

EĞİLME ZORLAMASI ALTINDA BULUNAN ÇELİK KORNİYERLERİN ELASTİK, TAM PLASTİK VE YANAL BURULMA BURKULMALI DAYANIMLARI

M. Ruhi AYDIN¹, Mizan DOĞAN²

ÖZET : Çelik korniyerlerin eğilme dayanımları tam plastik moment kapasitesi, korniyer kesitlerinin lokal burkulma dayanımları ve yanal burulma burkulmasına ait taşıma kapasiteleri göz önüne alınarak saptanır. Korniyerler genellikle kollarına paralel olan geometrik eksenler doğrultusunda uygulanan dış yüklerin etkisi altında bulunurlar. Bu dış yükler tek eksenli olabileceği gibi, yanal yer değiştirmenin önlenmesi halinde iki eksenli de olabilir. Her iki durumda da asal eksenlere göre iki eksenli eğilme durumu meydana gelir. İki eksenli eğilmede en büyük momentin hangi kritik kesit noktasında meydana geleceği kolayca saptanamaz. Bütün özel noktaların kontrolü gerekir. Ayrıca yönetmelikler korniyer kesitlerinin tam plastik moment kapasiteleri göz önüne alınarak tasarımını öngörmektedirler. Bu durum tam plastik moment kapasitesinin ilk akma momentinin hangi oranda artırılarak elde edilebileceği sorunu ortaya getirir. Korniyerler narin kesitteki yapısal elemanlar oldukları için sadece elastik ve plastik moment değerlerine göre tasarımları yapılamaz. Yanal burulma burkulmaları ve lokal burkulma durumlarının da göz önüne alınması ile tasarımda kullanılacak nominal momentlerin bulunması gerekir. Bu çalışmada elastik momentlerin asal eksenlerdeki bileşenlerinin oranlarının +1.00 ile -1.00 arasındaki değişimleri için ilk akma momenti, tam plastik momentler arasındaki karşılıklı etkileşim diyagramları ve aynı oranlara ait plastik momentler, minör eksene dik burkulma hali için kritik burkulma momentleri boyutsuz katsayılar yardımı ile elde edilerek, korniyerlerin iki eksenli eğilme haline ait yeni bir tasarım önerisinde bulunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER : Korniyer kesiti, İki eksenli eğilme, Çelik kiriş, Burkulma, Eğilme dayanımı.

ELASTIC, FULL PLASTIC AND LATERAL TORSIONAL BUCKLING ANALYSIS OF STEEL SINGLE ANGLE SECTION BEAMS SUBJECTED TO BIAXIAL BENDING

ABSTRACT : Flexural strength limits of steel single angle section beams are calculated based on the full plastic moment capacities, local buckling resistance and lateral torsional buckling capacities of the angle sections. The angle section beams are generally under the effect of external loads applied along the direction of geometrical axes parallel to their legs, so that they cause simultaneous biaxial bending about both principal axes. The behavior of angle sections under biaxial bending is complicated. The stress distribution of the critical points of the section cannot be easily determined since all specific points need to be checked. Furthermore, the design specifications require the consideration of the full plastic moment capacities of angle sections. This brings up the question of determining the required increase in first yield moment in order to attain full plastic moment capacities. Since single angle section beams are thin walled slender structural members, they cannot be designed only according to their elastic and plastic moment capacities. Lateral torsional buckling and local buckling cases need to be considered in determining nominal design moments. In this study, for principal axes moments that change between the values +1.00 and -1.00, the first yield moment capacities, the interaction diagrams between first yield and full plastic moment capacities and critical lateral torsional buckling moments for the case of buckling vertical to the minor axis are calculated. These values are obtained by means of dimensionless coefficients and a new design proposal has been given for the case of biaxial bending for single angle section beams.

KEYWORDS : Angle sections, Biaxial bending, Steel beams, Buckling, Flexural strength.

