

**ARAŞTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE**

**İKİ EKSENLİ EĞİLME VE SABİT BASINÇ KUVVETİ ETKİSİNDEKİ EŞİT KOLLU  
KORNİYERLERİN ANALİZİ**

**M. Ruhi AYDIN<sup>1</sup>**

**ÖZ**

Korniyerler genellikle geometrik eksenlerine paralel olarak yüklenirler. Ayrıca kesitleri asal eksenlerine göre simetrik de değildirler. Eşit kollu korniyerlerde bile sadece bir tek simetri eksenine vardır. Pek çok yükleme tipi bu elemanlarda iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet meydana gelmesine neden olur. Bu özelliklerinin yanı sıra korniyerler narin taşıyıcılar olmaları nedeni ile de eğilme burkulması, yanal burulma burkulması ve yerel burkulma etkileri altında da incelenmesi gereken sistemlerdir. Bu çalışmada eksenel kuvvetin sabit ve basınç kuvveti olması hali için, aynı oranda değişen çubuk eksenine dik yükler etkisi altında, eşit kollu korniyerlerin nominal yüklerinin bulunması için bir hesap prosedürü sunulmaktadır. Sabit eksenel kuvvet sadece kesitte oluşturacağı üniform basınç gerilmesi ve ikinci merteye etkileri ile göz önüne alınmaktadır. Bu suretle geriye iki eksenli etki eden eğilme momentleri kalmaktadır. İki eksenli eğilme için ilk akma momentleri, tam plastik momentler ve yanal burulma burkulması haline ait kesitin taşıyabileceği momentler eksenel kuvvete ve narinliğe bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu momentleri oluşturan yüklerden kesite ait nominal yükün hesabı ise LRFD kuralları çerçevesinde olmak üzere hesaplanmaktadır. Sabit eksenel yük hali için sunulan hesap prosedürü istenirse ardışık yaklaşım yolu ile genel haldeki eksenel kuvvetler için de uygulanabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Korniyer, Burulma burkulması, Eğilme burkulması, İki eksenli eğilme, Çelik kiriş.

**ANALYSIS OF EQUAL LEG ANGLE SECTION BEAMS SUBJECTED TO BIAXIAL BENDING  
AND CONSTANT AXIAL COMPRESSION FORCE**

***ABSTRACT***

Single-angles are generally loaded parallel to their geometrical axes. And, their cross sections are not symmetrical to their principal axes. Even equal leg angles have only one symmetrical axis. Many loading types cause biaxial bending and axial force in these members. Since single-angles are slender members, they also need to be analyzed under the flexural buckling, lateral torsional buckling and local buckling effects. In this study, a calculation procedure is presented to analyze nominal loads of equal leg angle section beams loaded vertically to the beam axis. It is assumed that axial force is composed of constant and compressive force. Constant axial force is taken into consideration only for the uniform compressive stress and second degree effects caused in the cross section. By this way, only biaxial bending moments are left. The first yield, full plastic and critical lateral torsional buckling moments for biaxial bending is calculated with respect to the slenderness and the axial force. The nominal design force on the cross section among these moments is calculated according to the LRFD rules. Analysis procedure presented for constant axial load can also be used for general conditions of axial forces, by using an consecutive calculation procedure.

**Keywords:** Single-angle, Lateral torsional buckling, Flexural buckling, Biaxial bending, Steel beam.

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.

## 1. GİRİŞ

Korniyerler kesitlerinin simetrik olmaması, narin elamanlar olmaları ve çoğu halde asal eksene paralel olarak yüklenmemeleri nedeni ile genellikle en genel iç kuvvetler etkisindeki elemanlardır. Bir başka deyişle eksenel kuvvet ve iki eksenli eğilme momentleri etkisi altındadırlar. Eğilme şekil değiştirmeleri ve eksenel kuvvet kesitte ilave momentler meydana getirirler. Bu momentler nedeni ile yeni şekil değiştirmeler meydana gelir ve bu durum ardışık etkilerin meydana gelmesine neden olur. Bu etkiler ikinci mertebeye etkiler veya  $P-\Delta$  etkileri olarak adlandırılır. İkinci mertebeye etkiler ilave kesit tesirleri meydana getirmesinin yanı sıra, limit durumunda stabilite sorunlarına da neden olabilir.

Bu en genel hale ait boyutlandırma yapılması istendiğinde aşağıdaki ön hesaplamaların yapılması gerekir.

a-Yüklemenin artışı ile kesitin her hangi bir noktasında akma gerilmesi meydana geldiği hale ait moment ve bu momenti oluşturan yükler, (Tanımlanan bu moment ilk akma momenti olarak adlandırılır.)

b-Tüm kesitin akma gerilmesine ulaşması haline ait moment ve bu momenti oluşturan yükler, (Tanımlanan bu moment tam plastik moment olarak adlandırılır.)

c-Eğilme burkulması meydana getiren eksenel kuvvet.

d-Yanal burulma burkulması meydana getiren eğilme momentleri ve bu momentleri oluşturan yükler.

e-Korniyer kollarının basınç gerilmeleri nedeni ile yerel burkulma etkileri altında bulunması ve bu hale ait moment ve bu momenti oluşturan yükler.

Yukarıda sözü edilen ön hesapların yapılmasından sonra kesite ait tasarım momentinin veya yükünün bulunabilmesi mümkün olabilir. Korniyerlerin eğilme, eksenel kuvvet etkisi ve burkulma etkileri ile ilgili analizi için yapılan çalışmaların bu çalışma ile ilişkili olanlarına ait bir kısım bilgiler aşağıda sunulmaktadır. Earls, (2001a ve b) ve Sun, ve Butterworth, (1998) de eşit kollu korniyerlerin malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan sonlu elemanlar tekniği ile geometrik eksenlerdeki eğilme durumları analiz edilmiştir. Elgaaly, Vd., (1991) de kafes kiriş elemanı olarak kullanılan korniyerlerin uçlarındaki değişik mesnetlenme durumlarına ait haller için deneysel incelemeler yapılmış ve sonuçlarına yorumlar getirilmiştir. Trahair, (2002) de 2 eksenli eğilme hali için elastik analize ait hesap prosedürleri verilmiş ve elastik, plastik ve yerel burkulma durumları için kullanılacak mukavemet momentlerine ait bağıntılar sunulmuştur. Trahair, (2003 ve 2004) de eşit ve değişik kollu korniyerlerin üniform yayılı yük etkisi altında elastik yanal burkulma momentleri için yaklaşık bağıntılar ve karşılıklı etkileşim diyagramları sunulmuştur. Trahair, (2005) de eşit kollu korniyerlerde ikinci mertebeye etki-

leri eğilme ve burulma hallerini göz önüne alan bir tasarım yöntemi sunulmuştur. Earls, Galambos, (1997), Earls, (1999) de doğrusal olmayan sonlu elemanlar tekniği kullanılarak eşit kollu korniyerler analiz edilmiş ve sonuçları deneysel olarak kontrol edildikten sonra bir hesap yöntemi önerilmiştir.

