

## Betonarme Çerçevelerde Narinlik Etkisi

Günay ÖZMEN<sup>1</sup>  
Konuralp GİRGIN<sup>2</sup>  
Kutlu DARILMAZ<sup>3</sup>

### ÖZ

Bu çalışmada çok katlı betonarme çerçevelerde “Moment Büyütme” yöntemi ile elde edilen sonuçlar II. mertebe sonuçları ile karşılaştırılmış ve doğruluk mertebeleri irdelenmiştir. Seçilen tipik çerçevelerin narin kolonlarında moment büyütme yöntemi ile elde edilen tasarım momentleri II. mertebe hesapları sonunda bulunanlar ile karşılaştırılmış ve hata oranlarının pozitif (güvenli) yönde ve oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Bu sakıncayı gidermek amacı ile bir yöntem geliştirilmiş ve tipik çerçevelere uygulanarak sonuçlar irdelenmiştir. II. mertebe etkilerinin yatay fiktif yükler ile temsil edildiği bu yöntemde tipik çerçeveler için ortalama hata  $\pm$  % 4.6 olmaktadır. Geliştirilen yöntemin pratik uygulamalarda başarı ile kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sayısal deney, moment büyütme, ikinci mertebe, etkili eğilme rijitliği, narinlik, fiktif yükler.

### ABSTRACT

#### Slenderness Effect in Reinforced Concrete Frames

In this study, the results of “Moment Magnification” method provided are compared with those obtained by applying second order theory and the order of accuracy is examined. The bending moments of slender columns of chosen typical frames are obtained by applying moment magnification method and compared with those found by the second order theory. The error ranges are found to be quite high in positive (safe) direction. In order to resolve this drawback a method is developed and applied to typical frames. In this method second order effects are represented by fictitious loads. Average error order is found to be  $\pm$  4.6 % when this method is applied to typical frames. It is concluded that this method can be used successfully in practical applications.

**Keywords:** Numerical test, moment magnification, second order theory, effective flexural rigidity, slenderness, fictitious loads.

---

Not: Bu yazı

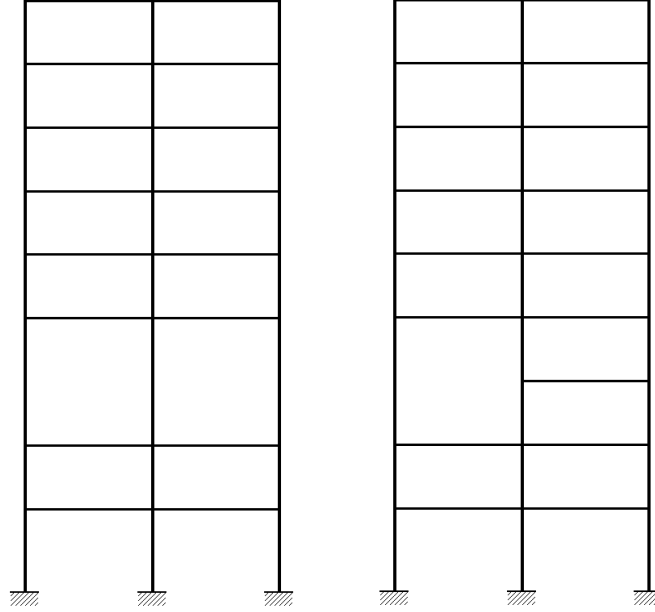
- Yayın Kurulu'na 11.11.2014 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2015 gününe kadar tartışmaya açıktır.

1 İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, (Emekli) İstanbul - gunayozmen@hotmail.com  
2 İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - girgink@itu.edu.tr  
3 İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - darilmazk@itu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Betonarme yapı kolonlarının boyutlandırılmasında narinlik etkisinin göz önüne alınması zorunludur. Nitekim “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları” (TS 500), ve “Prefabrikte Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar için Hesap Esasları” (TS 9967) yönetmeliklerinde aksel basınç ile birlikte eğilme de taşıyan elemanların boyutlandırılması sürecinde “Narinlik Etkisi”nin göz önüne alınması gerektiği belirtilmiş bulunmaktadır [1], [2]. Oysa uygulamada genellikle narinlik etkisinin önemli nitelikte olmadığı ve boyut ve/veya donatı artırılmasına yol açmadığı gözlenmektedir. Bunun başlıca nedeni “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” (DBYBHY) esasları arasında yer alan “Yerdeğiştirme Kısıtlamaları” nedeni ile, narinlik etkisinin başlıca öğelerinden biri olan yerdeğiştirmelerin büyük değerler almamasıdır, [3].

Bununla birlikte bazı özel durumlarda kolon boyları yüksek olabilmektedir, Şekil 1.



*Şekil 1. Narin kolonlu çerçeveler*

Bu tür kolonların narinlik etkisi göz önünde tutularak boyutlandırılmaları gereklidir. Bu boyutlandırmada izlenen yollar iki başlık altında toplanabilir:

İkinci Mertebe Hesabı,

Moment Büyütme Yöntemi.

Aşağıda bu yollar ayrı ayrı ele alınarak uygulama biçimleri özetlenecek ve her iki yol ile elde edilen olası sonuçlar irdelenecektir.

### 1.1. İkinci Mertebe Hesabı

TS 500 yönetmeliğinde, “Eksenel basınç ile birlikte eğilme de taşıyan betonarme elemanların boyutlandırılıp donatılması, ..., verilen yük birleşimleri altında, doğrusal olmayan malzeme davranışını, çatlamayı, betonun sünme ve büzülmesini göz önünde bulunduran ikinci mertebe yapısal çözümlerinden elde edilen, ..., değerlere göre yapılır.” denilmektedir, [1]. Görüldüğü gibi, ikinci mertebe hesabının uygulanmasında çok çeşitli ve karmaşık nitelikteki faktörlerin göz önüne alınması gerekmektedir. Bu nedenle tasarımcılar uzun yıllar boyunca ikinci mertebe hesabı yapmaktan kaçınılmışlardır.