^{1,2} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480 Batı Meşelik, ESKİŞEHİR

I. GİRİŞ

Çelik korniyerler kesitlerinin uygunluğu nedeni ile mühendislik yapılarında eğilme elemanı olarak sıkça kullanılırlar. Bu profiller genellikle simetrik kesitlere sahip değildirler. Eşit kollu korniyerlerde sadece bir asal eksene göre simetri vardır. Değişik kollu korniyerlerde ise herhangi bir simetri eksen bulunmaz. Kesitteki bu durum herhangi bir yükleme etkisi altında iki eksenli eğilme meydana gelmesine neden olur. Eğilme meydana getiren dış yüklerin tanımlarının, korniyerin ağırlık merkezinden geçen ve kollarına paralel olan geometrik aksellere göre yapılması daha uygun olmaktadır. Buna karşılık analizlerinin asal aksellere göre yapılması daha kolaydır. Dış yükler asal veya geometrik aksellere göre tek eksenli olabileceği gibi, çoğu durumda, iki eksenli de olabilir. Örneğin çatı aşık kirişi olarak kullanılan bir korniyerde iki eksenli eğilme meydana gelir. Ayrıca korniyerlerin yanal burulmalarının engellenmesi sureti ile daha ekonomik çözümlere ulaşılması da mümkündür. Yanal burulmanın engellenmesi bütün çubuk açıklığına veya maksimum moment kesitinde bir noktada olabilir. Bu engelleme de korniyerde iki eksenli eğilme meydana gelmesine neden olur. Korniyerlerin kesit özelliklerini belirtirken vurgulanması gereken bir diğer özellik de kesme merkezi ile ağırlık merkezinin üst üste gelmemesi durumudur. Bu durum değişik kollu korniyerlerin yanal burulma burkulması durumu için, kritik moment değerlerinin hesabında, kesitin konumunun önemini artırır. Bir başka deyişle, uzun veya kısa kolun çekme veya basınç gerilme zorlaması altında bulunması halleri için ayrı inceleme durumlarının gerekmesi sonucunu meydana getirir. Korniyerlerin eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altındaki dayanımlarının hesabi için teorik ve deneysel araştırmalar yapılmış ve tasarımla ilgili önermelerde bulunulmuştur. [1,2,3,4,5,6] de teorik ve deneysel çalışmalarla elde edilen davranış özellikleri ve tasarım önerileri bulunmaktadır.

Bu çalışmada minör atalet eksenine etrafındaki momentin en fazla majör eksen etrafındaki momente eşit veya daha küçük olduğu kabulü yapılmak sureti ile, iki eksenli eğilme etkisindeki korniyerlerin eğilmenin asal aksellerdeki bileşenlerinin değişik oranları için elastik ve tam plastik analizleri ve minör eksene dik yanal burulma burkulmaları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan yararlanarak LRFD (LRFD Load and resistance factor design of single angle

members 2000) kuralları esas alınmak sureti ile yeni bir tasarım önerisinde bulunulmuştur [7].

II. İKİ EKSENLİ EĞİLME HALİNDE AKMA MOMENTİNİN HESABI

Şekil 1 de tipik bir değişik kollu korniyer görülmektedir. Analiz yapmak üzere seçilen analitik modelde kollar iki dikdörtgen elemandan meydana gelmiş olarak kabul edilmiştir. Kolların uzunlukları gerçek uzunluklarından kalınlığın yarısı çıkarılarak elde edilmektedir.

