

İKİ EKSENLİ EĞİLME ETKİSİNDEKİ DİKDÖRTGEN KESİTLİ KISA BETONARME KOLONLARIN BOYUTLANDIRILMASI

Şerif SAYLAN*

ÖZET

İki asal eksenine göre eğilme momenti ve eksenel basınç etkisindeki kısa betonarme kolonların taşıma gücüne göre analitik çözümü için bilgisayar programı yazılmıştır. Program kolonunun boyutlarındaki ve kullanılan malzemelerdeki farklı özellikleri göz önüne almakta, çözümde kolaylık sağlamak ve hatalardan uzak olduğu kadar zamandan da tasarruf sağlamaktadır. Diğer metotlarla çözülmüş örnekler bu programla da çözülerek karşılaştırılmıştır.

ABSTRACT

A computer program was written for the analytical solutions of the short rectangular reinforced concrete columns under axial load together with bending moments about both of the principal axes of the columns using the ultimate strength method. The different properties of the columns dimensions and materials used are considered in the analysis of the columns with this program. Solutions with this program is easier, errors are controlled and also saves time. Results of a few problems which were solved by other methods using the charts were compared with the results of the present study.

* Yard. Doç. Dr.; U.Ü. Balıkesir Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü.

GİRİŞ

Günümüzde yapıların üç boyutlu analizi çeşitli yük kombinasyonları uygulanarak yapılabilmektedir. Son yapılan araştırmalar moment etkisinde kalan dikdörtgen kesitli kolonların dinamik yüklerden dolayı iki eksenli eğilmeye göre boyutlandırılması gerektiğini vurgulamıştır¹. İki eksenli eğilme etkisindeki kolonların boyutlandırılması için yapılan çalışmalarda genel bir kapalı çözüm vermek mümkün olmamıştır. Problemin çözümü için bugüne kadar çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bu metotları, Park ve Pauley², Moran³, Ersoy⁴ un da belirttiği gibi, şu şekilde gruplayabiliriz.

1. Superpozisyon metodu

2. Eşdeğer tek eksenli eğilme problemine indirgeme metodu

3. İki eksenli eğilmede kırılma yüzeyinin tahmini metotları (Bu metotlardan en önemlisi Parme⁵ tarafından geliştirilen Bresler⁶ metodudur.)

4. Tablolar ve abaklar.

Uygulamada zamandan tasarruf için, bir eksenli eğilmede olduğu gibi, iki eksenli eğilme içinde doğrudan tablo veya abaklardaki değerlerle hesap yapılmak istenir. Mevcut tabloların çoğu, ACI-SP17A⁷, CRSI Handbook⁸, CP110⁹ gibi, üçüncü gruptaki metotlardan birine göre düzenlenmiştir. Ouvrier¹⁰ tarafından geliştirilmiş tablolar ise elastik yönteme göre hazırlanmıştır. Türkçe yayınlanmış betonarme kitaplarının çoğunda, Özden¹¹, Aka, Keskinel ve Arda¹², Ersoy⁴ gibi, iki eksenli eğilmeye göre kolonların boyutlandırılması için tablolar verilmiş olmakla birlikte bunların uygulamada kullanılmasında güçlük çekilmektedir. Çakıroğlu ve Özer¹³ tarafından geliştirilmiş abaklar ise uygulamada kolaylıkla kullanılabilir niteliktedir.

Bilgisayarların yaygın olarak kullanılmaya başlanması ve kapasitelerinin artması, bilgisayar programlarının geliştirilmesine yardım etmiştir. Kolon hesaplarını tablo ve abaklarla uğraşmadan, kullanılan malzeme özelliklerinin bilgisayara verilmesiyle çözüme ulaşmak hem zaman hem de işlemlerin doğruluğu açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, iki eksenli eğilme etkisindeki kolonların hesabı için bir program hazırlanmıştır. Programda denge denklemlerinden yararlanılarak tarafsız eksen iterasyonla bulunmuş, gerilme kontrollerinden sonra kullanılacak donatı hesap edilmiştir.