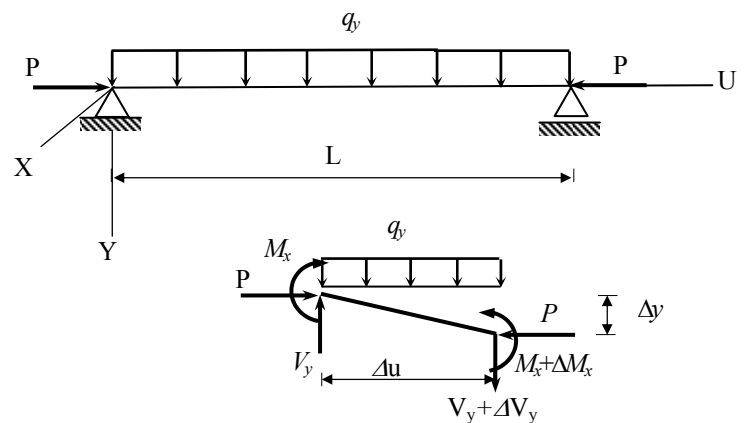
Bu çalışmada kesite etki eden eksenel kuvvet sabit ve basınç kuvveti olarak kabul edilmiştir. Bu kuvvet oluşturacağı ikinci mertebeye etkiler ile göz önüne alınacak, bir başka deyişle çubuk eksenine dik yönde etki eden yüklerin meydana getirdikleri momentler i-kinici mertebeye etkilerden dolayı artırılarak göz önüne alınacaktır. Bu durumda kesitteki iç kuvvetler eğilme momentlerinden ibaret olacak, eksenel kuvvet kesitin bir özelliği olarak analizde yer alacaktır. İkinci mertebeye etkiler eğilme burkulması öncesi göz önüne alınmış olacağı için yukarıda sözü edilen eğilme burkulması sorununun inceleme dışı kalacağı kendiliğinden ortaya çıkar. Benzer şekilde sabit eksenel yük için yanal burulma burkulması halinde de önce her bir asal eksene ait yanal burulma moment değerleri bulunacak iki eksen arasında karşılıklı etkileşim diyagramının bir doğru olduğu kabulüne göre eksenlere ait limit momentler bulunacaktır. Bulunan momentler dolayısı ile hesaplanan yüklerden nominal yüklerin bulunması için LRFD (LRFD Load and Resistance Factor Design of Single-Angle Members 2000) kurallarına uygun olarak bir hesap prosedürü sunulacaktır.

## 2. SABİT EKSENEL KUVVET ETKİSİ ALTINDA BULUNAN DOĞRUSAL ÇUBUK ELEMANLARDA İKİNCİ MERTEBE MOMENTLERİN HESABI

Şekil 1. de  $L$  açıklığındaki basit kirişe etki eden sabit  $P$  eksenel basınç kuvveti ve  $q_y$  üniform yayılı yükü görülmektedir. Bu kirişten çıkarılan bir  $\Delta u$  çubuk elemanında düşey denge ve sağ uca göre moment denge koşulları yazılır ve  $\Delta u \rightarrow 0$  için ifadeler düzenlenirse

$$\frac{dV_y}{du} = -q_y \quad (1)$$

$$\frac{dM_x}{du} = V_y + P \frac{dy}{du} \quad (2)$$



Şekil 1. Basınç kuvveti üniform yayılı yük etkisindeki basit kiriş ve  $\Delta u$  elemanına etki eden iç kuvvetler ve yer değiştirmeleri.

(2) Denkleminin bir kere daha türevi alınır ve

$$\frac{d^2 M_x}{du^2} = -EI_x \frac{d^4 y}{du^4}$$

olduğu da göz önüne alınarak (1) Denklemi ile birleştirilirse

$$\frac{d^4 y}{du^4} + \frac{P}{EI_x} \frac{d^2 y}{du^2} = \frac{q_y}{EI_x} \quad (3)$$

burada;

$$\lambda_x = L \sqrt{\frac{P}{EI_x}} \quad (4)$$

(4) Denkleminin çözümü

$$y = C_1 \sin \lambda_x \frac{u}{L} + C_2 \cos \lambda_x \frac{u}{L} + C_3 u + C_4 + \frac{q_y u^2}{2P} \quad (5)$$

$u=0$  ve  $u=L$  de çökme ve momentlerin sıfır olacağı sınır koşulları kullanılarak (5) Denklemindeki integral sabitleri hesaplanırsa aşağıdaki (6) Denklemi elde edilir.

$$y = \frac{L^2 q_y}{\lambda_x^2 P} \left( \frac{1 - \cos \lambda_x}{\sin \lambda_x} \sin \frac{\lambda_x}{L} u + \cos \frac{\lambda_x}{L} u - \frac{\lambda_x^2}{2L} u - 1 + \frac{\lambda_x^2}{2L^2} u^2 \right) \quad (6)$$

(6) Denkleminde her hangi bir  $u$  koordinatındaki moment kolayca hesaplanabilir. Bu ifade aşağıdaki (7) Denklemi ile verilmektedir.

$$M_x = q_y L^2 \left( \frac{1 - \cos \lambda_x}{\sin \lambda_x} \sin \frac{\lambda_x}{L} u + \cos \frac{\lambda_x}{L} u - 1 \right) \frac{1}{\lambda_x^2} \quad (7)$$

Basit kirişin ortasında etki eden tekil  $Q_y$  yükü olması halinde elastik çizgi ve moment denklemi

$$y = \frac{1}{2} \frac{L Q_y}{\lambda_x P} \left( \frac{1}{\cos \frac{\lambda_x}{2}} \sin \frac{\lambda_x}{L} u - \frac{\lambda_x}{L} u \right) \quad (8)$$

$$M_x = Q_y L \left( \sin \frac{\lambda_x}{L} u \right) \frac{1}{2 \lambda_x \cos \frac{\lambda_x}{2}} \quad (9)$$

olur.

(7) ve (9) Denklemleri üniform yayılı ve kiriş ortasında etki eden tekil yük haline ait elastik çizgi ve moment denklemlerini vermektedir.  $x$  eksenine paralel etki eden  $q_x$  ve/veya  $Q_x$  yükleri için adı geçen denklemlerdeki  $x$  ve  $y$  ler yer değiştirmelidir.

İkinci mertebeye etkilerin kiriş ortasındaki momentleri  $\lambda$  katsayılarına bağlı olarak hangi ölçüde etkilediğine dair bir karşılaştırma Tablo 1. de sunulmaktadır.

$$M = \chi_q \frac{qL^2}{8} \text{ veya } M = \chi_Q \frac{QL}{4}$$

Tablo 1. Üniform yayılı ve açıklık ortasında etki eden tekil yük hali için orta kesitteki momentin artış katsayıları tablosu

$\lambda$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$P/P_{cr}$	0.025	0.101	0.228	0.405	0.633	0.912
$\chi_q$	1.027	1.116	1.304	1.702	2.779	11.677
$\chi_Q$	1.021	1.093	1.242	1.557	2.408	9.401

Tablo 1. de görülen  $P_{cr}$  Euler burkulma yükü olup, iki ucu da mafsallı bir çubukta,

$$P_{cr} = \pi^2 \frac{EI}{L^2} \quad (10)$$

değerindedir.

$P$  etkisi nedeni ile orta kesitte meydana gelen momentler yük tipine göre oldukça iyi bir yaklaşıklık ile aşağıdaki denklemlerden de elde edilebilir.

