yöntemle elde edilen diyagramların çizimi oldukça kolay ve kesit analiz ve tasarımı için kullanışlı olmaktadır.



**Şekil 3.** Betonarme kolon normal kuvvet–moment karşılıklı etki diyagramı

Betonarme kolon kesiti için elde edilen taşıma gücü değeri ( $N_u$ ), kesit salt aksenal basınç taşıma gücü kapasitesi ( $N_o^{(+)}$ ) ve kesit salt aksenal çekme kapasitesi ( $N_o^{(-)}$ ) arasında değişmektedir.  $N_o^{(+)}$  ve  $N_o^{(-)}$  değerleri betonarme kolonlar için;

$$N_o^{(+)} = 0.85 f_c A_{cn} + A_{st} f_y \quad (8)$$

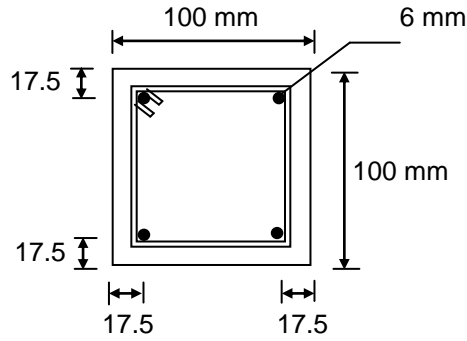
$$N_o^{(-)} = -A_{st} f_y \quad (9)$$

denklemleri ile tanımlanmaktadır. Burada,  $A_{cn}$ , net beton kesit alanı;  $A_{st}$ , boyuna donatı toplam kesit alanı;  $f_c$ , beton basınç dayanımı;  $f_y$ , boyuna donatı akma dayanımını göstermektedir.

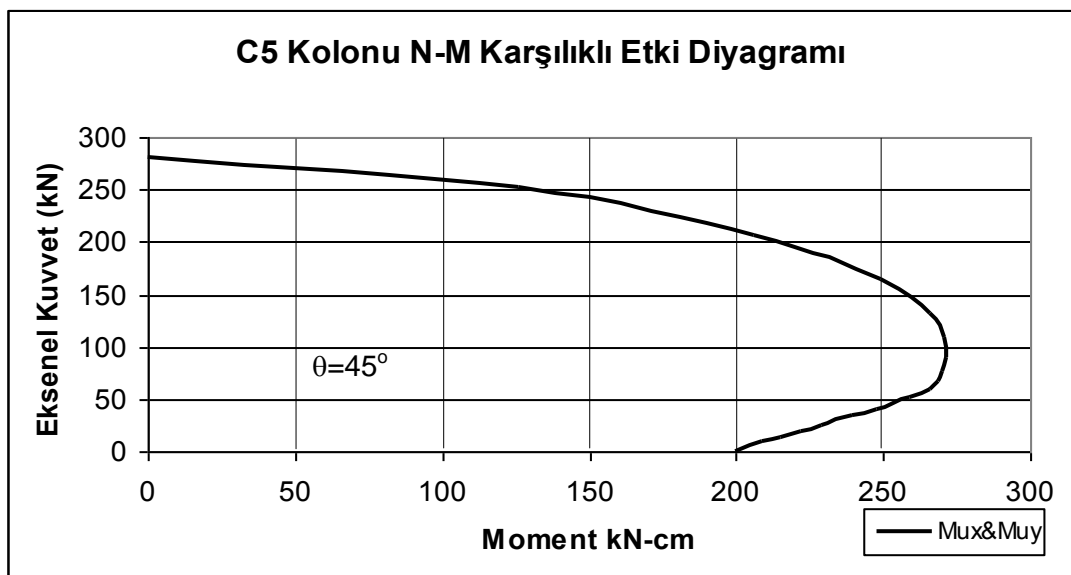
### 3. BETONARME KOLON BİLGİSAYAR ANALİZİ

#### 3.1. C5 Betonarme Kolonu Analizi [10,11]

Tokgöz [10] ve Dundar vd. [11] tarafından test edilen betonarme kolon (C5), normal kuvvet–moment etkileşim diyagramı için analiz edilmiştir. Kesite eksenel yükleme;  $e_x=30$  mm ve  $e_y=30$  mm eksantrisite ile uygulanmıştır (Şekil 4). Kolonun silindir beton basınç dayanımı;  $f_c=25.02$  MPa, çelik akma dayanımı;  $f_y=630$  MPa olarak verilmektedir. Kesit boyuna donatı toplam kesit alanı;  $A_{st}=113.08$  mm<sup>2</sup> olarak tasarlanmıştır. Analizde beton basınç bölgesi için Hognestad Modeli [10-12] kullanılarak elde edilen normal kuvvet–moment etkileşim diyagramı Şekil 5’de sunulmuştur.