II.1.1. Üniŕorm Yüklü Basit Kirişte Kesitin Yanal Burulmasının Çubuk Boyunca Engellenmesi Hali

q_y üniform düşey yayılı yükünün uygulandığı basit kirişte yanal burulmanın engellenebilmesi için X ekseninin kesiti kestiği çizgi boyunca q_x gibi üniform yayılı bir yük uygulanabilir. Yer değiştirmelerin hesabının asal eksenlere göre yapılması gerektiğinden dolayı bu yüklerin asal eksenlerdeki bileşenleri

$$q_w = q_x \cos \alpha + q_y \sin \alpha \quad (1a)$$

$$q_z = q_x \sin \alpha + q_y \cos \alpha \quad (1b)$$

Bu yüklere ait asal eksenlere paralel yer değiştirmeler

$$\Delta_w = \frac{q_w L^4}{24EI_z} \left(\frac{u^4}{L^4} - 2 \frac{u^3}{L^3} + \frac{u}{L} \right) = \frac{q_w L^4}{24EI_z} \omega \quad (2a)$$

$$\Delta_z = \frac{q_z L^4}{24EI_w} \left(\frac{u^4}{L^4} - 2 \frac{u^3}{L^3} + \frac{u}{L} \right) = \frac{q_z L^4}{24EI_w} \omega \quad (2b)$$

Bu yer değiştirmelerin X geometrik eksenindeki bileşenleri

$$\Delta_x = \Delta_w \cos \alpha - \Delta_z \sin \alpha = \frac{L^4 \omega}{24E} \left(\frac{q_w \cos \alpha}{I_z} - \frac{q_z \sin \alpha}{I_w} \right) \quad (3)$$

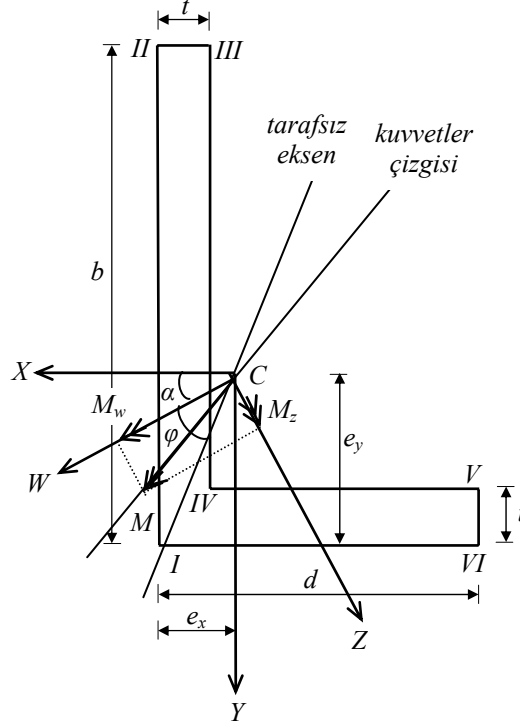
q_w, q_z için yukarıdaki ifadeler bu denkleme katılır ve $\Delta_x = 0$ olarak yazılırsa

$$\frac{q_y}{q_x} = \frac{1 + \frac{I_z}{I_w} \tan^2 \alpha}{\left(\frac{I_z}{I_w} - 1 \right) \tan \alpha} = \frac{1}{\varpi} \quad (4)$$

olarak elde edilir. $I_z < I_w$ olduğundan dolayı $\varpi < 0$ ve $q_x < 0$ olarak bulunur. q_x ve q_y nin pozitif değerleri için momentlerin işaretleri sağ el kuralına göre belirlenmelidir. Örneğin yukarıdaki yanal tutulu hal için momentlerin oranı

$$\frac{M_y}{M_x} = -\varpi > 0 \quad (5)$$

olur.



Şekil 1. Değişik kollu korniyer boyutlar ve eksenler.