Üniform yayılı yük için,

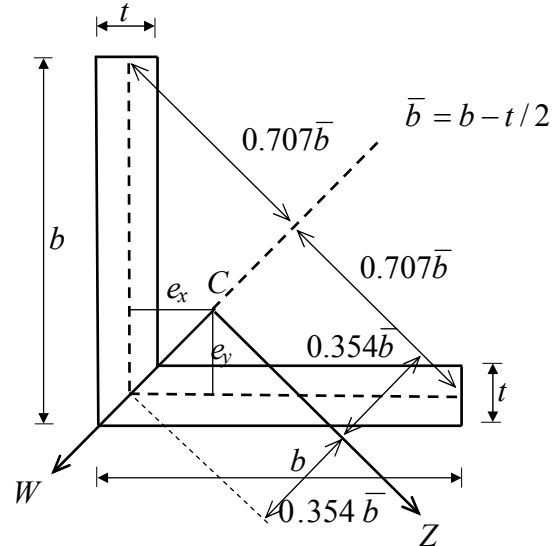
$$M = \frac{qL^2}{k_q}; k_q = -0.805\lambda^2 - 0.035\lambda + 8; 0 \leq \lambda \leq 3.0 \quad (11)$$

Kiriş ortasında etki eden tekil yük için,

$$M = \frac{QL}{k_Q}; k_Q = -0.394\lambda^2 + 0.064\lambda + 4; 0 \leq \lambda \leq 2.5 \quad (12)$$

### 3. İLK AKMA MOMENTLERİNİN HESABI

Eşit kollu korniyerde sabit kabul edilen aksel kuvvetten dolayı meydana gelen ve bütün kesitte üniform olan basınç gerilmesi korniyere ait akma gerilmesinden çıkarıldığında bulunacak gerilmeyi oluşturan momentler kesite ait ilk akma momentleri olarak tanımlanabilir. Şekil 2. de eşit kollu bir korniyerin boyutları ve asal eksenleri görülmektedir, asal eksenlerin yatay ve düşeyde yer alan geometrik eksenlerle yaptığı açı  $\pi/4$  radyandır.



Şekil 2. Eşit kollu korniyer boyutları ve asal eksenleri.

Sabit aksenal kuvvetten meydana gelen basınç gerilmesi  $\frac{P}{A}$  değerindedir.

İlk akma momentleri  $M_w$  ve  $M_z$  asal eksenlerdeki momentlerin  $\alpha$  katı olan bir değerdedir,  $\alpha$  aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir (Timoshenko, Ve Gere, 1972).

$$\alpha \left( -\frac{M_w}{I_w} z + \frac{M_z}{I_z} w \right) = F_y - \frac{P}{A} \quad (13)$$

Burada  $A$  kesit alanı,  $F_y$  akma gerilmesidir, (13) Denklemi kesitin kritik noktalarına uygulanmalı ve en küçük katsayıyı veren moment grubu araştırılmalıdır.

(13) Denklemi uygulanırken Şekil 2. deki dolu çizgiler ile gösterilen kesit yerine orta kesitten geçirilen eksenlerin meydana getirdiği L şeklindeki idealize kesit göz önüne alınabilir. Bu hale ait değerler aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$\bar{b} = b - \frac{t}{2}; I_w = \frac{1}{3} \bar{b}^3 t; I_z = \frac{1}{12} \bar{b}^3 t; e_x = e_y = 0.25 \bar{b} \quad (14a)$$

Tarafsız eksene en büyük uzaklıklar.

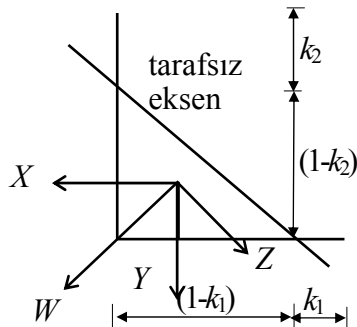
$$z = 0.707 \bar{b}; w = 0.354 \bar{b} \quad (14b)$$

Asal eksen momentlerinin işaretlerine göre (13) Denklemi ve (14) Denklemlerindeki büyüklükler göz önüne alınarak aşağıdaki durumlara uygun olarak uygulanmalıdır.

$M_z < 0$  olması halinde korniyerin serbest ucu için  $M_z > 0$  olması halinde korniyerin serbest ucu ve köşesi için hesaplanarak olumsuz olan hale ait değer kullanılacaktır.

#### 4. TAM PLASTİK MOMENT HESABI

Sabit aksenal yük etkisi altında bulunan eşit kollu bir korniyerin tam plastik davranış halinde asal eksenlerdeki moment bileşenlerinin bulunması ilk akma momenti ile tam plastik moment arasındaki ilişkinin bilinmesi bakımından gereklidir. Bunun için Şekil 3. de gösterilen birim kenar uzunluğundaki korniyerde tarafsız eksenin değişik konumlarına ait aksenal kuvvet ve moment bileşenlerinin bulunması ve düzenlenmesi gereklidir. Bu amaçla aşağıdaki hesap prosedürü izlenecektir.



Şekil 3. Eşit kollu korniyer tarafsız eksen geometrik ve asal eksenler, boyutlar.

Tam plastik davranış halinde korniyerde tarafsız eksenin bir tarafındaki toplam boyların farkı aksenal kuvvete eşit olur.

Şayet  $(1 - k_1) + (1 - k_2) > k_1 + k_2$  ise basınç bölgesinin köşe tarafında olduğu kabul edilecek ve bu hale ait boyutsuz aksenal kuvvet katsayısı

$$n = 2 - 2(k_1 + k_2) \quad (15)$$

olur.

Geometrik eksenler etrafındaki momentler:

$$m_{px} = -k_2 \left( 1 - \frac{k_2}{2} - e_y \right) + (1 - k_2) \left( \frac{1 - k_2}{2} - e_y \right) - (1 - k_1) e_y + k_1 e_y \quad (16a)$$

$$m_{py} = k_1 \left( 1 - \frac{k_1}{2} - e_x \right) - (1 - k_1) \left( \frac{1 - k_1}{2} - e_x \right) + (1 - k_2) e_x - k_2 e_x \quad (16b)$$

(16a ve b) Denklemleri ile bulunan geometrik eksenlerdeki momentler asal eksenlere dönüştürülerek prosedür tamamlanır. Bu dönüştürülmüş moment değerleri  $m_{pw}$  ve  $m_{pz}$  ile ifade edilirse sonuç değerler aşağıdaki gibi olur.

$$P = n(\bar{b} t F_y) \quad (17)$$

$$M_{pw} = m_{pw}(\bar{b}^2 t F_y) \quad (18a)$$

$$M_{pz} = m_{pz}(\bar{b}^2 t F_y) \quad (18b)$$

Şayet  $(1 - k_1) + (1 - k_2) < k_1 + k_2$  yani  $n < 0$  ise basınç bölgesinin serbest uçlarda olduğu kabul edilecektir. Bu durumda (15) Denkleminde  $n$  mutlak değerce alınacak (18a ve b) Denklemleri ise işaretleri değiştirilerek uygulanacaktır.

$n$  ve  $\frac{M_z}{M_w}$  değerlerinin değişimlerine göre  $M_{pw}$

değerlerini hesaplamak üzere düzenlenmiş bir Tablo

EK 1. de sunulmaktadır. EK 1. kullanılırken  $\frac{M_z}{M_w}$

oranı  $P-A$  etkisi göz önüne alınmadan hesaplanmalıdır. Zira tam plastik durumda dış kuvvetlerin yaptığı işin hesabında  $P$  kuvvetinin bir rolü olmaz.  $P$  kuvveti tam plastik momentin hesabında etkisini gösterir.

