

DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME KOLONLARIN YAKLAŞIK HESABI İÇİN BASİT BİR FORMÜL

Sabahattin Aykaç, Bengi Aykaç, Meryem Böcek

Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, 06570 Türkiye.
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, 06570 Türkiye.
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, 06570 Türkiye.
Telefon: +90 (312) 582-3208, saykac@gazi.edu.tr, baykac@gazi.edu.tr, meryembocek@gazi.edu.tr

Özet—Dikdörtgen kesitli betonarme kolonların yaklaşık hesabında kullanılmak üzere basit ve kullanışlı bir formül geliştirilmiştir. Formül oluşturulurken belirli bir hatanın ($\pm 15\%$) olabileceği baştan kabullenilmiştir. Formül; malzeme, yükler ve boyutsuz eksantrisite oranı biliniyorken, kesit boyutlarını veya donatı oranını doğrudan vermektedir. Boyutsuz eksenel yük düzeyinin 0.50 den büyük olduğu durumlarda geçerli olan formülden elde edilen sonuçlar, birçok kolonun gerçek çözümleri ile karşılaştırılmıştır. Hata oranının büyük çoğunlukla $\pm 15\%$ sınırları arasında kaldığı ve gerçeğe oldukça yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler— Kolon tasarımı, Taşıma gücü, Betonarme, Yaklaşık.

Abstract— A simple and useful formula is derived for the approximate design of rectangular reinforced concrete columns. A possible error in the order of ($\pm 15\%$) was considered acceptable when developing the formula. The percentages of reinforcement or cross-sectional dimensions can be directly calculated from this formula, if the material properties, loads and the dimensionless eccentricity factors are known. The results obtained from the formula, which is applicable when the dimensionless axial load level is higher than 0.50, were compared to the exact solutions of numerous columns. It is observed that the error ratio is mostly between -15% and +15% and the results are fairly close to the actual results.

Index Terms— Column design, Bearing capacity, Reinforced, Approximate.

I. GİRİŞ

Betonarme taşıyıcı sistemlerin en önemli elemanlarından biri kolonlar olmasına rağmen, çoğu zaman konu ile ilgili mühendis veya teknik elemanlar, kolonlar üzerine diğer taşıyıcı elemanlardaki kadar rahat yorum yapamazlar. Kolon hesaplarında kolona etki eden yükler (N_d , M_d) biliniyorken bile, kolonlar hakkında bir abak ya da araca ihtiyaç duymaksızın, fikir yürütmek genellikle pek kolay değildir. Özellikle mevcut bir projenin kontrolünü yapan mühendisler kolonların yeterli olup olmadığını tahmin etmekte genellikle güçlük çekerler. Bu nedenle, proje kontrolü yapan teknik eleman çoğu zaman kesin tasarımı tekrarlayarak sonucu kontrol etmek zorunda kalır. Ayrıca öntasarım aşamasında da benzer güçlükler yaşanır. Tecrübesiz mühendisler, konuyla yakından ilgili olan mimar veya teknikerler de bu türden sorunları tecrübeli

meslektaşlarına göre genelde daha sık yaşarlar. Güçlüklerden biri, kolona etki eden yükleri rahatlıkla taşıyabilecek fakat gereğinden de pek büyük olmayacak kolon kesitini saptamaktır. Bir diğeri ise donatı oranının tahmininde yaşanmaktadır. Kolon boyutları genellikle “TS500” [1] veya “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” te [2] verilen boyutsuz eksenel yük sınırlamalarıyla tahmin edilmektedir. Ancak böyle bir yaklaşımda eksantrisite ve/veya donatı miktarı etkisini göz önüne almak mümkün değildir. Bu nedenle dikdörtgen kesitli betonarme kolonların yaklaşık hesabında kullanılmak üzere basit bir formül geliştirilmiştir. Formül; malzeme, N_d , M_d ve (e/h) oranı biliniyorken, kesit boyutları veya donatı oranının yaklaşık değerini doğrudan vermektedir. Ayrıca seçilmiş bir donatı oranı için gerekli olan kesit boyutları da formül yardımı ile kolayca bulunabilmektedir.