II.1.2.. Ünişorm Yüklü Basit Kirişte Kesitin Yanal Burulmasının Maksimum Moment Kesitinde Engellenmesi Hali

Uygulanacak olan kuvvet P_x olsun. Yüklerin asal eksenlerdeki bileşenleri

$$q_w = q_y \sin \alpha, q_z = q_y \cos \alpha \quad (6a)$$

$$P_w = P_x \cos \alpha, P_z = -P_x \sin \alpha \quad (6b)$$

$$\Delta_w = \frac{q_w L^4}{24EI_z} \varpi + \frac{P_w L^3}{EI_z} \left(-\frac{u^3}{12L^3} + \frac{u}{16L} \right) \quad (7a)$$

$$\Delta_z = \frac{q_z L^4}{24EI_w} \omega + \frac{P_z L^3}{EI_w} \left(-\frac{u^3}{12L^3} + \frac{u}{16L} \right) \quad (7b)$$

Yukarıda yapılan işlemlere benzer şekilde Δ_w ve Δ_z nin X geometrik eksenindeki bileşenleri yazılıp $u/L=1/2$ için sıfıra eşitlenirse

$$P_x = \frac{5}{8} q_y L \frac{\left(\frac{I_z}{I_w} - 1 \right) \tan \alpha}{1 + \frac{I_z}{I_w} \tan^2 \alpha} = \frac{5}{8} q_y L \varpi \quad (8)$$

$I_z < I_w$ olduğundan Şekil 1 deki eksen takımına göre $\varpi < 0$ ve $P_x < 0$ olarak bulunur.

Bulunan kuvvet için orta kesitteki momentlerin oranı,

$$\frac{M_y}{M_x} = -1.25 \varpi > 0 \quad (9)$$

olur.

II.1.3. Diğer Tutulma Halleri

Basit ve konsol kirişte olabilecek diğer durumlar için tespit yükleri yukarıda verilen esaslara göre hesaplanarak aşağıda özetlenmiştir.

Basit kiriş orta kesitinde etki eden tekil P_y yükü aynı kesitte yanal bir tekil kuvvetle tutulması hali

$$P_x = P_y \varpi \quad (10)$$

Basit kiriş orta kesitinde etki eden tekil P_y yükü yanal üniform yayılı bir kuvvetle tutulması hali

$$q_x = \frac{8P_y}{5L} \varpi \quad (11)$$

Konsol kiriş ucunda etki eden tekil P_y yükü aynı kesitte yanal bir tekil kuvvetle tutulması hali

$$P_x = P_y \varpi \quad (12)$$

Konsol kiriş ucunda etki eden tekil P_y yükü yanal üniform yayılı bir kuvvetle tutulması hali

$$q_x = \frac{8P_y}{3L} \varpi \quad (13)$$

Konsol giriş boyunca etki eden üniform yayılı q_y yükü yanal üniform yayılı bir kuvvetle tutulması hali

$$q_x = q_y \varpi \quad (14)$$

Konsol giriş boyunca etki eden üniform yayılı q_y yükü konsol ucunda yanal bir tekil kuvvetle tutulması hali

$$P_x = \frac{3}{8} q_y L \varpi \quad (15)$$

II. 2. Kesitin Kritik Noktalarındaki Elastik Gerilmelerin Hesabı

İki eksenli eğilme halinde kesitte kuvvetler çizgisinin, asal eksenlerden biri ile çakışması durumu hariç, tarafsız eksen ile arasında φ açısı bulunur. Bu açı ve sonrasında da gerilmelerin hesabı mümkün olmakla beraber, gerilme hesaplarının asal eksenlere göre yapılması daha uygun olmaktadır. Geometrik eksenlere göre hesaplanan eğilme momentlerinin asal eksenlere dönüştürülmüş hali:

$$M_w = M_x \cos \alpha + M_y \sin \alpha \quad (16a)$$

$$M_z = -M_x \sin \alpha + M_y \cos \alpha \quad (16b)$$

Bu momentlerin koordinatları w ve z olan herhangi bir kesit noktasında meydana getirdiği gerilme [8-9].

$$\sigma = \frac{M_w}{I_w} z - \frac{M_z}{I_z} w \quad (17)$$

denklemini ile hesaplanır.