#### 5. YANAL BURULMA BURKULMASI

Korniyerde genel halde iki doğrultuda eğilme momenti ve aksenal kuvvet bulunmaktadır. Bu durumda stabilite kontrolü yapılması oldukça zordur. Ancak aksenal kuvvetin sabit olarak kabul edilmesi bu etkinin analize (7 ve 9) Denklemlerinde verildiği gibi göz önüne alınabilmesine olanak verir. Yani bu etki arttırılmış momentler ile hesaba katılmaktadır. Geriye asal eksenlerde etki eden eğilme momentleri kalmakta ve bunlara ait kritik değerlerin bulunması gerekmektedir. Kritik asal eksen momentlerinin bulunması için önce her bir eksene ait kritik burulma momenti hesaplanacaktır. Daha sonra iki eksenli hal için

karşılıklı etki diyagramının bir doğru olduğu kabulüne göre genel hal için kritik değerler bulunacaktır.

Şekil 4. de sabit  $M_w$  momenti etkisindeki korniyer parçası görülmektedir. Bu parçaya ait diferansiyel denklem aşağıdaki gibi verilmektedir (Timoshenko, S.P., Gere, J.M., 1961).

$$\frac{d^4 \phi}{du^4} + D^2 \frac{d^2 \phi}{du^2} = 0 \quad (19)$$

Burada

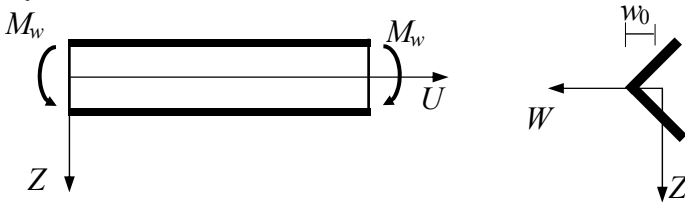
$$D = \frac{M_w}{[EI_z(C_1 - M_w \beta_w)]^{1/2}} \quad (20)$$

$$\beta_w = \frac{1}{I_w} \int z(w^2 + z^2) dA - 2z_0 \quad (21)$$

olmak üzere  $C_1 = GJ$  burulma rijitliği,  $\phi$  = burulma açısı,  $z_0$  = korniyerin ağırlık merkezi ile kayma merkezi arasındaki uzaklığın  $z$  koordinatıdır. Eşit kollu korniyerde  $z_0$  ve  $\beta_w$  sıfır değerindedir. (19) Denklemi için kabul edilen çözüm

$$\phi = A_1 \cos Du + A_2 \sin Du \quad (22)$$

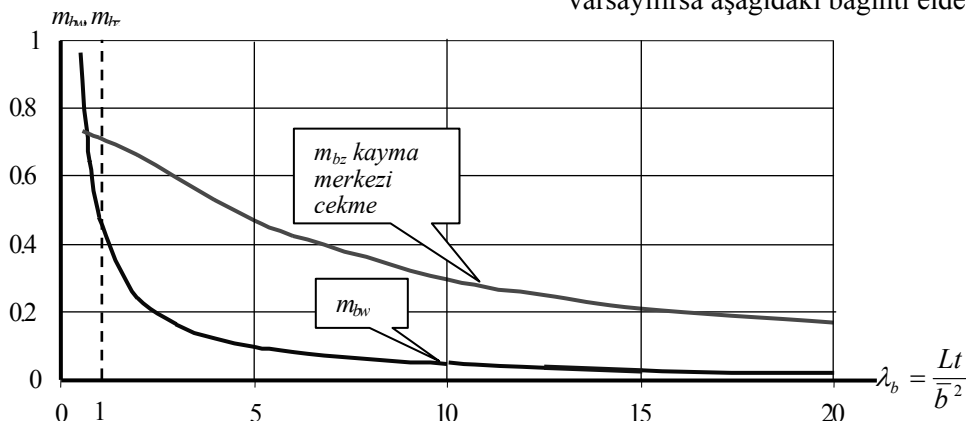
şeklindedir.



Şekil 4. Eşit kollu korniyerde asal eksenler ve sabit moment etkisi

Sabit moment için elde edilen çözümün açıklıkta değişen moment etkisinde bulunan sistemlere uygulanabilmesi için, basit kiriş sonlu sayıda parçadan meydana geliyor olarak kabul edilip, her parçada ortalama momentin sabit olarak kaldığı varsayılmıştır (Aydın, M.R., Kıraç, N., 1998). Ortalama momentler örneğin üniform yayılı yük için (7) Denklemi ile hesaplanmalıdır.

Üniform yayılı yük için Denklem (22) de yer alan  $A$  katsayılarına ait bir denklem takımı her ara kesitte  $\phi$  burulma açılarının eşit ve sürekli olacağı koşulundan kurulur.



Şekil 5.  $W$  ve  $Z$  eksenlerindeki kritik yanal burulma burkulması momentlerine ait boyutsuz  $m_{bw}$  ve  $m_{bz}$  katsayıları (üniform yayılı yük hali).

Bu denklem takımında değişken olarak  $q_z$  yayılı yükü yer alır. Yanal burkulma oluşturan kritik  $q_{bz}$  yayılı yükü yukarıda sözü edilen denklem takımının katsayılar determinantını sıfır yapan değerdir.

Boyutsuz katsayılar ile hesap yapabilmek için  $M_{obw}$ ,  $W$  eksenine etrafındaki kritik burkulma momenti  $\lambda_b = \frac{Lt}{b^2}$

olarak tanımlanan narinlik oranına bağlı olarak

$$M_{obw} = m_{bw}(Et^3) \quad (23)$$

olarak bulunacaktır. (23) Denklemi kiriş ortasındaki momentin dönüştürülmesi ile elde edilmektedir.

$Z$  eksenine dik olarak etki eden sabit  $M_z$  momenti için de aynı yol takip edilebilir. Ancak burada iki farklı durum söz konusudur. (21) Denklemi bu hal için uygulandığında artık sıfır değerini almaz. (20) Denklemine momentin işareti önem kazanır. Buna göre korniyerin köşesi yani kayma merkezinde  $M_z$  momenti nedeni ile meydana gelen gerilmenin çekme veya basınç olması hallerine ait iki ayrı durum söz konusudur. Bu durumlar aşağıdaki (24) Denklemine yer alan  $m_{bz}$  katsayısındaki farklılık ile işleme katılır. Sonuç olarak

$$M_{obz} = m_{bz}(Et^3) \quad (24)$$

olur.  $m_{bw}$  ve  $m_{bz}$  katsayıları basit kirişte etki eden üniform yayılı yük için Tablo 2. de sunulmuştur.

Tablo 2. den görüleceği gibi  $M_z > 0$  halinde  $m_{bz}$  katsayıları oldukça büyük değerler almaktadır.

Bu durumu göz önüne alarak daha etkili olan diğer 2 katsayının değişimi Şekil 5. de verilmektedir.

Şekil 5. den görüleceği gibi  $\lambda_b = 1$  den küçük değerler olması halinde kritik yanal burkulma momentleri oldukça büyük olmaktadır. Bu durumda  $\lambda_b \leq 1$  olması halinde yanal burkulma etkisinin sıfır olacağını kabul edilmesi mümkündür.

Tablo2. ve Şekil 5 de sunulan boyutsuz katsayılar  $W$  ve  $Z$  eksenlerindeki kritik yanal burulma burkulması momentlerine ait boyutsuz  $m_{bw}$  ve  $m_{bz}$  katsayılarıdır. Bir başka deyişle tek eksenli hale aittirler. İki eksenli hal için karşılıklı etkileşim diyagramının doğrusal olduğu varsayılırsa aşağıdaki bağıntı elde edilir.

Tablo 2.  $M_{obw} = m_{bw}(Et^3)$  ve  $M_{obz} = m_{bz}(Et^3)$  denklemleri ile hesaplanacak olan  $W$  ve  $Z$  eksenlerindeki kritik yanal burulma burkulması momentlerine ait boyutsuz  $m_{bw}$  ve  $m_{bz}$  katsayıları tablosu (üniform yayılı yük hali).