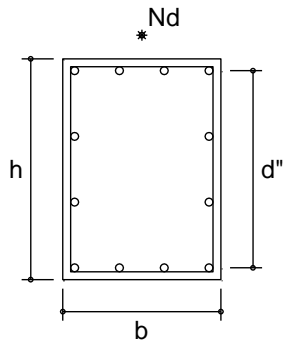
II. AMAÇ VE KAPSAM

Dikdörtgen kesitli betonarme kolonların hesabı için birçok yaklaşık yöntem vardır, [3-5]. Bu çalışmanın amacı diğer yaklaşık yöntemler ile karıştırılmamalıdır. Söz konusu yöntemler doğrudan kesin tasarıma yönelik olup, genelde gerçek sonuçlara çok yakın değerler vermektedir. Bu yöntemlerden birincisi [3], dikdörtgen kesitli kolonlar için oldukça genel bir yöntemdir. Kaynak [4] ve [5] de belirtilen yöntemler ise bileşik eğilme etkisindeki dikdörtgen kesitli betonarme kolonların hesabında kullanılmaktadır. Kısıtlamaları çok az olan bu yöntemler ile rahatlıkla kesin tasarım yapılabilmektedir. Ancak bu yöntemler ile hesap yaparken genellikle yardımcı abaklara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca bu yöntemlerde önerilen formüllerin uygulaması basit olmasına rağmen akılda tutulmaları pek kolay değildir. Oysa bu çalışmada, boyutsuz eksenel yük oranı $n_d \geq 0.50$ olan kolonlarda, kesin tasarımdan daha çok; öntasarım, proje kontrolü, şantiye vb. yerlerde hızla kullanılacak basit ve akılda kalabilen bir formül geliştirmek amaçlanmıştır. Formül oluşturulurken belirli bir hatanın olabileceği baştan kabullenilmiştir. Ayrıca eğer de olsa gerçek sonuçlardan uzak değerler elde edilmesi olasılığı göze alınmıştır. Geliştirilen formül ile yükü bilinen bir kolonda, seçilmiş bir donatı oranı için, gerekli kesit alanı bulunabilmektedir. Aynı zamanda yükü ve kesiti bilinen bir kolon için gerekli olan donatı oranını da formül yardımı ile hesaplanabilmektedir. Önerilen formül ile kolon kesit hesabı yapılırken $\pm 15\%$ lik bir hatanın olabileceği baştan kabullenilmiştir. Donatı oranı hesabında ise, genel hata dağılımı

$\pm\%15$ aralığında olmak üzere, oluşan hatanın $+\%15$ ile $+\%30$ aralığında da olabileceği göze alınmıştır.

Önerilen yöntem geliştirilirken betonarme kesit hesaplarındaki kabullerin aynen geçerli olduğu, ayrıca $n_d \geq 0.50$ ve donatıların kenarlara düzgün dağıldığı kabul edilmiştir. Donatıların kenarlara düzgün dağıldığı kabulü hemen hemen her zaman sağlanmaktadır. Bir yapı içindeki kritik kolonlar genellikle zemin kat ya da zemin kata yakın kat kolonları olduğundan, eksenel yük düzeyi yüksek olan bu kolonlarda $n_d \geq 0.50$ kabulü de genellikle sağlanmaktadır. Ayrıca önerilen yöntem ile yapılacak olan tasarımlarda da bu kabulün kendiliğinden sağlanacağı açıktır. Ancak $n_d < 0.50$ iken önerilen formül geçersiz olup kullanılmamalıdır. Formül irdelenirken temel olarak Şekil 1'deki gibi 5 adet kolon kesiti ele alınmış ve kolon boyutları Tablo I'de özetlenmiştir. Bu kolonlarda aşağıda verilmiş olan değişkenler dögüsel olarak incelenmiştir ve elde edilen sonuçlara binlerle ifade edilen çözümlerlemlerden sonra ulaşılmıştır.