Son yıllarda yazılım olanaklarının gelişmesi ve yaygınlaşması ikinci mertebe hesabı uygulamasının gündeme gelmesine yol açmıştır. Ancak bu hesapta kullanılacak EI etkili eğilme rijitlikleri için gerçekçi değerlerin saptanması gerekmektedir. İkinci mertebe hesabında kullanılması gereken EI değerlerinin limit durumdakilerden hemen önceki eğilme rijitliği değerleri olmaları gerektiği belirtilmektedir, [4]. Bu durumda kolon ve kirişlerin belirli bölümleri çatlak ve rijitlikler azalır. Uygulamada tüm elemanlar için çatlak kesitlere ait EI değerlerini kullanmak için uzun ve yorucu hesaplar yapmak gerekir. Bunun yerine  $E_c I_c$  dolu kesit rijitliklerini bir  $k_e$  katsayısı ile çarpmak, yani

$$EI = k_e E_c I_c \quad (1)$$

yaklaşık formülünü kullanmak pratik bir yol olarak önerilmektedir.  $k_e$  katsayısı kolon ve kirişler için farklı değerler alır. Bu katsayının değerini saptamak için çeşitli yazarlar tarafından çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar sonunda önerilen  $k_e$  değerleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1.  $k_e$  değerleri

Yazar	Kolon	Kiriş
McGregor, [4]	0.7	0.35
Kordina, [5]	0.8	0.4
Hage & McGregor, [6]	0.8	0.4
McGregor & Hage, [7]	0.7	0.35
Furlong, [8]	0.3~0.6	0.5
Dixon, [9]	0.5	0.5
McDonald, [10]	0.7	0.42

Tablonun incelenmesinden kolon ve kirişlere ait  $k_e$  katsayıları için, sırası ile, 0.7 ve 0.35 değerlerini kullanmanın uygun olacağı ve gelişmiş yazılım olanakları ile II. mertebe hesaplarının kolayca yapılabileceği anlaşılır.

Bilindiği gibi, II. mertebe etkilerinin en büyük olduğu yükleme birleşimleri

$$G + Q \pm E \text{ ve } 0.9 G \pm E \quad (2)$$

olarak ifade edilen birleşimlerdir. Burada G, Q ve E, sırası ile, sabit yük, hareketli yük ve deprem etkilerini göstermektedir. Bu yükleme birleşimlerinde (1) ile gösterilen EI rijitliklerini, diğer birleşimlerde ise  $E_c I_c$  dolu kesit rijitliklerini kullanmak gerekir. Yani, genel amaçlı yazılımların kullanılması durumunda, iki ayrı model kullanmak ve boyutlandırma hesaplarını el ile yapmak söz konusudur.

## 1.2. Moment Büyütme Yöntemi

TS 500 yönetmeliğinde, ikinci mertebeye hesabı yerine “Moment Büyütme Yöntemi” adı verilen yaklaşık bir yöntemin de kullanılabileceği belirtilmektedir, [1]. Bu yöntemde

- Kolonlar birbirlerinden bağımsız olarak ele alınıp yaklaşık burkulma boyları hesaplanır.
- “Etkili Eğilme Rijitlikleri” kullanılarak kolon burkulma yükleri bulunur.
- Moment büyütme katsayıları hesaplanır.
- Boyutlandırmada eğilme momentleri bu katsayılarla çarpılarak büyütülür.

Yaklaşık burkulma boylarının bulunmasında kullanılan katsayıların Galambos denklemlerinin yaklaşık çözümlerine karşı geldikleri bilinmektedir, [11]. TS 500 yönetmeliğinin eski sürümlerinde, bu katsayıların hesabında nomogramlar kullanılmaktaydı, [12]. Yönetmeliğin son sürümünde nomogram uygulamasından vazgeçilmiş ve bunların yerine yaklaşık formüller verilmiştir, [1].

Uygulamada bu yöntemin kullanılması halinde de bazı sakıncalar ortaya çıkmaktadır, [13]. Moment büyütme yönteminin en önemli kusuru, kolonların burkulma boyunun hesabında iki uçlarındaki çubukların dışındaki çubuklara ait etkileşimin hiç hesaba katılmamasıdır. Bu yaklaşımın önemli oranda hatalara neden olduğu gösterilmiş bulunmaktadır, [14] ~ [16]. Çeşitli yazarlar tarafından burkulma boyu hesabının düzeltilmesi amacı ile farklı yöntemler geliştirilmiş bulunmaktadır, [15] ~ [29].

## 1.3. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada bir “Sayısal Deney” yöntemi kullanılarak çok katlı betonarme çerçevelerde “Moment Büyütme” yöntemi ile elde edilen sonuçlar II. mertebeye sonuçları ile karşılaştırılacak ve doğruluk mertebeleri irdelenecektir. Bu amaçla, kat sayıları, kolon kesitleri ve narin kolonların konumları değişik olan 40 adet “Tipik Çerçeve” seçilmiştir. Seçilen tüm çerçeveler ötelemesi önlenmemiş türdendir. Ötelemesi önlenmiş çerçeveler bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.

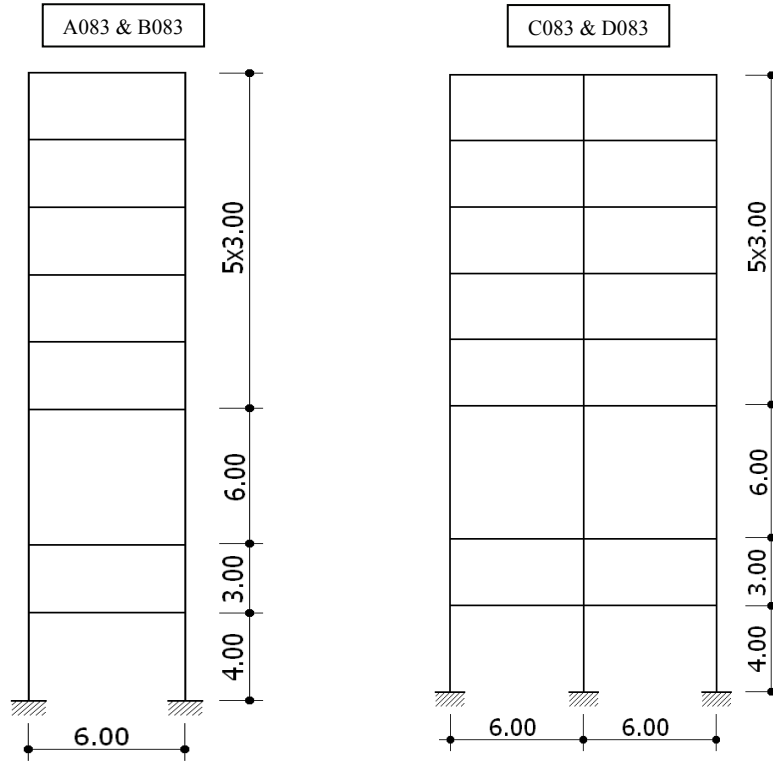
Araştırmada önce, Bölüm 1.1’de saptanan EI etkili eğilme rijitlikleri kullanılarak tipik çerçevelere ait narin kolonların  $M_d$  tasarım momentleri hesaplanmış, daha sonra bu değerler moment büyütme yöntemi ile elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonraki bölümlerde ise tasarım momentlerinin hesabında “Fiktif yatay yükler” kullanılmış ve her tipik çerçeve için hatalar hesaplanıp irdelenmiştir.