TAŞIMA GÜCÜ ESASINA GÖRE KESİT HESABI

A. Kabuller ve Esaslar:

Eğilme etkisindeki betonarme kesitlerin hesabında olduğu gibi burada da gerekli denklemlerin kurulmasında a) kesitin şekil değiştirmeden sonra düzlem kaldığı, b) betonun çekme gerilmeleri almadığı, c) beton ile çelik arasında kaymanın olmadığı kabul edilmiştir. Çelik ve betondaki uzama oranları ile malzeme

$$M_x = \int_A f(x, y) y \, dA = P \cdot Y_p \quad (7)$$

$$M_y = \int_A f(x, y) x \, dA = P \cdot X_p \quad (8)$$

şeklinde ifade edilir.

Denklem 1 ve 3 malzemenin lineer elastik olması halinde tüm kesitte geçerlidir. Malzeme elastoplastik davranış gösterdiğinde plastik bölgenin sınırının belirtilmesi gerekir. Bunu da plastiklik sınırında malzemenin gerilme dayanımından hareketle hesap edebiliriz.

Betonda plastik bölgedeki gerilme $\beta_k \cdot f_{cd}$ ve plastik şekil değiştirme ϵ_{cu} ile ifade edilirse

$$f(x, y) = \beta_k f_{cd} = \epsilon_{cu} E_c \left(1 - \frac{x}{a} - \frac{y}{b}\right) \quad (9)$$

olur. Burada E_c betonun elastisite modülüdür ve $ab = \frac{\beta_k f_{cd}}{E_c \epsilon_{cu}}$ olarak ifade edilirse

$$\frac{x}{a} - \frac{y}{b} = 1 - ab \quad (10)$$

plastik bölgenin sınırını veren tarafsız eksene paralel olarak kaymış doğru denklemi elde edilir. Aynı şekilde kesit içindeki donatının çekme ve basınçta akmaya başladığı sınırlar çekmede

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1 - bs \quad (11)$$

ve basınçta

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1 + bs \quad (12)$$

şeklinde olur. Burada $bs = \frac{f_{yd}}{E_s \cdot \epsilon_{cu}}$ dır. E_s çeliğin elastisite modülüdür.

Denklem 4, 5 ve 6'da verilen integraller malzemenin davranış özellikleri de göz önüne alınarak hesaplanırsa, 4 denklemi

$$P_u = \epsilon_{cu} \cdot E_c \left(A_{uc} - \frac{Q_{oy}}{a} - \frac{Q_{ox}}{b} \right) \quad (13)$$

olur. Burada $\frac{f_{yd}}{\beta_k \cdot f_{cd}} = m$ olarak gösterilirse

$$A_u = A - ab (A_{uc} - (m - 1) (A_{bs} - mA_{cs})) \quad (14)$$

dır. A elastik bölgedeki beton kesit alanı, A_{uc} , A_{bs} ve A_{cs} ise plastik basınç bölgesindeki beton kesit alanı ile basınç ve çekme bölgelerindeki dönüştürülmüş

donatı kesit alanlarıdır. Qoy ve Qox ise elastik bölgenin eksenlere göre statik momentleridir.

Denklem 5'deki integral hesap edilirse

$$M_{ux} = P_u \cdot Y_p = \epsilon_{cu} \cdot E_c \left(Q_{ux} - \frac{I_{xy}}{a} - \frac{I_{ox}}{b} \right) \quad (15)$$

olur ve

$$Q_{ux} = Q_{ox} - ab (Q_{xc} - (m-1) (Q_{bxs} - mQ_{cxs})) \quad (16)$$

dır. Burada Qxc plastik basınç bölgesindeki betonun, Qbxs ve Qcxs plastik basınç ve çekme bölgesindeki donatının statik momentleridir. Ixy ve Iox tüm elastik kesitin atalet momentleridir. Denklem 6 daki integralde

$$M_{uy} = P_u \cdot X_p = \epsilon_{cu} \cdot E_c \left(Q_{uy} - \frac{I_{oy}}{a} - \frac{I_{xy}}{b} \right) \quad (17)$$

olur.