- 1) Kolon kenar oranları ($0.25 \leq b/h \leq 4$)
- 2) Donatı sınıfı (S220 ve S420)
- 3) Beton sınıfı (C14, C20, C30)
- 4) d''/h oranı ($d''/h=0.75, 0.80, 0.90, 0.95$)
- 5) Mekanik donatı oranı ($0.10 \leq \rho.m \leq 1.50$)
- 6) Boyutsuz eksantrisite ($0.10 \leq e/h \leq 1.50$)
- 7) Boyutsuz eksenel yük ($0.50 \leq n_d \leq 1.5$)
- 8) Donatı düzeni ($2 \leq n_x \leq 7$ ve $2 \leq n_y \leq 7$)



Şekil 1. Tipik bir kolon kesiti

TABLO I
KOLON KESİTLERİNİN KENAR ORANLARI

Kolon Adı	b (cm)	h (cm)	b/h
A	120	30	4.00
B	60	30	2.00
C	60	60	1.00
D	30	60	0.50
E	30	120	0.25

III. FORMÜLÜN ÇIKARILIŞI

Bilindiği gibi klasik mukavemette konsantrik eksenel yüklü elemanların alanı, eksenel yükün izin verilen gerilmeye bölünmesiyle elde edilmektedir. Bu çalışmada da aynı formül kullanılmıştır. Ancak, eksantrisite ve boyuna donatının etkilerini göz önüne alabilmek amacıyla, hesap eksenel yükü (N_d), 1 den büyük bir katsayı (ω) ile çarpılmıştır, Denklem (1). Burada bilinmesi gereken, herhangi bir e/h değeri ve seçilmiş bir mekanik donatı oranı ($\rho.m$) için, kolon alanını (A_c) verecek ω sayısının ne olacağıdır. Birçok kolon için boyutsuz bir çalışma yapılmış ve çalışma sonunda boyutsuz eksenel yükün (n_d) 0.50 den büyük olduğu durumlarda eksenel yük büyütme çarpanının (ω) Denklem (2) deki gibi ifade edilebileceği görülmüştür.

$$A_c = \frac{\omega N_d}{f_{cd}} \quad (1)$$

$$\omega = \frac{1 + \alpha \frac{e}{h}}{0.85 + \beta \cdot \rho \cdot m} \quad (2)$$

Bu denklemdeki α çarpanı sabit bir sayı olup, çeşitli parametreler ile bir çok kolon üzerinde yapılan boyutsuz analiz sonucunda, S220 için $\alpha=3.0$ ve S420 için $\alpha=3.2$ değerinin alınmasının oldukça uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Formüldeki β çarpanı d''/h oranına bağlı aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

IV. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıda sınırları belirtilen değerşkenler ile sistematik ve dönüşümlü bir araştırma yapılmış ve formülden elde edilen sonuçlar ile kesin çözümler karşılaştırılmıştır. Çalışmanın tamamında boyutsuz analiz kullanılmış buna bağlı olarak önerilen yöntemin kapsadığı alan olabildiğince geniş tutulmuştur. Böylece binlerce değerşik durumdaki kolon göz önüne alınmıştır. Önceden de belirtildiği gibi Denklem (1) ile hem kolon kesit alanı hem de kolon boyuna donatı oranı hesaplanabilmektedir. Çalışmanın sonunda Denklem (1 ve 2) ile hesaplanan kesit alanı ve donatı oranı için hata dağılımının benzer olmadığı görülmüştür. Bu nedenle her iki durum için hata dağılımları, d''/h oranına bağlı olarak ayrı ayrı bulunmuştur. Daha önceden de belirtildiği gibi kesit hesabında $\pm\%15$ lik, donatı hesabında ise genelde $\pm\%15$, bazen $+\%30$ luk bir hata olabileceği göze alınmıştır. Bu hata sınırları içinde kalan kolonların toplam yüzdesi, d''/h oranına bağlı olarak Tablo II de topluca sunulmuştur. Bu tabloda gösterilen hatalar boyutsuz analiz ile bulunduğu için, oluşan hatalar kesit boyutlarından bağımsız olup oldukça geneldir. Ayrıca araştırma kapsamındaki beş referans kolon için değerşik düzeydeki boyutsuz eksenel yük (n_d) ve boyutsuz eksantrisite (e/h) oranları kullanılarak Denklem (1 ve 2) ile bulunan yaklaşık kesit ve donatı alanlarının gerçek alanlara oranı bulunmuş ve Tablo III ve IV de sunulmuştur. Bu tablolarda donatı gerektirmeyen ya da çok az donatı gerektiren kombinasyonlara ait kısımlar boş bırakılmıştır.