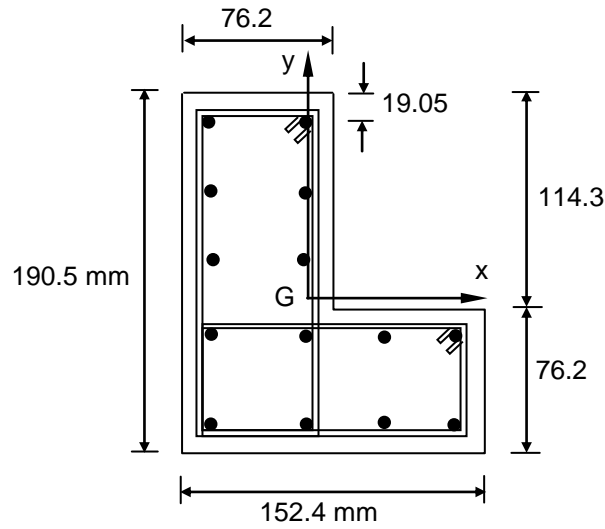
Şekil 4. C5 betonarme kolon kesiti ([10,11])



Şekil 5. C5 kolonu normal kuvvet–moment karşılıklı etki diyagramı

### 3.2. L-Kesitli Betonarme Kolon Analizi [2]

Hsu [2], L-kesitli betonarme kolon hazırlayarak eğik eğilme ve aksenal yük altında test etmiştir (Şekil 6). Kolona etki eden yükün eksantrisite değeri;  $e_x=16.33$  mm ve  $e_y=16.33$  mm dir. Kolonun silindir beton basınç dayanımı;  $f_c=24.13$  MPa, çelik akma dayanımı;  $f_y=357.16$  MPa olarak verilmektedir. Kesit içinde 14 adet yayılı boyuna donatı toplam kesit alanı;  $A_{st}=996.8$  mm<sup>2</sup> olarak tasarlanmıştır.

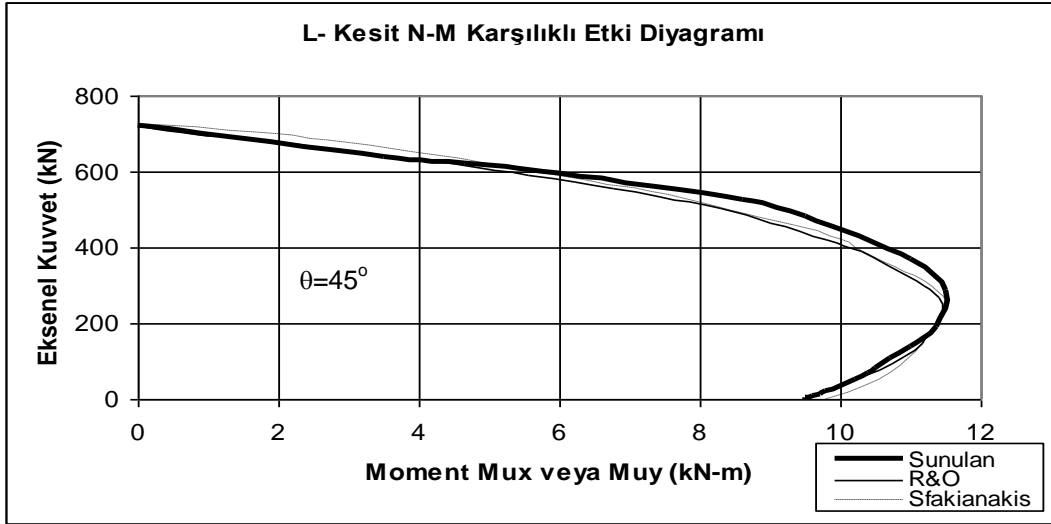


Şekil 6. L-kesitli betonarme kolon ([2])

L-kesitli kolon örneği, beton basınç bölgesi için sargılı Kent ve Park Modeli (K&P<sup>(c)</sup>) [10,11,13] ve çelik için elasto-plastik davranış esas alınarak taşıma gücü kapasitesi için geliştirilen program ile çözülmüş ve taşıma gücü değeri;  $N_u=524.17$  kN olarak bulunmuştur. Elde edilen değer Hsu [2] tarafından verilen teorik taşıma gücü değeri;  $N_{teorik}=518.19$  kN ile uyum içerisindedir.