## 2. TİPİK ÇERÇEVELER

Dört grupta toplanmış olan 4, 6, 8 ve 10 katlı tipik çerçeveler dikdörtgen kolon ve kirişlerden oluşmaktadır. A ve B grubu çerçeveler tek, C ve D grubu çerçeveler ise iki açıklıklıdır. Kiriş açıklıkları 6.00 m, normal kat, alt kat ve narin kat kolonlarının yükseklikleri, sırası ile, 3.00 m, 4.00 m ve 6.00 m olarak alınmıştır. Tipik çerçevelerin adları, kat sayıları ve narin kat konumları Tablo 2’de verilmiştir.

Tüm tipik çerçevelerin şematik kesitleri ilgili araştırma raporunda gösterilmiştir, [30]. Örnek olarak seçilmiş olan A-083, B-083, C-083 ve D-083 çerçevelerinin şematik kesitleri Şekil 2’de görülmektedir.

Tüm tipik çerçeveler düşey eksene göre simetrik olup kiriş kesitleri  $30 \times 60 \text{ cm}^2$  dir. A ve C grubu çerçevelerin kolon kesitleri Tablo 3’te gösterilmiştir.



Şekil 2. Örnek çerçevelerin şematik kesitleri

Tablo 2. Tipik çerçeve özellikleri

Tip	Kat sayısı	Narin Kat No.
A-041, B-041, C-041, D-041	4	1
A-061, B-061, C-061, D-061	6	1
A-062, B-062, C-062, D-062	6	2
A-081, B-081, C-081, D-081	8	1
A-082, B-082, C-082, D-082	8	2
A-083, B-083, C-083, D-083	8	3
A-101, B-101, C-101, D-101	10	1
A-102, B-102, C-102, D-102	10	2
A-103, B-103, C-103, D-103	10	3
A-104, B-104, C-104, D-104	10	4

Tablo 3. A ve C grubu çerçevelerin kolon kesitleri (cm × cm)

Kat Sayısı	Kat No.	Kenar	Orta
10	10-9	30×30	30×30
	8-7	30×40	40×40
	6-5	30×50	50×50
	4-3	30×60	50×60
	2-1	30×70	50×70
8	8-7	30×30	30×30
	6-5	30×40	40×40
	4-3	30×50	50×50
	2-1	30×60	50×60
6	6-5	30×30	30×30
	4-3	30×40	40×40
	2-1	30×50	50×50
4	4-3	30×30	30×30
	2-1	30×40	40×40

B ve D grubu çerçevelerin kolon kesitleri yapı yükseklikleri boyunca sabit olarak alınmıştır. Çeşitli kat sayıları için kolon kesitleri Tablo 4’te gösterildiği gibidir.

Tablo 4. B ve C grubu çerçeveler için sabit kolon kesitleri (cm×cm)

Kat Sayısı	Kenar	Orta
10	30×65	40×80
8	30×55	40×70
6	30×45	40×60
4	30×40	40×40

## 2.1. Yüklemeler

Tüm tipik çerçeveler TS500 ve DBYBHY esaslarına uygun olarak boyutlandırılmıştır, [1], [3]. Kirişler üzerindeki düşey yükler

- Sabit yük  $g = 28 \text{ kN/m}$ ,
- Hareketli yük  $q = 14 \text{ kN/m}^2$ , (Çatıda  $4 \text{ kN/m}$ )

olarak alınmıştır. Boyutlandırmalarda kullanılan deprem parametreleri aşağıdaki gibidir:

Etkin yer ivmesi katsayısı  $A_0 = 0.30$  (2. derece deprem bölgesi)

Karakteristik zemin periyodu  $T_B = 0.40$  (Z2 türü yerel zemin sınıfı)

Bina önem katsayısı  $I = 1$  (Konut veya büro)

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R = 8$  (Süneklik düzeyi yüksek)

Deprem hesapları bu parametreler kullanılarak “Eşdeğer Deprem Yükü” yöntemi ile yapılmıştır. II. mertebe hesapları için  $G + Q \pm E$  yükleme birleşimleri kullanılmış ve uygulama Sap 2000 ortamında yapılmıştır. Bu uygulamada Bölüm 1.1’de saptanan EI etkili eğilme rijitliği kullanılmış ve narin kolonlar için Tablo 5’te gösterilen  $M_d$  tasarım momentleri elde edilmiştir.

Belirtmek gerekir ki EI değerlerinde yapılan varsayımlar nedeni ile bu sonuçlar kesin değildir. Ancak kesin değerlere yeter derecede yakın oldukları kabul edilebilir. Tablo 5’te verilen  $M_d$  değerleri aşağıdaki bölümlerdeki karşılaştırma ve irdemelerde kullanılacaktır.

Tablo 5. Narin kolonlarda II. mertebe tasarım momentleri

Tip	M <sub>d</sub> (kNm)	Tip	Konum	M <sub>d</sub> (kNm)	Tip	Konum	M <sub>d</sub> (kNm)
A-041	80.49	C-041	Kenar	86.92	D-041	Kenar	88.93
A-061	117.90		Orta	103.94		Orta	106.58
A-062	132.55	C-061	Kenar	121.41	D-061	Kenar	123.04
A-081	153.89		Orta	180.60		Orta	282.34
A-082	158.14	C-062	Kenar	128.02	D-062	Kenar	129.08
A-083	125.18		Orta	145.67		Orta	185.78
A-101	189.74	C-081	Kenar	162.17	D-081	Kenar	137.91
A-102	181.10		Orta	246.26		Orta	321.52
A-103	144.96	C-082	Kenar	158.51	D-082	Kenar	142.47
A-104	145.10		Orta	189.82		Orta	217.36
B-041	82.68	C-083	Kenar	129.83	D-083	Kenar	129.18
B-061	133.09		Orta	166.53		Orta	207.42
B-062	135.87	C-101	Kenar	205.12	D-101	Kenar	177.17
B-081	148.21		Orta	315.40		Orta	385.96
B-082	151.58	C-102	Kenar	187.12	D-102	Kenar	171.04
B-083	131.22		Orta	233.57		Orta	264.74
B-101	186.33	C-103	Kenar	151.14	D-103	Kenar	149.44
B-102	176.73		Orta	202.29		Orta	236.02
B-103	152.81	C-104	Kenar	158.88	D-104	Kenar	149.28
B-104	151.77		Orta	195.90		Orta	231.16

### 3. MOMENT BÜYÜTME UYGULAMASI

Bu bölümde yukarıda ayrıntıları açıklanan “Moment Büyütme Yöntemi” tipik çerçevelerdeki narin kolonlara uygulanacak ve sonuçlar irdelenecektir.