TABLO II
±%15 HATA SINIRLARI İÇİNDE KALAN KOLONLARIN TOPLAM
YÜZDESİ

d''/h	S220		S420	
	%n _{Ac}	%n _{As}	%n _{Ac}	%n _{As}
0.75	98	88	97	82
0.80	99.5	89	98.5	84
0.90	98	70 ^(*)	97.5	73
0.95	98	77 ^(*)	97.5	78 ^(*)

(*) Diğer hatalar +%15-30 aralığındaki güvenli bölgede oluşmaktadır.

TABLO III
S220 VE REFERANS KOLONLAR İÇİN ALAN ORANLARI

Kolon Adı	$\frac{N_d}{A_c F_{cd}}$	Kesit alanı oranları (yaklaşık/kesin)							Donatı alanı oranları (yaklaşık/kesin)						
		e/h							e/h						
		0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
A d''/h=0.75 n _y =4 n _x =10	1.50	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	1.06	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	0.75	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.03	1.03	---	1.06	1.03	1.03	1.04	1.04	1.03
	0.67	1.04	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	---	1.03	1.01	1.02	1.03	1.03	1.02
	0.58	1.03	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	---	0.94	0.98	1.01	1.00	1.00	1.00
	0.50	1.01	0.95	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	---	---	0.89	0.93	0.95	0.96	0.96
B d''/h=0.80 n _y =4 n _x =7	1.50	1.05	1.06	1.07	1.07	1.08	1.08	1.09	1.08	1.09	1.09	1.09	1.09	1.10	1.10
	0.75	1.04	1.03	1.04	1.05	1.05	1.05	1.04	---	1.10	1.07	1.07	1.08	1.06	1.05
	0.67	1.04	1.02	1.03	1.04	1.04	1.03	1.03	---	1.08	1.06	1.07	1.05	1.04	1.04
	0.58	1.03	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	---	0.98	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01
	0.50	0.99	0.96	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	---	---	0.91	0.95	0.97	0.98	0.98
C d''/h=0.90 n _y =7 n _x =7	1.50	1.06	1.08	1.11	1.12	1.12	1.10	1.09	1.11	1.13	1.14	1.15	1.14	1.12	1.11
	0.75	1.05	1.05	1.07	1.06	1.05	1.05	1.04	---	1.15	1.13	1.09	1.07	1.06	1.06
	0.67	1.04	1.03	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03	---	1.14	1.10	1.07	1.05	1.05	1.04
	0.58	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	---	1.04	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01
	0.50	0.97	0.95	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	---	---	0.91	0.95	0.97	0.98	0.98
D d''/h=0.90 n _y =4 n _x =7	1.50	1.06	1.11	1.14	1.16	1.18	1.19	1.20	1.12	1.17	1.19	1.20	1.21	1.22	1.22
	0.75	1.05	1.07	1.10	1.13	1.14	1.14	1.14	---	1.22	1.20	1.21	1.21	1.19	1.18
	0.67	1.04	1.05	1.09	1.11	1.12	1.12	1.12	---	1.21	1.19	1.20	1.18	1.17	1.17
	0.58	1.01	1.02	1.06	1.08	1.09	1.09	1.10	---	1.14	1.16	1.15	1.14	1.14	1.14
	0.50	0.92	0.96	1.01	1.03	1.05	1.06	1.07	---	---	1.02	1.07	1.09	1.10	1.11
E d''/h=0.95 n _y =7 n _x =8	1.50	1.04	1.07	1.10	1.12	1.13	1.12	1.11	1.07	1.11	1.14	1.15	1.16	1.14	1.13
	0.75	1.04	1.05	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	---	1.16	1.15	1.12	1.10	1.09	1.08
	0.67	1.04	1.04	1.06	1.05	1.05	1.05	1.05	---	1.15	1.12	1.09	1.08	1.07	1.07
	0.58	1.02	1.01	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	---	1.07	1.05	1.05	1.05	1.04	1.04
	0.50	0.94	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	1.01	---	---	0.93	0.98	0.99	1.00	1.01