$\lambda_b = Lt/\bar{b}^2$	0.50	0.75	1	2	3	4	5	6	10	12.5	15	20
$m_{bw}$	0.964	0.643	0.482	0.241	0.161	0.121	0.096	0.080	0.048	0.039	0.032	0.024
$m_{bz}(M_z < 0)$	0.728	0.723	0.716	0.663	0.595	0.529	0.469	0.426	0.296	0.250	0.211	0.167
$m_{bz}(M_z > 0)$	71.41	32.06	18.36	5.106	2.576	1.645	1.188	0.921	0.476	0.364	0.291	0.209

$$M_{bw} \left( \frac{1}{M_{obw}} + \left| \frac{M_{bz}}{M_{bw}} \right| \frac{1}{M_{obz}} \right) = 1 \quad (25)$$

(25) Denklemdeki  $\frac{M_{bz}}{M_{bw}}$  oranı elastik arttırılmış momentlerin oranına yani  $\frac{M_z}{M_w}$  eşittir.

## 6. YÖNTEM

Belirli geometri ve malzeme özellikleri olan kirişte  $q_{Nw}$  ve  $q_{Nz}$  nominal hesap yüklerinin bulunması amaçlanmaktadır.

Sisteme etki eden sabit aksenal kuvvetin yanı sıra eksene dik olan diğer yükler başlangıçta birim olarak alınır. Şayet birden fazla yük varsa bunlardan biri birim olarak alınıp diğerleri bu yüke belli parametre ile bağlı olarak alınır.

Aşağıdaki hesap adımları takip edilir.

1) Yüklerin asal eksenlerdeki  $q_w$  ve  $q_z$  bileşenleri hesaplanır.

2) (4) Denklemden  $\lambda_w = L\sqrt{\frac{P}{EI_w}}$  ve  $\lambda_z = L\sqrt{\frac{P}{EI_z}}$  değerleri ve buna bağlı olarak (11) Denklemi kullanılarak  $M_w$  ve  $M_z$  hesaplanır.

3) (13) Denklemden sistemdeki ilk akma momentlerine ait  $\alpha$  katsayısı ve ilk akma momentlerini meydana getiren  $q_{yw}$  ve  $q_{yz}$  yükleri hesaplanır.

4) EK 1 ve (18) Denklemleri yardımı ile tam plastik momentler ve bu momentlere ait  $q_{Pw}$  ve  $q_{Pz}$  yükleri hesaplanır. Bu momentler  $P$ - $\Delta$  etkileri göz önüne alınmadan hesaplanır.

5)  $\lambda_b = \frac{Lt}{\bar{b}^2}$  olarak tanımlanan narinlik oranına bağlı olarak (23,24 ve 25) Denklemlerinden  $M_{bw}$  ve  $M_{bz}$  momentleri ve bu momentlere ait  $q_{bw}$  ve  $q_{bz}$  yükleri hesaplanır.

6) Burkulma etkilerinin olmadığı sınır değer olarak kabul edilen  $\lambda=1$  için 5. Madde de yapılan işlemler tekrarlanır.  $\bar{M}_{bw}$  ve  $\bar{M}_{bz}$  momentleri bu momentlere ait  $\bar{q}_{bw}$  ve  $\bar{q}_{bz}$  hesaplanır.

Hesabın bu aşamasında  $4 \times 2 = 8$  adet  $q$  yükü bulunmaktadır. Bu yükleri değerlendirerek  $q_{Nw}$  ve  $q_{Nz}$

nominal hesap yükleri belirlenir. Bu işlem  $q_{Nw}$  için aşağıda gösterilmiştir.  $q_{Nz}$  için de aynı işlemler tekrarlanır.

$\frac{q_{Nw}}{q_{yw}}$  nominal hesap yükünün ilk akma yüküne oranı için aşağıdaki durumlar söz konusudur.

$$a) \frac{q_{yw}}{q_{bw}} \leq \frac{q_{yw}}{q_{bw}} \text{ yani } \bar{q}_{bw} \leq q_{bw} \text{ olması halinde tam}$$

plastik hesap yapılacaktır. Zira  $q_{bw}$  kritik yanal burkulma momenti burkulma oluşturmadığı kabul edilen  $\bar{q}_{bw}$  den daha büyüktür. Bu durumda nominal hesap yükünün zorunlu olarak tam plastik momente eşit alınması gerekmektedir.

$$q_N = 0.75q_P \quad (26)$$

Burada ki 0.75 faktörü güvenlik nedeni ile alınmıştır. Aynı faktör (LRFD 2000) de yer almaktadır.

$$b) \frac{q_{yw}}{q_{bw}} < \frac{q_{yw}}{q_{bw}} \leq 1 \text{ olması halinde inelastik burkul-$$

ma söz konusudur ve  $\frac{q_{Nw}}{q_{yw}}$  bu iki değer arasında

aşağıdaki denkleme göre değişim gösterir. Bu durumda nominal hesap yükü tam plastik değerle ilk akma değeri arasında değişir. Bu değişim aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir. Burada da 0.75 güvenlik faktörü göz önüne alınmaktadır. Yani ilk akma ve yanal burkulma yüklerinin eşit olması halinde de hesap yükü ilk akma yükünün %75 i olarak alınmaktadır.

$$\frac{q_{Nw}}{q_{yw}} = a + b \sqrt{\frac{q_{yw}}{q_{bw}}} \quad (27)$$

Burada

$$b = \frac{\Delta}{\sqrt{\frac{q_{yw}}{q_{bw}} - 1}}; \Delta = 0.75 \left( \frac{q_{Pw}}{q_{yw}} - 1 \right); a = 0.75 - b \quad (28)$$

c)  $\frac{q_{yw}}{q_{bw}} > 1$  olması halinde elastik burkulma durumu söz konusudur. Hesap yükü aşağıda Denklem (29)

da gösterilen bir doğru ile ifade edilmektedir. Doğru Denklem (28) deki son değerle sıfır arasında değişmektedir.

$$\frac{q_{Nw}}{q_{yw}} = 0.75 \frac{q_{bw}}{q_{yw}} \quad (29)$$

7) Hesaplanan  $q_{Nw}$  ve  $q_{Nz}$  nominal hesap yüklerinin sırası ile  $q_w$  ve  $q_z$  yüklerine oranı aynı değerde olmalıdır. Bunun için mutlak değerce olmak üzere

$\frac{q_{Nw}}{q_w}$  ve ya  $\frac{q_{Nz}}{q_z}$  oranlarından küçük olanı esas alınıp diğer yük bileşeni bu orana göre düzeltilir.

8) Yerel burkulma kontrolü yapılmalıdır. Bunun için LRFD kuralları uygulanmalıdır. LRFD yerel burkulma için korniyer serbest uçlarının basınç gerilmesi altında bulunması halinde nominal momenti tam plastik momente eşit olarak almakta fakat  $b/t$  oranına bağlı olarak bir düzeltme katsayısı vermektedir. Bu katsayı hesaplanmak sureti ile yerel burkulma kontrolü yapılabilir.

### Sayısal örnek

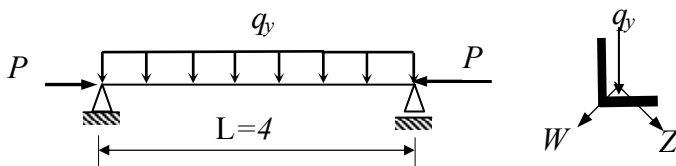
Şekil 6. da görülen basit kirişin kesit özellikleri şöyledir.  $200 \times 200 \times 16$  korniyer,  $P=350$  kN  $E=200$  GPa,  $F_y=300$  MPa.