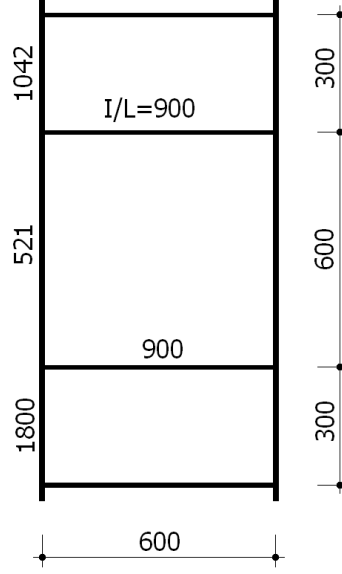
#### 3.1. Sayısal Uygulama - Tip A083

Örnek sayısal uygulama için Tip A083 çerçevesi seçilmiştir. Bu çerçevenin şematik kesiti Şekil 2’de kolon kesitleri de Tablo 3’te gösterilmiş bulunmaktadır.



Bu çerçeveye ait boyutlandırma hesaplarında  $G + Q \pm E$  yüklemeleri için narin kolonlardaki uç momenti değerleri  $M_1 = 112.51$  kNm ve  $M_2 = 115.37$  kNm olarak elde edilmiş bulunmaktadır. Bu durumda tasarım momenti  $M_d = 115.37$  kNm olmaktadır.

Narin kolonlar ile komşu kolon ve kirişlerin  $I/L$  değerleri  $\text{cm}^4/\text{cm}$  olarak Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.  $I/L$  değerleri

TS 500 (7.16) formülü uygulanarak

$$\alpha_1 = \frac{1042 + 521}{0.5 \times 900} = 3.473, \quad \alpha_2 = \frac{521 + 1800}{0.5 \times 900} = 5.158, \quad \alpha_m = 4.315$$

elde edilir. Buradan TS 500 (7.15) formülü ile etkin boy katsayısı

$$k = 0.9\sqrt{1 + 4.315} = 2.075$$

olarak bulunur. Kolon burkulma boyu ile sünme oranı da TS 500'deki formüller ile

$$L_k = 2.075 \times 6.00 = 12.449m \quad \text{ve} \quad R_m = \frac{2 \times 7.43}{2 \times 37.98} = 0.196$$

### Betonarme Çerçevelerde Narinlik Etkisi

olarak hesaplanır. Burada  $V_{gd} = 7.43$  kN ve  $V_d = 37.98$  kN değerleri boyutlandırma hesaplarında kullanılan kesme kuvvetleridir. Kolon dolu kesitine ait  $E_c I_c$  eğilme rijitliği  $E_c = 3 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> alınarak

$$E_c I_c = 3 \times 10^7 \times \frac{0.3 \times 0.5^3}{12} = 93750 \text{ kNm}^2 \text{ dir.}$$

Etkili eğilme rijitliği ve kolon burkulma yükü ise, TS 500 (7.21) ve (7.19) formülleri ile,

$$(EI) = \frac{0.4 \times 93750}{1 + 0.196} = 31355 \text{ kNm}^2$$

ve

$$N_k = \pi^2 \frac{31355}{12.449^2} = 1997 \text{ kN}$$

olarak elde edilir. Moment büyütme katsayıları, TS 500 (7.25), (7.24) ve (7.27) formülleri yardımı ile

$$C_m = 0.6 - 0.4(112.51/115.37) = 0.210 \rightarrow 0.4,$$

$$\beta = \frac{0.4}{1 - 1.3 \frac{833}{1997}} = 0.874 \rightarrow 1,$$

$$\beta_s = \frac{1}{1 - 1.3 \frac{2 \times 833}{2 \times 1997}} = 2.185$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada  $N_d = 833$  kN değeri boyutlandırma hesaplarında kullanılan tasarım aksel kuvvetidir. Son olarak tasarım eğilme momenti

$$M_d = 2.185 \times 115.37 = 252.08 \text{ kNm}$$

olarak elde edilir. Bu değer Tablo 5'te verilen 125.18 kNm değerine göre % 101.3 oranında hatalı olduğu hesaplanmaktadır. Bu hata oranının bu denli yüksek olmasında kolon etkili eğilme rijitliğinin çatlamamış ilk rijitliğe oranı konusunda yapılmış olan varsayımlar önemli ölçüde rol oynamaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi, bu oran II. mertebe hesabında 0.70 olarak alınmıştır. Oysa TS 500 moment büyütme formüllerinin uygulanmasındaki oran 0.334 (31355/93750) olarak hesaplanmaktadır.

### 3.2. Tüm Tipik Çerçevesler

Moment büyütme yöntemi tüm tipik çerçevelerin narin kolonlarına uygulanmış ve elde edilen  $M_d$  tasarım momentleri Tablo 6, 7 ve 8’de gösterilmiştir. Bu tablolarda Bölüm 2.1’de II. mertebe hesapları sonunda bulunmuş olan tasarım momentleri de gösterilmiş bulunmaktadır.

Tablo 6. A ve B tipi yapılarda tasarım momentleri

Tip	$M_d$ (kNm)		Hata (%)
	Moment Büyütme	II. Mertebe	
A-041	97.90	80.49	21.6
A-061	141.25	117.90	19.8
A-062	177.27	132.55	33.7
A-081	191.68	153.89	24.6
A-082	244.92	158.14	54.9
A-083	252.03	125.18	101.3
A-101	248.27	189.74	30.8
A-102	329.14	181.10	81.7
A-103	392.03	144.96	170.4
A-104	252.75	145.10	74.2
B-041	100.84	82.68	22.0
B-061	149.70	110.03	36.1
B-062	150.11	122.56	22.5
B-081	209.32	148.21	41.2
B-082	269.72	151.58	77.9
B-083	244.99	131.22	86.7
B-101	228.42	186.33	22.6
B-102	418.15	176.73	136.6
B-103	322.45	152.81	111.0
B-104	273.82	151.77	80.4