TABLO IV
S420 VE REFERANS KOLONLAR İÇİN ALAN ORANLARI

Kesit Adı	$\frac{N_d}{A_c F_{cd}}$	Kesit alanı oranları (yaklaşık/kesin)							Donatı alanı oranları (yaklaşık/kesin)						
		e/h							e/h						
		0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
A $d''/h=0.75$ $n_y=4$ $n_x=10$	1.50	1.04	1.05	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.07	1.07	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
	0.75	1.06	1.03	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02	---	1.08	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02
	0.67	1.06	1.02	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	---	1.06	0.99	1.00	1.01	1.01	1.02
	0.58	1.05	1.00	0.98	0.99	0.99	1.00	1.00	---	0.99	0.96	0.98	0.99	1.00	1.01
	0.50	1.04	0.96	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	---	---	0.89	0.94	0.97	0.98	0.99
B $d''/h=0.80$ $n_y=4$ $n_x=7$	1.50	1.05	1.06	1.05	1.05	1.05	1.05	1.06	1.09	1.10	1.07	1.06	1.06	1.06	1.06
	0.75	1.06	1.04	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	---	1.11	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05
	0.67	1.06	1.03	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	---	1.10	1.02	1.02	1.03	1.04	1.04
	0.58	1.05	1.00	0.99	1.00	1.01	1.02	1.02	---	1.02	0.99	1.00	1.02	1.03	1.03
	0.50	1.03	0.97	0.97	0.98	1.00	1.01	1.01	---	---	0.92	0.97	0.99	1.01	1.02
C $d''/h=0.90$ $n_y=7$ $n_x=7$	1.50	1.06	1.08	1.07	1.07	1.07	1.08	1.08	1.10	1.12	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
	0.75	1.06	1.05	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	---	1.14	1.07	1.06	1.07	1.07	1.07
	0.67	1.06	1.03	1.02	1.03	1.04	1.05	1.05	---	1.12	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06
	0.58	1.04	1.01	1.01	1.02	1.03	1.03	1.03	---	1.05	1.01	1.03	1.04	1.04	1.04
	0.50	1.02	0.97	0.98	1.00	1.00	1.01	1.01	---	---	0.95	0.99	1.00	1.01	1.01
D $d''/h=0.90$ $n_y=4$ $n_x=7$	1.50	1.07	1.12	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.13	1.18	1.18	1.19	1.19	1.20	1.20
	0.75	1.06	1.08	1.09	1.11	1.13	1.14	1.15	---	1.23	1.17	1.17	1.18	1.19	1.19
	0.67	1.05	1.06	1.08	1.10	1.12	1.13	1.14	---	1.23	1.16	1.17	1.17	1.18	1.19
	0.58	1.03	1.03	1.05	1.08	1.10	1.12	1.13	---	1.17	1.13	1.15	1.16	1.17	1.18
	0.50	0.98	0.98	1.02	1.06	1.08	1.10	1.11	---	---	1.06	1.12	1.15	1.16	1.16
E $d''/h=0.95$ $n_y=7$ $n_x=8$	1.50	1.04	1.07	1.08	1.09	1.09	1.10	1.10	1.07	1.11	1.10	1.11	1.11	1.11	1.11
	0.75	1.06	1.05	1.05	1.06	1.07	1.08	1.08	---	1.15	1.09	1.09	1.10	1.10	1.11
	0.67	1.06	1.04	1.04	1.05	1.06	1.07	1.07	---	1.15	1.08	1.08	1.09	1.10	1.10
	0.58	1.04	1.02	1.02	1.04	1.05	1.05	1.05	---	1.09	1.05	1.07	1.08	1.08	1.07
	0.50	1.01	0.97	0.99	1.01	1.02	1.03	1.03	---	---	0.98	1.03	1.04	1.04	1.05

Çalışmanın sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Boyutsuz çalışmanın doğal sonucu olarak çeşitli boyutlardaki kolon ve beton sınıfları için hata dağılımı aynı olmuştur. Hata dağılımlarının kesit boyutlarına ve beton dayanımlarına bağlı olmadığı görülmüştür.
- Denklem (1) ile kesit hesabında, tahmini donatı oranı ile kesin donatı oranı arasındaki farkın kesit boyutlarını pek değiştirmedığı dolayısıyla kesit hesabındaki hatalar oldukça küçük olduğu anlaşılmıştır. Kesit hesabındaki hatalar genellikle $\pm\%15$ hata sınırlarından çok daha küçük olmuştur. Ele alınan kolonların $\%97$ sinden fazlası öngörülen hata sınırları içinde kalmıştır. Daha da önemlisi oluşan hataların büyük bir yüzdesi güvenli taraf olan $+\%15$ lik dilimde oluşmuştur.
- Denklem (1) ile donatı hesabında, göreceli olarak daha büyük hatalar oluşmuştur. $d''/h \geq 0.90$ olan kolonlarda $\pm\%15$ hata sınırları dışında kalan kolon sayısı diğer kolonlara göre daha fazla olmuştur. Buna rağmen bu sınırlar dışında kalan