Kirişte nominal hesap yükünün bulunması istenmektedir.

$200 \times 200 \times 16$  korniyerin kenarlarından kalınlığın yarısı çıkarılarak iki adet düzgün dikdörtgen kenardan oluştuğu kabul edilir. Buna göre  $b=200-8=192$  mm.

$$\bar{b} = 184 \text{ mm}, A = 2 \times 184 \times 16 = 5888 \text{ mm}^2, I_w = 33.224 \times 10^6 \text{ mm}^4, I_z = 8.306 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$e_x = e_y = 46 \text{ mm}, z = 130.1 \text{ mm}, w = 65.1 \text{ mm} \text{ (Denklem 14a ve b)}$$



Şekil 6. Sayısal örnek

### İlk akma momentine ait yüklerin hesabı

$$n = 0.40 \text{ (Denklem 17)}, \lambda_w = L \sqrt{\frac{P}{EI_w}} = 0.92, \lambda_z = 1.84$$

(Denklem 4)

$k_{qw} = 7.29, k_{qz} = 5.21$  (Denklem 11),  $q_y = 1$  N/mm kabul edilirse  $q_w = q_z = 0.707$  N/mm olur.

$$M_w = \frac{0.707 \times 4000^2}{7.29} = 1.552 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_z = -\frac{0.707 \times 4000^2}{5.21} = -2.171 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\frac{M_z}{M_w} = \frac{-2.171}{1.552} = -1.40$$

$M_z < 0$  olduğundan korniyerin üst serbest ucu için

Denklem (13)

$$\alpha \left( -\frac{1.552 \times 10^6}{33.224 \times 10^6} (-130.1) + \frac{(-2.171 \times 10^6)}{8.306 \times 10^6} (-65.1) \right) = 300 - \frac{350,000}{5888}$$

Buradan  $\alpha = 10.42$  olarak bulunur. İlk akma momentini meydana getiren yükler

$$q_{yw} = \alpha q_w = 10.42 \times 0.707 = 7.37 \text{ N/mm}$$

ve

$$q_{yz} = \alpha q_z = 10.42 \times 0.707 = 7.37 \text{ N/mm}$$

olarak bulunur.

### Tam plastik hesap

$q_y = 1$  N/mm yük halinde  $q_w = q_z = 0.707$  N/mm yükleri için

$$M_w = -M_z \text{ olur,}$$

$n = 0.40$  için EK 1. ten  $m_{Pw} = 0.262$  olarak alınırsa

$$M_{Pw} = m_{Pw} (\bar{b}^2 t F_y) = 0.262 (184^2 \times 16 \times 300) = 42.58 \times 10^6$$

Nmm = 42.58 kNm ve

$M_{Pz} = -42.58$  kNm olur. Asal eksenlerdeki tam plastik momentlerin bileşkesi 60.22 kNm

Bu momentleri oluşturan yükler  $q_{Pw} = \frac{8 \times 42.58}{4^2} = 21.29$  kN/m

benzer şekilde  $q_{Pz} = 21.29$  kN/m dir.

### Yanal burkulma değerleri hesabı

$$\text{Sisteme ait } \lambda_b = \frac{Lt}{\bar{b}^2} = \frac{4000 \times 16}{184^2} = 1.89 \text{ olup}$$

Tablo 2. den ( $M_z < 0$ ) hal için  $m_{bz} = 0.671$  ve  $m_{bw} = 0.255$  olarak bulunur.

$M_{obz} = 0.671 \times 200 \times 10^6 \times 0.016^3 = 549.68$  kNm ve  $M_{obw} = 0.255 \times 200 \times 10^6 \times 0.016^3 = 208.90$  kNm, asal eksenlerdeki momentlerin oranının mutlak değerce 1.40 olduğu da bilindiğine göre

$$M_{bw} \left( \frac{1}{208.90} + 1.40 \frac{1}{549.68} \right) = 1 \text{ denkleminde (Denklem 25)}$$

$M_{bw} = 136.35$  kNm ve  $M_{bz} = 190.89$  kNm olarak bulunur.

Bu momentleri oluşturan yükler:

$$q_{bw} = \frac{7.29 \times 136.35}{4^2} = 62.12 \text{ kN/m}$$

ve

$$q_{bz} = \frac{5.21 \times 190.89}{4^2} = 62.12 \text{ kN/m olur.}$$

$\lambda=1$  için benzer işlemler yapılırsa  $\bar{M}_{bw} = 203.27 \text{ kNm}$

ve

$$\bar{M}_{bz} = 284.58 \text{ kNm}$$

$$\bar{q}_{bw} = 92.61 \text{ kN/m, } \bar{q}_{bz} = 129.66 \text{ kN/m}$$

$$\frac{q_{yw}}{\bar{q}_{bw}} = \frac{7.37}{92.61} = 0.08 \text{ ve } \frac{q_{yw}}{q_{bw}} = \frac{7.37}{62.12} = 0.12$$

olduğundan (27) Denklemi uygulanacaktır.

$$\Delta = 0.75 \left( \frac{q_{Pw}}{q_{yw}} - 1.0 \right) = 0.75 \times \left( \frac{21.29}{7.37} - 1.0 \right) = 1.42$$

$$b = \frac{\Delta}{\sqrt{\frac{q_{yw}}{\bar{q}_{bw}} - 1}} = \frac{1.42}{\sqrt{0.08 - 1}} = -1.976$$

$$a = 0.75 - b = 2.726$$

$$\frac{q_{Nw}}{q_{yw}} = a + b \sqrt{\frac{q_{yw}}{q_{bw}}} = 2.726 - 1.976 \sqrt{\frac{7.37}{62.12}} = 2.045$$

$$q_{Nw} = 2.045 \times 7.37 = 15.07 \text{ kN/m}$$

Z asal eksen için hesap:

$$\frac{q_{yz}}{\bar{q}_{bz}} = \frac{7.37}{129.66} = 0.06, \quad \frac{q_{yz}}{q_{bz}} = \frac{7.37}{62.12} = 0.12$$

bu hal için de (27) Denklemi uygulanacaktır.

$$\Delta = 0.75 \left( \frac{q_{Pz}}{q_{yz}} - 1.0 \right) = 1.42 \cdot b = \frac{1.42}{\sqrt{0.06 - 1}} = -1.876, \quad a = 2.626$$

$$\frac{q_{Nz}}{q_{yz}} = a + b \sqrt{\frac{q_{yz}}{q_{bz}}} = 2.626 - 1.876 \sqrt{\frac{7.37}{62.12}} = 1.98$$

$$q_{Nz} = 1.98 \times 7.37 = 14.59 \text{ kN/m}$$

Sonuç:

$$\left| \frac{q_{Nw}}{q_w} \right| = \frac{15.07}{0.707} = 21.315 \text{ ve } \left| \frac{q_{Nz}}{q_z} \right| = \frac{14.59}{0.707} = 20.636 \text{ olup}$$

$$q_{Nz} = 14.59 \text{ kN/m ve } q_{Nw} = 15.07 \times \frac{20.636}{21.315} = 14.59 \text{ kN/m}$$

Bu yüklere ait momentler  $M_w = M_z = 29.18 \text{ kNm}$

Sonuç: Nominal hesap yükü  $14.59 \text{ kN/m}$  asal eksenlerdeki momentler  $M_w = M_z = 29.18 \text{ kNm}$ , bu momentlerin bileşkesi  $41.26 \text{ kNm}$  olarak elde edilmektedir.