Tablo 7. C tipi yapılarda tasarım momentleri

Tip	Konum	M <sub>d</sub> (kNm)		Hata (%)
		Moment Büyütme	II. Mertebe	
C-041	Kenar	101.12	86.92	16.3
	Orta	120.99	103.94	16.4
C-061	Kenar	140.27	121.41	15.5
	Orta	209.62	180.60	16.1
C-062	Kenar	159.18	128.02	24.3
	Orta	186.50	145.67	28.0
C-081	Kenar	192.40	162.17	18.6
	Orta	290.82	246.26	18.1
C-082	Kenar	222.34	158.51	40.3
	Orta	265.78	189.82	40.0
C-083	Kenar	231.53	129.83	78.3
	Orta	293.44	166.53	76.2
C-101	Kenar	250.27	205.12	22.0
	Orta	381.05	315.40	20.8
C-102	Kenar	296.49	187.12	58.4
	Orta	363.01	233.57	55.4
C-103	Kenar	335.28	151.14	121.8
	Orta	432.49	202.29	113.8
C-104	Kenar	242.75	158.88	52.8
	Orta	292.84	195.90	49.5

Tabloların son kolonlarında II. mertebe hesapları sonunda bulunan değerler doğru kabul edilerek hesaplanmış olan hata oranları görülmektedir. Bu oranların incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

- Hata oranları +% 5.8 ile +% 170.4 arasında değişmektedir.
- Ortalama hata oranı +% 49.7 olarak hesaplanmıştır.
- Hata oranlarının tek olumlu yanları tümünün pozitif (güvenli) nitelikte olmasıdır.

- Bu kadar yüksek orandaki hataların özellikle ekonomik bakımdan oldukça sakıncalı olduğu söylenebilir.

Tablo 8. D tipi yapılarda tasarım momentleri

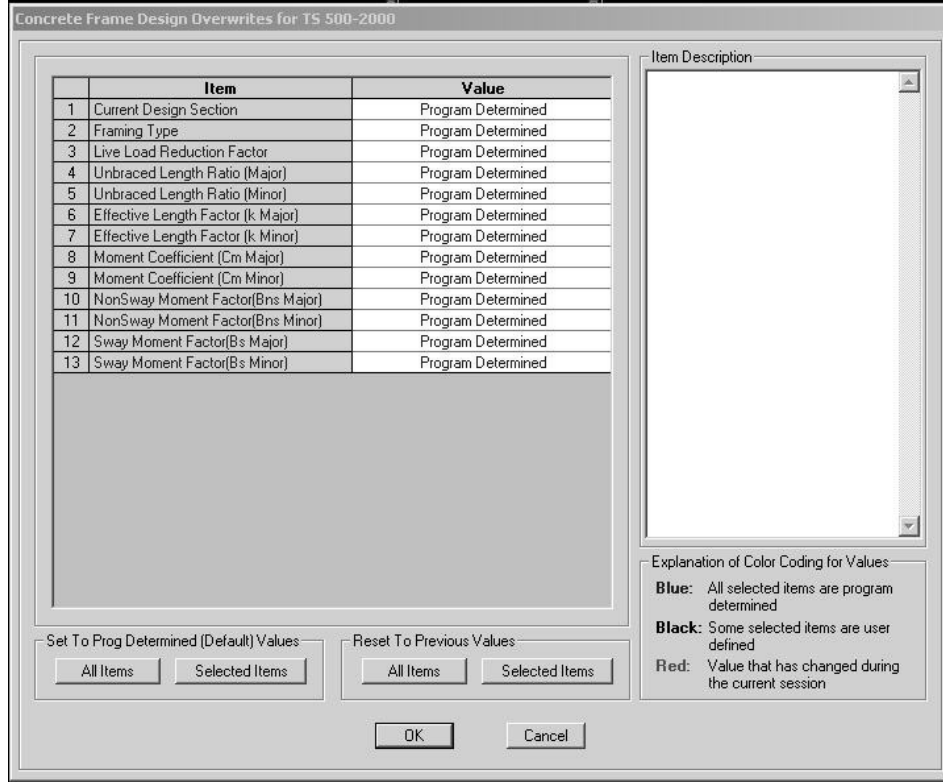
Tip	Konum	M <sub>d</sub> (kNm)		Hata (%)
		Moment Büyütme	II. Mertebe	
D-041	Kenar	100.33	88.93	12.8
	Orta	120.69	106.58	13.2
D-061	Kenar	132.24	123.04	7.5
	Orta	298.72	282.34	5.8
D-062	Kenar	165.92	129.08	28.5
	Orta	244.07	185.78	31.4
D-081	Kenar	164.45	137.91	19.2
	Orta	376.37	321.52	17.1
D-082	Kenar	233.45	142.47	63.9
	Orta	352.33	217.36	62.1
D-083	Kenar	228.24	129.18	76.7
	Orta	338.40	207.42	63.1
D-101	Kenar	203.42	177.17	14.8
	Orta	431.55	385.96	11.8
D-102	Kenar	306.06	171.04	78.9
	Orta	453.55	264.74	71.3
D-103	Kenar	268.50	149.44	79.7
	Orta	407.30	236.02	72.6
D-104	Kenar	240.38	149.28	61.0
	Orta	358.69	231.16	55.2

### 3.3. Genel Amaçlı Yazılımlar

Genel amaçlı yazılımlarda narinlik uygulaması “Design Overwrites” (Boyutlandırmada Üzerine Yazma) ileti kutusundaki narinlik parametreleri aracılığı ile yapılmaktadır.

#### Betonarme Çerçevelerde Narinlik Etkisi

SAP 2000 ortamında narinlik uygulaması için bir çubuk seçildikten sonra, Design → Concrete Frame Design → View/Revise Overwrites komutları kullanıldığında Şekil 4’te gösterilen “Design Overwrites” ileti kutusu ekrana gelir.



Şekil 4. SAP 2000 Design Overwrites ileti kutusu

Şekilde görüldüğü gibi, tüm parametreler için “Value” (Değer) başlıklı kolonda “Program Determined” ifadesi yer almaktadır. Buradan bu parametrelerin yönetmelik esaslarına uygun olarak program tarafından otomatik olarak hesaplandığı anlamı çıkarılabilir. Bu varsayımın yanıltıcı olduğu bazı parametrelerin düzeltilmesi sırasında ortaya çıkan açıklamalardan anlaşılmaktadır, [30].

Uygulamada Bölüm 3.1’deki örnek üzerinde gösterildiği gibi, moment büyütme katsayılarını el ile hesaplamak ve Design Overwrites ileti kutusunu kullanarak  $\beta$  (Bns) ve  $\beta_s$  (Bs) parametrelerini düzeltmek daha pratik sonuçlar vermektedir.