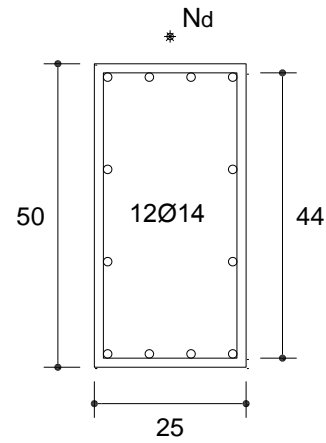
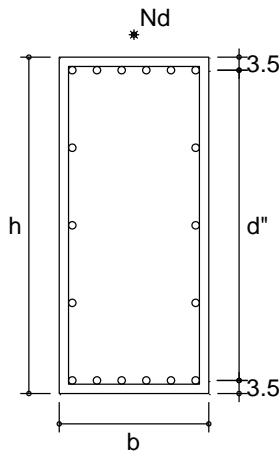
kolonların büyük bir kısmı güvenli bölge olan $+\%15-30$ aralığında kalmıştır. Donatı hesabında da oluşan hataların büyük bir yüzdesi, alan hesaplarında olduğu gibi, güvenli taraf olan $+\%15$ lik dilimde oluşmuştur.

Kolon içindeki donatı düzeninin pek önemli olmadığı ve hata oranı üzerindeki etkisinin, Denklem (1) den elde edilen ve güvenilirliği yukarıda tartışıldığı kadar olan, sonuçları pek değiştirmedığı görülmüştür.

V.ÖRNEKLER

Örnek 1) $N_d=330$ ton ve $M_d=7500$ tcm için kolon ön tasarımı yapılacaktır. (Malzeme C20 ve S420, $f_{cd}=130$ kg/cm², $f_{yd}=3650$ kg/cm²)

Çözüm : Boyutsuz eksantrisite oranı, $e/h=0.25$ ve boyuna donatı oranı $\rho=0.015$ seçilmiş olsun.



$$e = \frac{M_d}{N_d} = \frac{7500}{330} = 22.7 \text{ cm},$$

$$\frac{e}{h} = 0.25 \rightarrow h = \frac{22.7}{0.25} \cong 90 \text{ cm},$$

$$m = \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{3650}{130} = 28.1$$

$$\text{Paspayı} = 3.5 \text{ cm} \rightarrow \frac{d''}{h} = \frac{90 - 2 \times 3.5}{90} = 0.922 > 0.90$$

$$\beta = \frac{d''/h}{0.90} = \frac{0.922}{0.90} = 1.025$$

$$\omega = \frac{1 + 3.2 \frac{e}{h}}{0.85 + \beta \cdot \rho \cdot m} = \frac{1 + 3.2 \times 0.25}{0.85 + 1.025 \times 0.015 \times 28.1} = 1.404$$

$$A_c = \frac{\omega N_d}{f_{cd}} = \frac{1.404 \times 330}{0.130} = 3564 \text{ cm}^2$$

$$b = \frac{A_c}{h} = \frac{3564}{90} \cong 40 \text{ cm}$$

Kesin tasarım sonunda $b/h=40/90$ cm ve şekildeki donatı düzeni için verilen yükleri taşıyabilecek donatı oranı $\rho=0.013$ bulunmuştur. Yapılan hata %13 tir.

Örnek 2) Donatı düzeni şekildeki gibi olan kolonun $N_d=75$ t ve $M_d=1250$ tcm için kontrolü yapılacaktır. (Malzeme C16 ve S220, $f_{cd}=110$ kg/cm², $f_{yd}=1910$ kg/cm², $A_s=12\phi 14$, $b/h=25/50$ cm).