$q_{Nw}$  ve  $q_{Nz}$  yükleri geometrik eksenlere dönüştürülürse  $q_y = 20.63 \text{ kN/m}$ ,  $q_x = 0$  olur.

Yerel burkulma kontrolü:

$$\frac{b}{t} = \frac{200}{16} = 12.5 ; 0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 13.94 \quad \frac{b}{t} < 0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

olduğundan yerel burkulma için nominal moment tam plastik momente eşit olacaktır. Bu işlem yapılırsa  $60.22 \text{ kNm}$  değerindeki asal eksenlerdeki plastik momentlerin bileşkesinin  $41.26 \text{ kNm}$  olan nominal hesap yüklerine ait momentlerin bileşkesinden daha büyük olduğu görülür. Bu durumda yerel burkulma etkirlinin göz önüne alınması gerekmemektedir,

## LRFD yöntemi ile hesap

Sayısal örneğin LRFD (LRFD Load and Resistance Factor Design of Single-Angle Members 2000) Bölüm 6 da verilen hesap yöntemine göre çözülmesi halinde

$q_{Nw} = q_{Nz} = 12.06 \text{ kN/m}$  olarak bulunmaktadır. Önerilen hesap prosedürü LRFD yönteminden bu örnekte %21 daha büyük değerler vermektedir. Bunun sebebi nominal yüklerin hesabında LRFD tam plastik haldeki momentin (veya yükün) ilk akma momentine (veya yüküne) oranını 1.5 sabit kabul ederken, önerilen yöntemde gerçek değeri ile alınmasıdır. Örneğin çözülen sayısal örnekte bu oran 2.89 olarak bulunmuştur. Her iki çözümde de  $\phi$  dayanım faktörü 1 olarak seçilmiştir.

## 7. SONUÇ

Eksenel basınç kuvveti ve iki eksenli eğilme etkisindeki korniyerlerin analizinde hem gerilme hem de stabilite problemi ile karşılaşmaktadır. Kesitin plastik davranışının da göz önüne alınması istendiğinde analiz oldukça kompleks bir hale dönüşür. Çalışmada genel halde iç kuvvetler etkisindeki korniyerlerin eksenel basınç kuvvetinin sabit olması hali için çubuk eksenine dik nominal hesap yüklerinin bulunması ile ilgili bir prosedür sunulmuştur. Sabit eksenel kuvvet başlangıçta belirlenemiyorsa sunulan hesap yönteminin bir ardışık hesaplama ile uygulanması mümkündür. Çalışma genelde basit kiriş ve uniform yayılı yük etkisi seçilerek sunulmakla beraber aynı yaklaşımlar göz önüne alınarak tekil ve diğer tipteki yükler için de uygulanabilir. LRFD kuralları esas alınarak bir analiz sunulmasına rağmen sonuç hesap yükleri LRFD yöntemine göre hesaplanan yüklerden daha büyük olarak elde edilmektedir. Çalışmada  $\frac{q_P}{q_y}$  oranı gerçek değeri ile göz önüne alınırken LRFD bu oranı sabit ve 1.5



olarak almaktadır. Bilindiği gibi 1.5 bir alt sınır olup bu oran bazı hallerde 2 katına kadar çıkabilmektedir (Aydın, M. R., Doğan M., 2007).

Sunulan hesap sistemi malzemenin daha ekonomik olarak kullanılabilmesine olanak vermektedir.

**EK 1.**  $M_{pw} = m_{pw}(\bar{b}^2 t F_y)$  denklemindeki boyutsuz  $m_w$  değerleri tablosu.

$\frac{M_z}{M_w}$	$(M_w > 0)$							$\frac{M_z}{M_w}$	$(M_w < 0)$						
	0.00	0.10	0.25	0.40	0.50	0.75	1.00		0.00	0.10	0.25	0.40	0.50	0.75	1.00
-2.0	0.167	0.165	0.162	0.156	0.151	0.135	0.114	-2.0	-0.167	-0.167	-0.166	-0.163	-0.160	-0.148	-0.131
-1.9	0.175	0.173	0.169	0.163	0.158	0.140	0.118	-1.9	-0.175	-0.175	-0.174	-0.171	-0.168	-0.156	-0.137
-1.8	0.183	0.181	0.177	0.170	0.165	0.146	0.122	-1.8	-0.183	-0.184	-0.183	-0.180	-0.177	-0.164	-0.145
-1.7	0.192	0.191	0.186	0.178	0.172	0.153	0.128	-1.7	-0.193	-0.193	-0.193	-0.190	-0.186	-0.173	-0.153
-1.6	0.203	0.200	0.195	0.187	0.181	0.160	0.133	-1.6	-0.203	-0.204	-0.203	-0.200	-0.197	-0.183	-0.162
-1.5	0.214	0.211	0.206	0.197	0.190	0.167	0.139	-1.5	-0.214	-0.215	-0.215	-0.212	-0.208	-0.194	-0.172
-1.4	0.226	0.224	0.217	0.208	0.200	0.176	0.146	-1.4	-0.227	-0.228	-0.228	-0.225	-0.221	-0.206	-0.183
-1.3	0.240	0.237	0.230	0.219	0.211	0.185	0.152	-1.3	-0.240	-0.242	-0.243	-0.240	-0.236	-0.221	-0.196
-1.2	0.256	0.252	0.243	0.232	0.223	0.195	0.159	-1.2	-0.256	-0.258	-0.259	-0.256	-0.252	-0.237	-0.211
-1.1	0.273	0.268	0.259	0.247	0.236	0.205	0.167	-1.1	-0.273	-0.276	-0.277	-0.275	-0.271	-0.255	-0.228
-1.0	0.292	0.287	0.277	0.262	0.251	0.217	0.177	-1.0	-0.293	-0.296	-0.298	-0.296	-0.293	-0.276	-0.248
-0.9	0.314	0.308	0.296	0.279	0.267	0.229		-0.9	-0.315	-0.319	-0.322	-0.321	-0.318	-0.301	-0.271
-0.8	0.340	0.332	0.317	0.299	0.284	0.243		-0.8	-0.340	-0.345	-0.349	-0.349	-0.347	-0.330	-0.298
-0.7	0.368	0.359	0.341	0.320	0.304	0.258		-0.7	-0.368	-0.374	-0.381	-0.382	-0.380	-0.364	-0.331
-0.6	0.399	0.389	0.368	0.344	0.326	0.277		-0.6	-0.400	-0.408	-0.417	-0.420	-0.419	-0.405	-0.372
-0.5	0.436	0.422	0.399	0.370	0.350			-0.5	-0.437	-0.447	-0.459	-0.465	-0.466	-0.454	-0.421
-0.4	0.478	0.461	0.432	0.400	0.376			-0.4	-0.478	-0.491	-0.508	-0.518	-0.521	-0.514	-0.482
-0.3	0.527	0.504	0.471	0.432				-0.3	-0.526	-0.542	-0.563	-0.579	-0.585		
-0.2	0.580	0.553	0.512					-0.2	-0.579	-0.599	-0.628	-0.651	-0.662		
-0.1	0.641	0.607						-0.1	-0.640	-0.665					
0.0	0.707							0.0	-0.707						
0.1	0.641	0.666						0.1	-0.637	-0.607					
0.2	0.580	0.600	0.629	0.651	0.663			0.2	-0.578	-0.553	-0.512				
0.3	0.527	0.542	0.565	0.579	0.586	0.586		0.3	-0.525	-0.505	-0.470	-0.433			
0.4	0.478	0.491	0.508	0.519	0.521	0.514	0.483	0.4	-0.477	-0.461	-0.432	-0.400	-0.376		
0.5	0.436	0.447	0.459	0.465	0.466	0.454	0.422	0.5	-0.436	-0.423	-0.399	-0.370	-0.350		
0.6	0.399	0.408	0.417	0.421	0.420	0.406	0.372	0.6	-0.400	-0.389	-0.368	-0.344	-0.326	-0.276	
0.7	0.368	0.374	0.381	0.383	0.380	0.364	0.332	0.7	-0.368	-0.358	-0.341	-0.320	-0.304	-0.258	
0.8	0.340	0.345	0.350	0.350	0.347	0.330	0.298	0.8	-0.339	-0.332	-0.317	-0.299	-0.284	-0.243	
0.9	0.314	0.319	0.322	0.321	0.318	0.301	0.271	0.9	-0.314	-0.308	-0.296	-0.279	-0.267	-0.229	
1.0	0.292	0.296	0.298	0.297	0.293	0.276	0.247	1.0	-0.292	-0.287	-0.276	-0.262	-0.250	-0.216	-0.177
1.1	0.273	0.276	0.277	0.275	0.272	0.255	0.227	1.1	-0.273	-0.269	-0.259	-0.246	-0.236	-0.205	-0.167
1.2	0.256	0.258	0.259	0.256	0.253	0.237	0.211	1.2	-0.256	-0.252	-0.244	-0.232	-0.223	-0.194	-0.159
1.3	0.240	0.242	0.243	0.240	0.236	0.220	0.196	1.3	-0.240	-0.237	-0.229	-0.219	-0.211	-0.185	-0.152
1.4	0.226	0.228	0.228	0.225	0.221	0.206	0.182	1.4	-0.226	-0.224	-0.217	-0.207	-0.200	-0.176	-0.145
1.5	0.214	0.215	0.215	0.212	0.208	0.194	0.171	1.5	-0.214	-0.211	-0.205	-0.197	-0.190	-0.167	-0.139
1.6	0.203	0.204	0.203	0.200	0.196	0.183	0.162	1.6	-0.203	-0.200	-0.195	-0.187	-0.181	-0.160	-0.133
1.7	0.192	0.193	0.193	0.189	0.186	0.173	0.152	1.7	-0.193	-0.191	-0.185	-0.178	-0.172	-0.153	-0.127
1.8	0.183	0.184	0.183	0.180	0.176	0.164	0.144	1.8	-0.183	-0.181	-0.177	-0.170	-0.165	-0.146	-0.122
1.9	0.175	0.175	0.174	0.171	0.168	0.156	0.137	1.9	-0.175	-0.173	-0.169	-0.163	-0.157	-0.140	-0.118
2.0	0.167	0.167	0.166	0.163	0.160	0.148	0.130	2.0	-0.167	-0.165	-0.162	-0.156	-0.151	-0.135	-0.113