ETABS ortamında “Design Overwrites” ileti kutusundaki tüm narinlik parametreleri için 1 değerinin kullanıldığı görülmektedir. Burada da narin çubuk seçildikten sonra moment büyütme katsayılarını el ile hesaplamak ve  $\beta$  (Bns) ve  $\beta_s$  (Bs) parametrelerini düzeltmek pratik uygulamalar bakımından uygun bir yaklaşımdır.

#### 4. FİKTİF YATAY YÜK YÖNTEMİ

Bu bölümde pratik uygulamalar bakımından yeterli doğrulukta sonuçlar veren ve genel amaçlı yazılımlar kullanarak kolayca uygulanabilen basit bir yöntemin ana hatları açıklanacaktır. Wight ve MacGregor,[31] tarafından önerilen bu yöntemde küçük bir değişiklik yapılarak hesaplarda çatlama kesit rijitliklerinin kullanılması sağlanmış bulunmaktadır.

İkinci mertebeye etkisi altında bulunan bir kolonun şekil değiştirme durumu, şematik olarak Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Kolon şekil değiştirme durumu

İkinci mertebeye etkilerinden dolayı kolonda

$$M = N\Delta \quad (3)$$

kuvvet çifti oluşur. Burada N ve Δ, sırası ile, aksenal kuvveti ve görece yatay ötelemeyi göstermektedir. Bu kuvvet çiftini temsil etmek üzere fiktif bir V kesme kuvveti uygulanırsa

$$M = VL_c \quad (4)$$

elde edilir, Şekil 5. (3) ve (4) denklemlerinin sağ tarafları eşitlenir ve V çözümlenir

$$V = \frac{N\Delta}{L_c} \quad (5)$$

bulunur. Bu denklem ile tanımlanan kesme kuvvetlerini doğuracak fiktif H yatay yükleri yapının düğüm noktalarına yüklenirse ikinci mertebeye etkileri yaklaşık olarak göz önüne alınmış olur. (5) denklemini uygulanırken Δ ötelemeleri, çatlama eğilme rijitliklerini göz önüne alacak biçimde büyütülmelidir. Yukarıda açıklandığı gibi, çatlama kesit rijitliklerinin hesabında kolon ve kiriş kesitleri için, sırası ile, 0.70 ve 0.35 katsayılarının

### Betonarme Çerçevelerde Narinlik Etkisi

kullanılması uygun olmaktadır. Bu değerlerin ortalaması olarak  $(0.70 + 0.35) / 2 \approx 0.50$  kullanılırsa  $\Delta$  yerdeğiştirmeleri yaklaşık olarak dolu kesitler için bulunanların  $1 / 0.5 = 2$  katları olarak alınabilir. Bu durumda (5) formülünde  $\Delta$  yerine  $2\Delta$  konarak

$$V = \frac{2N\Delta}{L_c} \quad (6)$$

denklemini kullanılabilir. Yapının en üst (N.) ve normal katları (i.) için, kolon üst uçlarındaki düğüm noktalarına etkiyen fiktif H yatay yükleri, sırası ile,

$$H_N = V_N \quad (7)$$

ve

$$H_i = V_i - V_{i+1} \quad (8)$$

denklemleri ile hesaplanır. Burada  $V_N$ ,  $V_{i+1}$  ve  $V_i$ , sırası ile, N. kattaki, i. kat düğüm noktasının üstündeki ve altındaki kolonlar için hesaplanmış olan fiktif kesme kuvvetleridir.

Uygulamada

- Önce birinci merteye hesabı yapılır. Bu hesapta gerekiyorsa aşamalı yapıım özellikleri de göz önüne alınmalıdır.
- N eksenel yükleri düşey yüklemelerden (veya yükleme birleşimlerinden),  $\Delta$  görelî ötelemeleri de yatay (deprem) yüklemelerinden alınarak (6) formülü ile fiktif kesme kuvvetleri hesaplanır. Yükleme birleşimleri seçilirken N değerleri olabildiğince büyük olanlar tercih edilmelidir.
- (7) ve (8) formülleri ile de fiktif yatay yükler hesaplanır.
- Fiktif yatay yükler mevcut yatay yüklerle eklenerek birinci merteye hesabı tekrarlanır.

Bu yöntemde ikinci merteye etkileri yaklaşık olarak hesaba katılmış olmaktadır. Çünkü ikinci merteye etkileri sadece yukarıda sözü edilen  $N\Delta$  kuvvet çiftinden ibaret değildir. Gerçekte eksenel kuvvetler kolon birim deplasman sabitlerini de etkileyip değıştirirler. Ancak, yukarıda belirtildiğı gibi, DBYBHY esasları arasındaki yerdeğıştirme kısıtlamaları nedeni ile yerdeğıştirmeler büyük değerler almamaktadır. Bu nedenle pratik uygulamalar bakımından yeterli doğrulukta sonuçlar elde edilebilmektedir.

Bu yöntemle II. merteye hesabı için ayrı bir model kullanılması gerekmemektedir. Aşağıda tipik çerçevelerdeki narin kolonlara bu yöntem uygulanacak ve sonuçlar irdelenecektir.

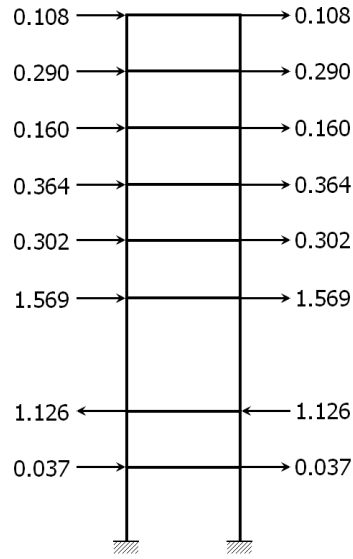
#### 4.1. Sayısal Uygulama - Tip A083

Örnek olarak yine Tip A083 çerçevesi seçilmiştir. Fiktif yüklerin hesabı Tablo 9 üzerinde görülmektedir.