$$Q_{uy} = Q_{oy} - ab (Q_{yc} - (m-1) (Q_{bys} - mQ_{cys})) \quad (18)$$

dır. Qyc plastik basınç bölgesindeki betonun, Qbys ve Qcys plastik basınç ve çekme bölgelerindeki donatının y eksenine göre statik momentleridir. Denklem 12'nin sağ tarafı 15 ve 17'deki Pu yerine konup elde edilen iki bağıntıdan a ve b değerleri çekilirse

$$a = \frac{(I_{xy} - Y_p Q_{oy}) (I_{xy} - X_p Q_{ox}) - (I_{ox} - Y_p Q_{ox}) (I_{oy} - X_p Q_{oy})}{(Q_{ux} - Y_p A_u) (I_{xy} - X_p Q_{ox}) - (Q_{uy} - X_p A_u) (I_{ox} - Y_p Q_{ox})} \quad (19)$$

ve

$$b = \frac{(I_{xy} - Y_p Q_{oy}) (I_{xy} - X_p Q_{ox}) - (I_{ox} - Y_p Q_{ox}) (I_{oy} - X_p Q_{oy})}{(Q_{uy} - X_p A_u) (I_{xy} - Y_p Q_{oy}) - (Q_{ux} - Y_p A_u) (I_{oy} - X_p Q_{oy})} \quad (20)$$

olur. a ve b başlangıçta sadece beton kesit alanı değerleri alınarak hesaplanmakta, bulunan a ve b değerleri ile iterasyona devam edilmektedir. Bir önceki adımda kullanılan a ve b değerlerine yakın değerler bulunduğu anda iterasyon sona ermekte, denklem 12, 15 ve 17 den hesaplanan Pu değeri taşıyan P ile karşılaştırılmakta ve kesitteki maksimum gerilme kontrolü sağlandığında donatı hesap edilmektedir.

YORUM VE ÖNERİLER

Bu programla yapılan çözümler, örneklerde de görüldüğü gibi, oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Özellikle bilgisayar sistemi bulunan bürolarda, kolon hesaplarının bu şekilde yapılması herhangi bir nedenle yapılacak hatayı önlediği gi-

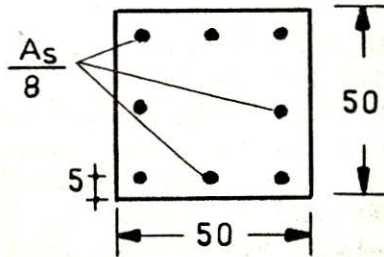
bi zamandan da oldukça büyük tasarruf sağlamaktadır. Program verilen kolon boyutları için donatıyı hesaplayarak boyutlama problemlerinin çözümünü yapmakla birlikte kesitteki maksimum donatı ve gerilmelerini de kontrol ettiğinden verilen boyut ve hesaplanan donatı için gerilme kontrolünü de yapmaktadır. Kullanılan malzemelerin çeşitli özelliklerine bağlı olarak çözüm yapıldığından malzeme özelliklerindeki gelişme her an göz önüne alınabilmekte ve böylece çözümlerde bir kısıtlama söz konusu olmamaktadır.

Tarafsız eksenin iterasyonla bulunmuş olması, bilgisayar kullanmadan işlem yapmanın uygulamada mümkün olmaması bu metodun dezavantajları olarak düşünülebilir.

Bundan sonraki çalışmalarda, farklı geometrideki kolonlar için programların geliştirilmesi, kolonların yapıdaki gerçek yüklenme durumları için deneylerin yapılması ve çözümlerin deney neticeleri ile karşılaştırılması gerekir.

ÖRNEKLER

- | | | | |
|----|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1. | $P_u = 150 \text{ ton}$ | $M_{ux} = 27.42 \text{ tm}$ | $M_{uy} = 20.57 \text{ tm}$ |
| | Malzeme : | $f_{ck} = 250 \text{ kg/cm}^2$ | $f_{yk} = 4200 \text{ kg/cm}^2$ |
| | $d = 50 \text{ cm}$ | $t = 50 \text{ cm}$ | |

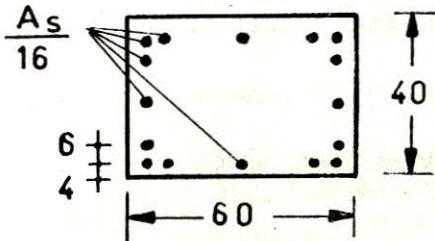


Şekil: 3 - Kolon boyutları ve donatı dağılımı

Hesaplanan donatı:
 $A_s = 38.30 \text{ cm}^2$ (15)

$A_s = 34.25 \text{ cm}^2$ (Bu çalışmada)