**NOTASYONLAR**

$A$ =kesit alanı  
 $A_1, A_2$ =integral sabitleri  
 $b, t$ =korniyerin boyutları  
 $C_1$ =burulma rijitliği  
 $E$ =elastisite modülü  
 $F_y$ =akma gerilmesi  
 $I$ =atalet momenti  
 $L$ =açıklık  
 $M$ =moment  
 $m$ =boyutsuz moment katsayısı  
 $P$ =eksenel yük  
 $q$ =üniform yayılı yük  
 $X, Y, U$ =geometrik eksenler  
 $z_0$ =kesme merkezi koordinatı  
 $W, Z, U$ =asal eksenler  
 $\alpha$ =ilk akma momentlerinin başlangıç momentlerine oranı  
 $\lambda$ =narinlik katsayısı  
 $\theta$ =burulma açısı  
 $\dot{\theta}$ İndisler  
 $b$ =burulma burkulması  
 $o$ =tek eksenli hali ifade eder  
 $N$ =nominal değer  
 $P$ =tam plastik durum  
 $y$ =akma  
 $w, z$ =asal eksenler  
 $x, y$ =geometrik eksenler

**KAYNAKLAR**

- Aydın, M.R. ve Doğan, M. (2007). Elastic, full plastic and lateral torsional buckling analysis of steel single-angle section beams subjected to biaxial bending. *J. Constr. Steel Res.* 13-23.
- Aydın, M.R. ve Kırac, N. (1998). Lateral buckling of reinforced concrete beams without lateral support. *J. Struct. Engrg. Mech.*, Korea.
- Earls, C.J. ve Galambos, T.V. (1997). Design recommendations for equal leg single angle flexural members. *J. Constr. Steel Res.* 65-85.
- Earls, C.J. (1999). On single angle major axis flexure. *J. Constr. Steel Res.* 82-97.
- Earls, C.J., (2001a). Single angle geometric axis flexural I. Background and model Verification. *J. Constr. Steel Res.* 603-622.
- Earls, C.J., (2001b). Single angle geometric axis flexural. II: Design recommendation. *J. Constr. Steel Res.* 623-646.
- Elgaaly, M., Dagher, H., ve Davids, W.,(1991). Behavior of single-angle-compression members. *J. Struct. Engrg.* ASCE, 3720-3741.
- LRFD, *Load and resistance factor design of single-angle members.* (2000). American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.

Timoshenko, S.P., Gere, J.M. (1972). *Mechanics of materials.* Van Nostrand.

Timoshenko, S.P. ve Gere, J.M. (1961). *Theory of elastic stability.* Mc Graw Hill Co.

Trahair, N.S., (2002). Moment capacities of steel angle sections *J. Struct. Engrg.* ASCE, 128 (11), 1387-1393.

Trahair, N.S. (2003). Lateral buckling strengths of steel angle beams. *J. Struct. Engrg.* ASCE, 129(6), 784-791.

Trahair, N.S. (2004). Biaxial bending of steel angle section beams. *J. Struct. Engrg.* ASCE, Vol. 130(4), 554-561.

Trahair, N.S., (2005). Buckling and torsion of steel equal angle beams. *J. Struct. Engrg.* ASCE, 131 (3), 467-486.

Sun, J., ve Butterworth, J.W. (1998). Behaviour of steel single angle compression members axially loaded through one leg. Proc. Australasian *Struct. Engrg.* Conference, Auckland, 859-866.



**M. Ruhi AYDIN**, 1967 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesinden İnşaat Yüksek Mühendisi olarak mezun oldu. 1972 yılına kadar askerlik görevi özel sektör ve kamu sektöründe çalıştıktan sonra Eskişehir DMMA na asistan olarak katıldı. Aynı kurumda yeterlik çalışması yaptı ve doçentlik ünvanını aldı. 1987 yılında Anadolu Üniversitesinde profesör oldu. 1993 yılından itibaren de Eskişehir Osmangazi Üniversitesinde görev yapmaktadır. Yurt içi ve yurt dışında hakemli dergilerde ya-yınlanmış çalışmaları ve ders kitapları vardır. Değişik kongre ve konferanslara bildiri ile katılmış bir kısım sempozyum ve teknik kongrelerin bilim kurulu üyeliği ve başkanlığını yapmıştır. Görev yaptığı kurumlarda Bölüm başkanlığı, Akademi başkan yardımcılığı, Rektör yardımcılığı ve bir dönem üniversiteler arası kurul üyeliği yapmıştır.