Ele alınan örnek problem normal kuvvet-moment karşılıklı etki diyagramı elde etmek amacı ile Rodriguez, Ochoa [8] ve Sfakianakis [14] tarafından da analiz edilerek L-kesitli kolona ait normal kuvvet-moment karşılıklı etki diyagramını grafik ortamda sunmuşlardır. Sunulan çalışmada, L-kesitli kolonun normal kuvvet-moment karşılıklı etki diyagramı için geliştirilen program ile analiz edilerek, Rodriguez, Ochoa [8] ve Sfakianakis [14] tarafından sunulan diyagramlarla grafik ortamda Şekil 7'de karşılaştırılmaktadır.





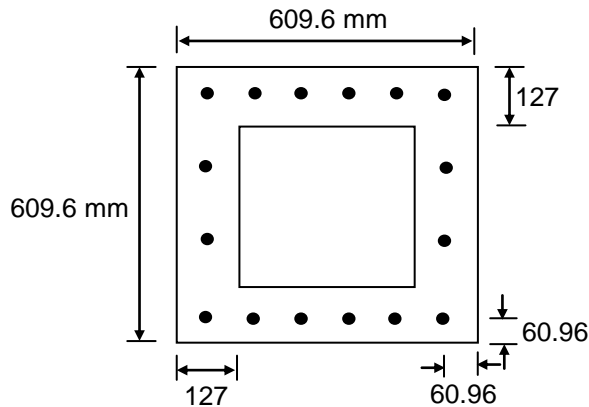
Şekil 7. L-kesitli kolon normal kuvvet–moment karşılıklı etki diyagramı

Diyagramlar incelendiğinde analiz sonucunda elde edilen değerlerin, Rodriguez ve Ochoa [8] ve Sfakianakis [14] tarafından sunulmuş olan değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir.

### 3.3. Betonarme Kutu Kesit Analizi [15]

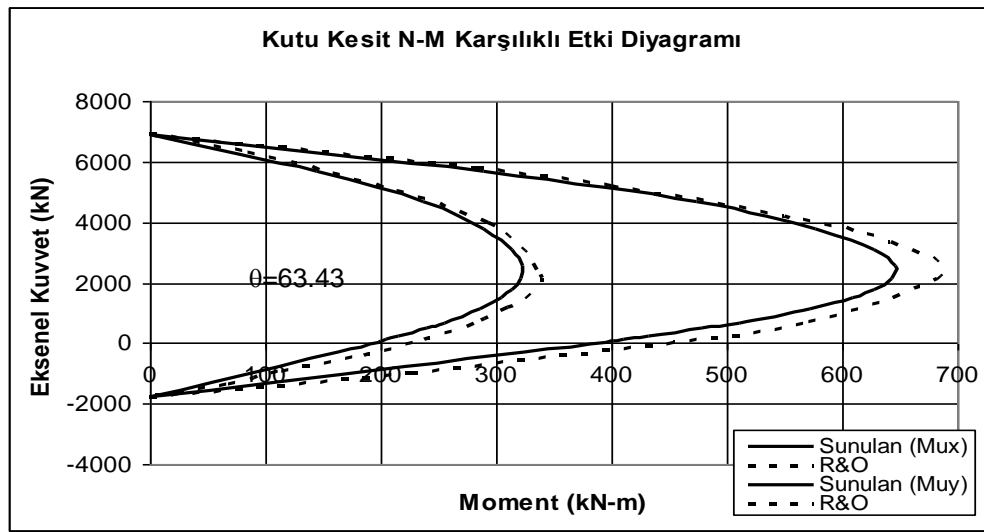
Dundar [15] tarafından sunulan ve boyutları ve donatı düzeni Şekil 8’de gösterilen kutu kesitli kolona;  $N=2541.7$  kN,  $M_x=645.6$  kNm ve  $M_y=322.8$  kNm tesirleri etkisi altındadır. Kesitte toplam donatı alanı;  $A_{st}=3928.16$  mm<sup>2</sup>, beton basınç dayanımı;  $f_c=27.58$  MPa ve çelik akma dayanımı;  $f_y=413.69$  MPa olarak tasarlanmıştır.

Kutu kesit geliştirilen program ile beton basınç bölgesinde Hognestad Modeli [10-12] ve çelik için elasto–plastik davranış esas alınarak analiz edilmiştir.