Tablo 9. Fiktif yük hesabı

Kat No.	N (kN)	d (cm)	$\Delta$ (cm)	$L_c$ (cm)	$V = \frac{2N\Delta}{L_c}$ (kN)	H (kN)
1	2	3	4	5	6	7
8	99.68	2.659	0.163	300	0.108	0.108
7	235.06	2.496	0.254	300	0.398	0.290
6	375.64	2.242	0.223	300	0.558	0.160
5	520.45	2.019	0.266	300	0.923	0.364
4	670.66	1.753	0.274	300	1.225	0.302
3	833.15	1.479	1.006	600	2.794	1.569
2	996.84	0.473	0.251	300	1.668	-1.126
1	1151.89	0.222	0.222	400	1.705	0.037



Şekil 6. Fiktif yükler

Tablonun ilk üç kolonuna, sırası ile, Kat No.ları, N eksenel kuvvetleri ve deprem yüklemesinden oluşan d yerdeğiştirmeleri yazılmıştır. Eksenel kuvvetler  $G + Q \pm E$  yükleme birleşimlerinden alınmış bulunmaktadır. 4. kolonda d değerlerinin farklarından oluşan  $\Delta$  değerleri 5. Kolonda da  $L_c$  kolon boyları görülmektedir. 6. kolona (6) denklemi ile hesaplanan V fiktif kesme kuvvetleri, 7. kolona da fiktif yatay yükler yazılmıştır. Fiktif yükler Şekil 6'da gösterilmiştir.

### Betonarme Çerçeveselerde Narinlik Etkisi

Bu yükler yeni bir F yüklemesi olarak uygulanmış ve narin kolonlarda  $G + Q \pm (E + F)$  yüklemesinden elde edilen tasarım momenti  $M_d = 123.73$  kNm olarak bulunmuştur. Bu değerin Tablo 5'te verilen 125.18 kNm değerine göre -% 1.2 oranında hatalı olduğu hesaplanmaktadır. Bu hata oranının kabul edilebilir mertebede olduğu görülmektedir.

#### 4.2. Tüm Tipik Çerçeveseler

Burkulma yükünün düzeltilmesi yöntemi tüm tipik çerçeveselerin narin kolonlarına uygulanmış ve elde edilen  $M_d$  tasarım momentleri Tablo 10, 11 ve 12'de gösterilmiştir. Bu tablolarda Bölüm 2.1'de II. mertebe hesapları sonunda bulunmuş olan tasarım momentleri de gösterilmiş bulunmaktadır.

Tablo 10. A ve B tipi yapılarda tasarım momentleri

Tip	$M_d$ (kNm)		Hata (%)
	Fiktif Yükleme	II. Mertebe	
A-041	79.67	80.49	-1.0
A-061	110.31	117.90	-6.4
A-062	126.44	132.55	-4.6
A-081	140.73	153.89	-8.6
A-082	151.43	158.14	-4.2
A-083	123.73	125.18	-1.2
A-101	169.46	189.74	-10.7
A-102	171.40	181.10	-5.4
A-103	143.55	144.96	-1.0
A-104	149.02	145.10	2.7
B-041	81.84	82.68	-1.0
B-061	104.05	110.03	-5.4
B-062	116.75	122.56	-4.7
B-081	137.41	148.21	-7.3
B-082	146.51	151.58	-3.3
B-083	128.66	131.22	-2.0
B-101	168.67	186.33	-9.5
B-102	169.69	176.73	-4.0
B-103	152.41	152.81	-0.3
B-104	149.10	151.77	-1.8

Tablo 11. C tipi yapılarda tasarım momentleri

Tip	Konum	M <sub>d</sub> (kNm)		Hata (%)
		Fiktif Yükleme	II. Mertebe	
C-041	Kenar	83.34	86.92	-4.1
	Orta	101.61	103.94	-2.2
C-061	Kenar	111.27	121.41	-8.4
	Orta	167.34	180.60	-7.3
C-062	Kenar	121.65	128.02	-5.0
	Orta	146.53	145.67	0.6
C-081	Kenar	147.61	162.17	-9.0
	Orta	224.75	246.26	-8.7
C-082	Kenar	150.24	158.51	-5.2
	Orta	184.73	189.82	-2.7
C-083	Kenar	128.54	129.83	-1.0
	Orta	167.21	166.53	0.4
C-101	Kenar	182.07	205.12	-11.2
	Orta	279.03	315.40	-11.5
C-102	Kenar	175.18	187.12	-6.4
	Orta	220.62	233.57	-5.5
C-103	Kenar	150.60	151.14	-0.4
	Orta	199.55	202.29	-1.4
C-104	Kenar	156.87	158.88	-1.3
	Orta	194.82	195.90	-0.6

Tabloların son kolonlarında II. mertebe hesapları sonunda bulunan değerler doğru kabul edilerek hesaplanmış olan hata oranları görülmektedir. Bu oranların incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

- Hata oranları -% 12.1 ile +% 2.7 arasında değişmektedir.
- Ortalama hata oranı  $\pm$ % 4.6 olarak hesaplanmıştır.
- Hata oranlarının büyük çoğunluğu negatif (güvensiz) yönde fakat kabul edilebilir sınırlar içindedir.
- Bu yöntemin de pratik uygulamalarda başarı ile kullanılabilceği söylenebilir.

Tablo 12. D tipi yapılarda tasarım momentleri

Tip	Konum	M <sub>d</sub> (kNm)		Hata (%)
		Fiktif Yükleme	II. Mertebe	
D-041	Kenar	84.95	88.93	-4.5
	Orta	104.10	106.58	-2.3
D-061	Kenar	112.47	123.04	-8.6
	Orta	255.74	282.34	-9.4
D-062	Kenar	122.53	129.08	-5.1
	Orta	184.50	185.78	-0.7
D-081	Kenar	126.21	137.91	-8.5
	Orta	291.23	321.52	-9.4
D-082	Kenar	135.47	142.47	-4.9
	Orta	210.72	217.36	-3.1
D-083	Kenar	126.65	129.18	-2.0
	Orta	205.47	207.42	-0.9
D-101	Kenar	158.73	177.17	-10.4
	Orta	339.19	385.96	-12.1
D-102	Kenar	162.20	171.04	-5.2
	Orta	247.69	264.74	-6.4
D-103	Kenar	149.00	149.44	-0.3
	Orta	231.78	236.02	-1.8
D-104	Kenar	147.78	149.28	-1.0
	Orta	226.11	231.16	-2.2

#### 4.3. Genel Amaçlı Yazılımlar

II. mertebe etkilerinin fiktif yatay yükler ile temsil edilmesi durumunda “Design Overwrites” ileti kutusundaki  $\beta$  (Bns) ve  $\beta_s$  (Bs) parametrelerinin 1 (bir) olarak alınması gerekmektedir.