- | | | | |
|----|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 2. | $P_u = 300 \text{ ton}$ | $M_{ux} = 20 \text{ tm}$ | $M_{uy} = 25 \text{ tm}$ |
| | Malzeme: | $f_{ck} = 250 \text{ kg/cm}^2$ | $f_{yk} = 4200 \text{ kg/cm}^2$ |
| | $d = 60 \text{ cm}$ | $t = 40 \text{ cm}$ | |



Şekil: 4 - Kolon boyutları ve donatı dağılımı

Hesaplanan donatı :

$$A_s = 50.07 \text{ cm}^2 (15)$$

$$A_s = 45.60 \text{ cm}^2 (\text{Bu çalışmada})$$

3. $P_u = 90 \text{ ton}$

Malzeme:

$$d = 40 \text{ cm}$$

$$M_{ux} = 23.06 \text{ tm}$$

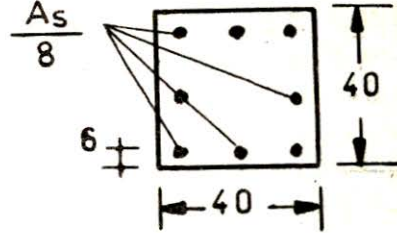
$$f_{ck} = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$t = 40 \text{ cm}$$

$$M_{uy} = 10.38 \text{ tm}$$

$$f_{yk} = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

Şekil: 5 - Kolon boyutları ve donatı dağılımı



Hesaplanan donatı :

$$A_s = 50.00 \text{ cm}^2 (16)$$

$$A_s = 48.40 \text{ cm}^2 (\text{Bu çalışmada})$$

KAYNAKLAR

1. OLIVA, M.G. and BERTERO, V.V.: "Shaking Table Testing of a Reinforced Concrete Frame With Biaxial Response", Report No. UCB/EERC, 80/28, Uni. of California, 1980.
2. PARK, R. and PAULEY, T.E.: Reinforced Concrete Structures, John Wiley, New York, N.Y., 1975.
3. MORAN, F.: "Design of Reinforced Concrete Sections Under Normal Loads and Stresses in the Ultimate Limit State", Bulletin D'Information No. 83, Comite European du Beton, Paris, April, 1972.
4. ERSOY, Uğur: Betonarme: Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Cilt I, 2. Baskı, Evrim Basım-Yayımları Dağıtım, İstanbul, 1987.
5. PARME, A.L., NIEVES, J.M. AND GOUWENS, A.: "Capacity of Reinforced Rectangular Columns Subject to Biaxial Bending", ACI Journal, Proceedings, 63, September, 1966.
6. BRESLER, B.: "Design Criteria for Reinforced Columns Under Axial Load and Biaxial Bending", ACI Journal, Proceedings, Vol. 57, November, 1960.
7. Ultimate Strength Design Handbook: Vol. 2, SP-17-A, American Concrete Institute, Box 4754 Redford Station, Detroit, Michigan.
8. CRSI Handbook, Concrete Reinforcing Steel Institute, 180 North LaSalle Street, Chicago, Illinois, 1978.
9. CP110 (British Standard BS8110), British Standards Institution, London, 1985.
10. OUVRIER, E.: İki Eksenli Eğilmeye Maruz Kolonların Hesabı, Güven Kitabevi, Ankara, 1974.

11. ÖZDEN, Kemal: Betonarme I, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, 1978.1
12. AKA, İ., KESKİNEL, F. ve ARDA, T.S.: Betonarmeye Giriş, Birsen Kitabevi, İstanbul, 1981.
13. ÇAKIROĞLU, A. ve ÖZER E.: Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1980.
14. ÇAKIROĞLU, A. ve ÖZER, E.: Eğik Eğilme ve Eksenel Basınç Etkisindeki Betonarme Kesitlerde Taşıma Gücü Formülleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Teknik Rapor No. 40, Ocak, 1981.
15. ÇAKIROĞLU, A. ve ÖZER, E.: "Eğik Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Dikdörtgen Betonarme Kesitlerde Taşıma Gücü Formülleri", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni, Sayı 4, Nisan, 1986.
16. WANG, C.K. and SALMON, C.G.: Reinforced Concrete Design, Second Edition, Intext Educational Publishers, New York, 1973.