Çözüm : $A_s=12 \times 1.54=18.48$ cm² ve $A_c=25 \times 50=1250$ cm²

$$n_d = \frac{N_d}{A_c f_{cd}} = \frac{75}{1250 \times 0.110} = 0.55 > 0.50$$

→ Denklem (1) kullanılabilir.

$$e = \frac{M_d}{N_d} = \frac{1250}{75} = 16.7 \text{ cm}, \quad \frac{e}{h} = \frac{16.7}{50} \cong 0.33$$

$$m = \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{1910}{110} = 17.4, \quad \rho = \frac{18.48}{1250} = 0.0148$$

$$\text{Paspayı} = 3 \text{ cm} \rightarrow \frac{d''}{h} = \frac{50 - 2 \times 3}{50} = 0.88 < 0.90 \rightarrow \beta = 1$$

$$A_c = \frac{\omega \cdot N_d}{f_{cd}} = \frac{1 + 3 \frac{e}{h}}{0.85 + \beta \cdot \rho \cdot m} \times \frac{N_d}{f_{cd}} \\ = \frac{1 + 3 \times 0.33}{0.85 + 1 \times 0.0148 \times 17.4} \times \frac{75}{0.110} = 1225 \text{ cm}^2 < 1250 \text{ cm}^2$$

Kesit yeterli olup, kesin tasarım sonucu $e/h=0.33$ için verilen yükleri taşıyabilecek minimum kesit alanı $A_c=1209$ cm² olarak bulunmuştur. Hata %1.3 dür.

VI. SONUÇLAR

Sonuç olarak dikdörtgen kesitli betonarme kolonların yaklaşık hesabında kullanılmak üzere Denklem (1) de verilen formülün gerçeğe oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Oluşan hatanın büyük çoğunluğu hem hedeflenen $\pm\%15$ sınırları içinde kalmış hem de genellikle $\pm\%15$ den çok daha küçük olmuştur. Buna bağlı olarak boyutsuz eksenel yük oranının 0.5 den büyük olduğu durumlarda; önerilen formülün öntasarım, proje kontrolü veya üzerinde yorum yapılması gereken kolonlarda rahatlıkla kullanılabilirliği görülmüştür. Boyutsuz eksenel yük oranının 0.5 den küçük olduğu durumlarda formül geçersiz olup kullanılmamalıdır.

VII. KAYNAKLAR

- [1] Türk Standartları Enstitüsü, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları-TS500, Ankara, TSE, 2000.
- [2] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [3] Çakıroğlu, A., Özer, E., Eğik Eğilme ve Eksenel Basınç Etkisi Altındaki B.A. Kesitlerde Taşıma Gücü Formülleri, İTÜ, İnş. Fak. yayını, No.40, Ocak 1981.
- [4] Bresler, B., Design Criteria for R.C. Columns Under Axial Load and Biaxial Bending, Journal of ACI, V. 57, Nov. 1960.
- [5] BSI, Code of Practice for structural Use of Concrete, CP110, Part 1, 1972, British Standards Institution, London, 1972, pp. 154.

Semboller

- A_c : Kolon kesit alanı
 b : Kolon genişliği
 d'' : Etkili yönde, en dıştaki iki donatı arasındaki uzunluk
 e : Eksantrisite
 f_{cd} : 28 günlük beton için basınç hesap dayanımı
 f_{yd} : Donatı için çekme ve basınçtaki hesap akma dayanımı
 f_{ck} : 28 günlük betonun karakteristik basınç dayanımı
 f_{yk} : Boyuna donatının karakteristik çekme ve basınç akma dayanımı
 h : Kolonun etkili yöndeki boyutu
 M_d : Hesap momenti
 m : f_{yd}/f_{cd} oranı
 N : Eksenel yük
 N_d : Tasarım eksenel yükü
 n_d : Boyutsuz hesap eksenel yükü ($n_d=N_d/A_c \cdot f_{cd}$)
 n_x : Kolonun b kenarı boyunca dizilmiş donatılarının sayısı (bir yüzdeki)
 n_y : Kolonun h kenarı boyunca dizilmiş donatılarının sayısı (bir yüzdeki)
 n_{Ac} : Kesit hesabında $\pm\%15$ hata sınırları içinde kalan kolon sayısı
 n_{As} : Donatı hesabında $\pm\%15$ hata sınırları içinde kalan kolon sayısı
 α : Boyutsuz eksantrisite (e/h) çarpanı
 β : Mekanik donatı oranı ($\rho \cdot m$) çarpanı
 ω : Eksenel yük büyütme çarpanı
 ρ : Boyuna donatı oranı