σ gerilmesi Şekil 1 deki I-VI ile işaretlenmiş kritik noktalar için hesaplanmalı ve bu noktalardaki gerilmelerden en büyüğü kesite ait F_y akma gerilmesinden küçük olmalıdır.

Akma momenti : M_w ve M_z moment büyüklüklerinin belirli bir değeri için kritik noktalardan birinde gerilme F_y akma gerilmesine eşit olur. Bu konuma ait

momentler eksenlere göre M_{yw} ve M_{yz} akma momentleri olarak tanımlanmaktadır.

Yöntem: Çalışmada $\beta = \frac{d}{b}$ oranlarının 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 1.00 ve

$\frac{b}{t}$ oranlarının 6, 8, 10, 12.5, 15, 20 değerleri için önce $\bar{b}=100$ mm ve $F_y=1$

MPa olmak üzere $\bar{M}_{yw} = \bar{b}^2 \bar{t} \times 1$ momenti ve $\frac{M_{yz}}{M_{yw}}$ oranlarının da 0.1

adımlar ile +1.0 den -1.0 e kadar değişmesi halleri için kesitteki en büyük gerilme (σ) mutlak değerce hesaplanmıştır. Boyutları b ve t ve akma gerilmesi F_y olan bir kesitin akma momenti

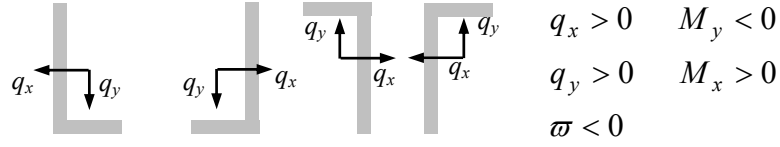
$$\frac{M_{yw} / (b^2 t \times 1)}{\bar{M}_{yw} / (\bar{b}^2 \bar{t} \times 1)} = \frac{F_y}{\sigma} = m_{yw} F_y \quad (18)$$