#### 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada bir “Sayısal Deney” yöntemi kullanılarak çok katlı betonarme çerçevelerde “Moment Büyütme” yöntemi ile elde edilen sonuçlar II. mertebe sonuçları ile karşılaştırılmış ve doğruluk mertebeleri irdelenmiştir. Bu amaçla, 60 adet narin kolonu olan

40 adet “Tipik Çerçeve” seçilmiştir. Çalışmada ayrıca iki ayrı yöntem ile tasarım momentlerinin elde edilmesi için

- a. Düzeltilmiş burkulma yükleri,
- b. Fiktif yatay yükler

kullanılmış ve her durum için hatalar irdelenmiştir. Elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. II. mertebe hesaplarında kullanılacak çatlamış kesit eğilme rijitlikleri için, dolu kesit değerlerinin kolonlarda 0.70, kirişlerde de 0.35 katsayıları ile çarpılmasının uygun olacağı saptanmıştır.
2. Yönetmeliklerdeki moment büyütme yöntemi ile elde edilen tasarım momentleri II. mertebe hesapları sonunda bulunanlar ile karşılaştırıldığında, hata oranlarının pozitif (güvenli) yönde ve oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Bu yöntemin uygulanmasının ekonomik bakımdan sakıncalı olduğu saptanmıştır.
3. Dolu kesitleri kullanıp II. mertebe etkilerinin yatay fiktif yükler ile temsil edilmesi halinde ortalama hatanın  $\pm$  % 4.6 olduğu saptanmıştır. Bu yöntemin pratik uygulamalarda başarı ile kullanılabilceği anlaşılmaktadır.

#### Kaynaklar

- [1] TS 500 – Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Birinci Baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [2] TS 9967 – Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar – Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan – Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları, , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1992.
- [3] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Mart 2007.
- [4] MacGregor, J.G., Design of Slender Concrete Columns-Revisited, ACI Structural Journal, V. 90, No. 3, May-June, 1993.
- [5] Kordina, K., Cracking and Crack Control, Planning and Design of Tall Buildings, Proc. Of ASCE-IABSE International Conference, V. III, 1972.
- [6] Hage, S. E. & MacGregor, J. G., Second Order Analysis of Reinforced Concrete Frames, Structural Engineering Report No. 9, Dept. of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Oct. 1974.
- [7] MacGregor, J. G. & Hage, S. E., Stability and Design of Concrete Frames, Journal of the Structural Division, ASCE, V. 103, No. ST10, Oct. 1977.
- [8] Furlong, R. W., Frames with Slender Columns-Lateral Load Analysis, CRSI Professional Members’ Structural Bulletin No. 6, Mar. 1980.
- [9] Dixon, D. G., Second-Order Analysis of Reinforced Sway Frames, MAsc. Thesis, Dept. of Civil Engineering, University of Waterloo, Ontario, 1985.

- [10] McDonald, B. E., Second Order Effects in Reinforced Concrete Frames, MASC. Thesis, Dept. of Civil Engineering, University of Waterloo, Ontario, 1986.
- [11] Galambos, T.V., "Structural Members and Frames", Prentice-Hall, Inc., New York, 1968.
- [12] TS 500 – Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1975.
- [13] Özmen, G., Prefabrikte Yapılarda Narinlik Etkisi, Beton Prefabrikasyon Dergisi, Yıl 20, Sayı 83, Temmuz 2007.
- [14] Hellesland, J. and Bjorhovde, R., "Restraint demand factors and effective lengths of braced columns", J. Struct. Engrg., ASCE, 122(10), 1216-1224, 1996.
- [15] Özmen, G. & Girgin, K., Ötelemesi Önlenmemiş Çok Katlı Yapılarda Kolon Burkulma Boyları, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, Cilt 16, Sayı 4, Ekim 2005.
- [16] Girgin, K. & Özmen, G., Ötelemesi Önlenmiş Çok Katlı Yapılarda Kolon Burkulma Boyları, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, Cilt 19, Sayı 1, Ocak 2008.
- [17] Duan, L. and Chen, W.F., "Effective length factors for columns in braced frames", J. Struct. Engrg., ASCE, 114(10), 2357-2370, 1988.
- [18] Duan, L. and Chen, W.F., "Effective length factors for columns in unbraced frames", J. Struct. Engrg., ASCE, 115(1), 149-165, 1989.
- [19] Bridge, R.Q. and Fraser, D.J., "Improved G-factor method for evaluating effective lengths of columns", J. Struct. Engrg., ASCE, 113(6), 1341-1356, 1987.
- [20] Yura, J.A., "Effective length of columns in unbraced frames", Engrg. J., AISC, 8(2), 37-42, 1971.
- [21] LeMessurier, W.J., "A practical method of second-order analysis, 2:Rigid frames", Engrg. J., AISC, 14(2), 49-67, 1977.
- [22] White, D.W. and Hajjar, J.F., "Buckling models and stability design of steel frames: A unified approach", J. Construct. Steel Res., 42(3), 171-207, 1997.
- [23] Lui, E. M., "A Novel Approach for K Factor Determination"; Engrg. J., AISC, 29(4), 50-159, 1992.
- [24] Aristizabal-Ochoa, J. D., "Braced, Partially Braced and Unbraced Frames: Classical Approach", J. Struct. Engrg., ASCE, 123(6), 799-807, 1997.
- [25] Kumbasar, N., Çok Katlı Çerçeveselerin Burkulma Hesabı için Yaklaşık Bağıntılar, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, Cilt 9, Sayı 3, Temmuz 1998.
- [26] Cheong-Siat-Moy, F., "An Improved K-Factor Formula", J. Struct. Engrg., ASCE, 125(2), 169-174, 1999.
- [27] Aristizabal-Ochoa, J. D., "Classic Buckling of Three-Dimensional Multi-Column Systems under Gravity Loads", J. Engrg. Mechs., ASCE, 128(6), 613-624, 2002.

- [28] Aristizabal-Ochoa, J. D., “Elastic Stability and Second-Order Analysis of Three-Dimensional Frames: Effects of Column Orientation”, J. Engrg. Mechs., ASCE, 129(11), 1254-1267, 2003.
- [29] Helleland, J. and Bjorhovde, R., “Improved frame stability analysis with effective lengths”, J. Struct. Engrg., ASCE, 122(11), 1275-1283, 1997.
- [30] Özmen, G., Girgin, K., Darılmaz, K., Betonarme Çerçeveselerde Narinlik Etkisi, [http://www.yapistatigi.itu.edu.tr/papers\\_reports/papers\\_reports.html](http://www.yapistatigi.itu.edu.tr/papers_reports/papers_reports.html), 2014.
- [31] Wight, J. K. & MacGregor, J. G., “Reinforced Concrete: Mechanics and Design”, Prentice Hall; 6 edition, 2011.