Şekil 8. Betonarme kolon kutu kesit ([15])

Yapılan analiz sonucunda, kutu kesitli kolonun normal kuvvet–moment karşılıklı etki diyagramı geliştirilen program ile x-x ve y-y yönünde elde edilmiştir. Aynı kesit Rodriguez ve Ochoa [8] tarafından da çözülmüş ve etkileşim diyagramları elde edilmiştir. Kutu kesite ait karşılıklı etki diyagramı, Rodriguez ve Ochoa [8], (R&O) tarafından sunulan karşılıklı etki diyagramı ile grafik ortamda karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu gözlenmiştir (Şekil 9).

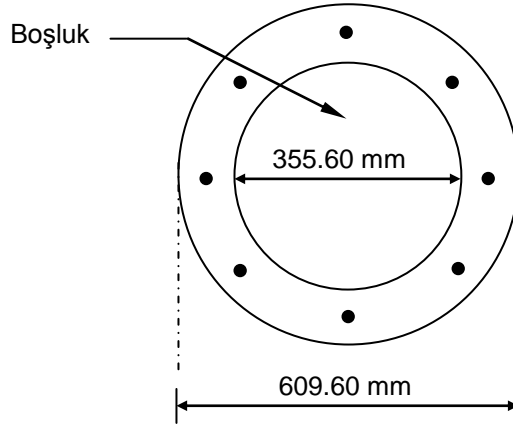


Şekil 9. Kutu kesitli kolon normal kuvvet–moment etkileşim diyagramı

### 3.4. Dairesel Kesitli Betonarme Kolon Analizi [8]

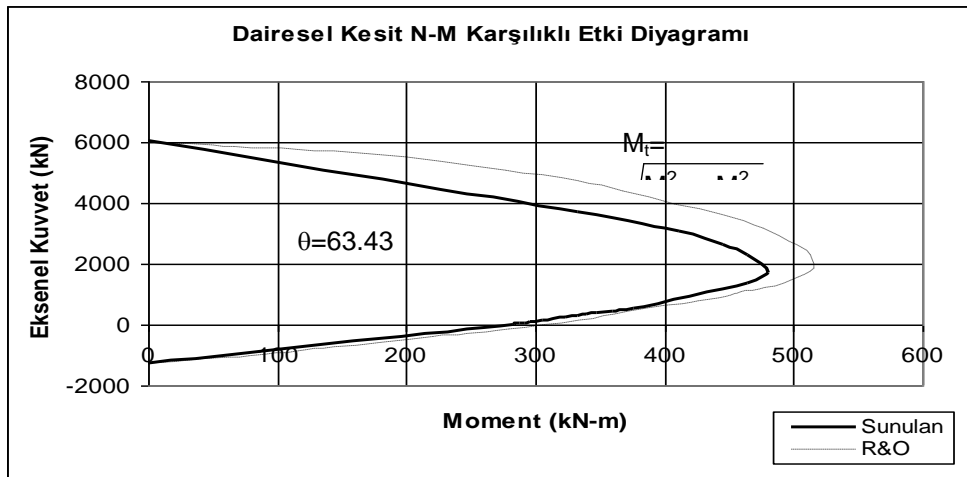
Rodriguez ve Ochoa [8] tarafından sunulan içi boş dairesel kesitli kolon örneği geliştirilen program ile analiz edilmiştir (Şekil 10). Kesite etki eden eksenel kuvvetin uygulama noktası;  $e_x=127$  mm ve  $e_y=254$  mm dir. Çözümde beton basınç bölgesi gerilme–birim deformasyon ilişkisi için Hognestad Modeli [10-12] esas alınmış ve modelde eğrinin maksimum beton basınç dayanımı;  $f_c=27.58$  MPa olarak kabul edilmiştir. Kesitin ortasında yayılı toplam boyuna donatı alanı;  $A_{st}=3103.58$  mm<sup>2</sup> ve çelik için elasto–plastik gerilme–birim deformasyon ilişkisi kabul edilerek modelde akma gerilmesi için;  $f_y=413.69$  MPa esas alınmıştır. Sunulan örnek problemin geliştirilen program ile çözümünde, daire kesitin dış ve iç kenarları 16 noktada poligon olarak tanımlanmıştır.

BETONARME KOLONLARIN NORMAL KUVVET–MOMENT  
ETKİLEŞİM DİYAGRAMLARI



Şekil 10. Dairesel kesitli betonarme kolon ([8])

Geliştirilen program ile çözülen dairesel kesitli kolon için teorik olarak elde edilen kesit taşıma gücü;  $N_u=1690.52$  kN değerinin, Rodriguez ve Ochoa [8] tarafından teorik olarak elde edilen taşıma gücü değeri  $N_u=1783.34$  kN ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Probleme ait normal kuvvet–bileşke moment ( $N-M_t = \sqrt{M_{ux}^2 + M_{uy}^2}$ ) karşılıklı etki diyagramı geliştirilen bilgisayar programı ile elde edilerek, Rodriguez ve Ochoa [8] tarafından verilen grafikte birlikte Şekil 11’de sunulmuştur.



Şekil 11. Dairesel kesitli kolon normal kuvvet–moment etkileşim diyagramı

#### 4. SONUÇLAR

Sunulan çalışmada, eğik eğilme ve eksenel basınca maruz gelişigüzel geometriye sahip betonarme kolonların analizi ve eksenel kuvvet–moment etkileşim diyagramlarının belirlenmesi için bir yöntem önerilerek, yönteme dayalı sonuca hızlı

yakınsayan bir bilgisayar programları geliştirilmiştir. Önerilen teorik yöntemde, malzemelerin doğrusal olmayan davranışları esas alınmaktadır.

Çalışma kapsamında, literatürde yer alan deneysel ve teorik betonarme kolon çalışmaları ele alınarak analiz edilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen eksenel kuvvet–moment etkileşim diyagramlarının literatürde sunulan eğrilerle uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir.

Sunulan analiz sonuçları, beton basınç bölgesi için kabul edilen gerilme–birim deformasyon modeli şeklinin, eğik eğilme ve eksenel basınç altında kolon taşıma gücü kapasitesi üzerinde fazla etkili olmadığını, buna karşın modelde izin verilen maksimum birim kısalma değerinin ( $\epsilon_{cu}$ ) taşıma gücü kapasitesi değeri üzerinde önemli rol oynadığını ortaya koymuştur.

## 5. KAYNAKLAR

1. Furlong, R.W., “Concrete columns under biaxially eccentric thrust”, *ACI Journal*, 1093-1118, 1979.
2. Hsu, C.T., “Biaxially loaded L-shaped reinforced concrete columns”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 111(12), 2576-2595, 1985.
3. Hsu, C.T., “Channel-shaped reinforced concrete compression members under biaxial bending”, *ACI Structural Journal*, 84, 201-211, 1987.
4. Hsu, C.T., “T-shaped reinforced concrete members under biaxial bending and axial compression”, *ACI Structural Journal*, 86(4), 460-468, 1989.
5. Rangan, B.V., “Strength of reinforced concrete slender columns”, *ACI Structural Journal*, 87(1), 32-38, 1990.
6. Bazant, Z. P., Cedolin, L., Tabbara, M. R., “New method of analysis for slender columns”, *ACI Structural Journal*, 88(4), 391-401, 1992.
7. Wang, G. G., Hsu, C. T. T., “Complete biaxial load deformation behavior of RC columns”, *ASCE, Journal of Structural Engineering*, 118(9), 2590-2609, 1992.
8. Rodriguez, J.A. Ochoa, J.D., “Biaxial interaction diagrams for short RC columns of any cross section”, *Journal of Structural Engineering*, 125(6), 672-683, 1999.
9. Furlong, R.W., Hsu, C.T.T., Mirza, S.A., “Analysis and design of concrete columns for biaxial bending-overview”, *ACI Structural Journal*, 101(3), 413-423, 2004.
10. Tokgoz, S., “Öngerilmeli ve betonarme elemanların iki eksenli eğilme ve eksenel yük etkisi altında davranışı”, *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 259 sayfa, 2006.
11. Dundar, C., Tokgoz, S., Tanrikulu, A.K., Baran, T., “Behaviour of reinforced and concrete-encased composite columns subjected to biaxial bending and axial load”, *Building and Environment*, 43(6), 1109-1120, 2008.
12. Hognestad, E., Hanson, N.W., McHenry, D., “Concrete stress distribution in ultimate stress design”, *ACI Journal*, 27(4), 455-479, 1955.

BETONARME KOLONLARIN NORMAL KUVVET-MOMENT  
ETKİLEŞİM DİYAGRAMLARI

**13.** Kent, D.C., Park, R., „Flexural members with confined concrete”, *Journal of Structural Division, ASCE*, 97(7), 1969-1990, 1971.

**14.** Sfakianakis, M.G., “Biaxial bending with axial force of reinforced, composite and repaired concrete sections of arbitrary shape by fiber model and computer graphics”, *Advances in Engineering Software*, 33, 227-242, 2002.

**15.** Dundar, C., “Concrete box sections under biaxial bending and axial load”, *Journal of Structural Engineering*, 116, 860-865, 1990.