$$M_{yw} = m_{yw} (b^2 t F_y) \quad (19)$$

olarak bulunur. M_{yz} Z eksenine ait akma momenti ise

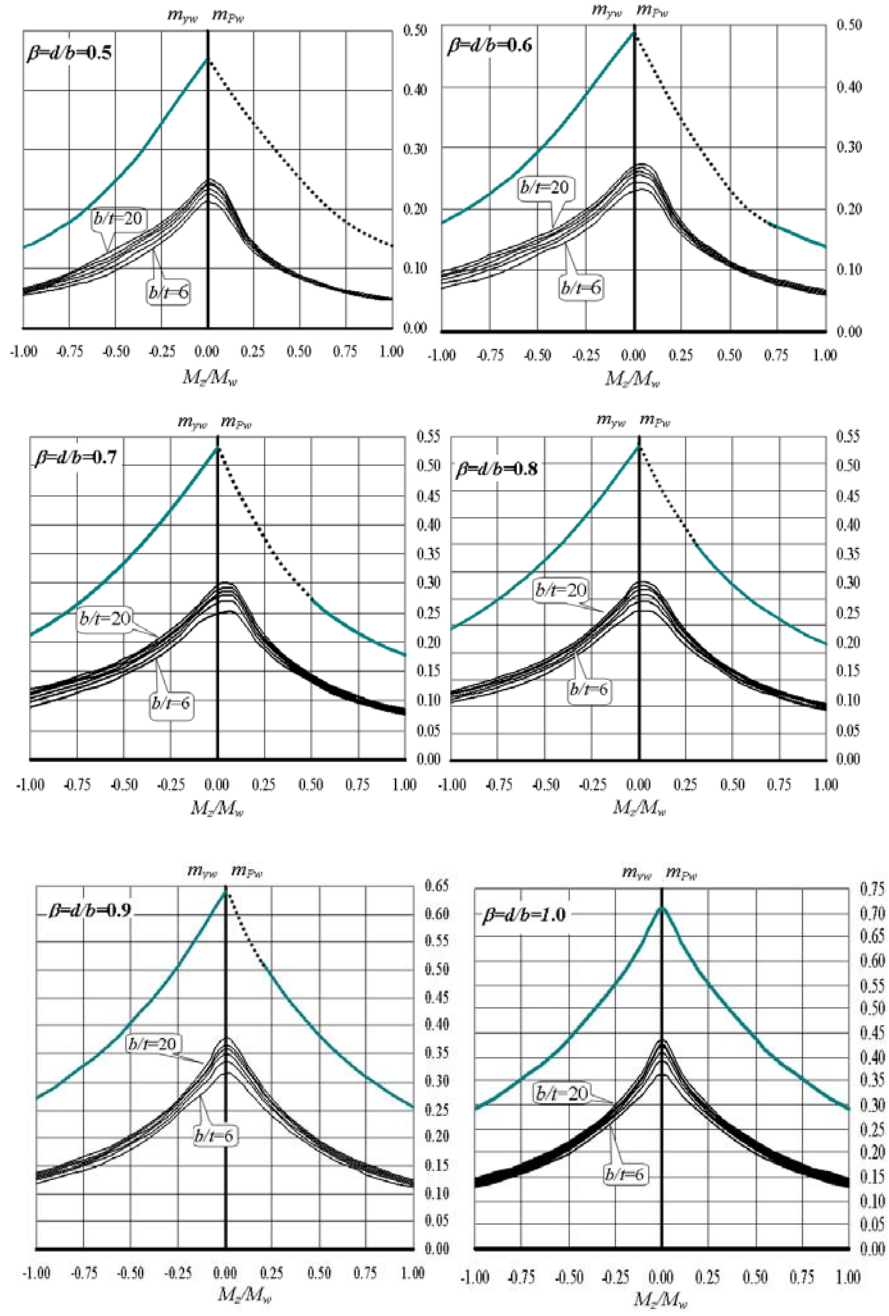
$$M_{yz} = \frac{M_z}{M_w} M_{yw} \quad (20)$$

olarak bulunur. Korniyer kesitinin değişik konumları için q_x ve q_y yüklerine ait pozitif yönler Şekil 2 de gösterilmiştir.



Şekil 2. Yüklere ait pozitif yönler.

m_{yw} değerlerinin grafik gösterimi Şekil 3 de, tasarım işlemleri için kullanılmak üzere hazırlanmış tablolar ise EK I de sunulmuştur.

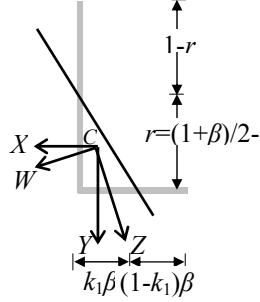


Şekil 3. β ve b/t değerlerinin değişimlerine ait m_{yw} ve m_{Pw} katsayıları.

III. TAM PLASTİK HESAP

Bu bölümde tam plastik korniye davranışına ait bağıntılar elde edilecektir. [10,11] korniyelemlerin plastik analizleri için deneysel ve teorik araştırmalarla bu konuyu incelemişlerdir.

Korniyelemlerin kalınlığı sabit olarak kabul edildiğinden dolayı kesitte kuvvetler dengesi sağlanması koşulu gereği çekme ve basınç bölgelerinin boyları birbirine eşit olmak zorundadır.



Şekil 4. Tam plastik halde tarafsız eksen ve kolların uzunlukları.

Boyutsuz katsayılarla hesap yapılabilmesi için uzun kolun boyu=1, kısa kolun boyu ise β olarak seçilmiştir. Çekme ve basınç bölgelerinin boyları $(1+\beta)/2$ olmak üzere, kısa kolun tarafsız eksenini kestiği uzaklık= $k_1\beta$ olarak alınması durumunda, diğer bütün uzunluklar Şekil 4 de gösterildiği değerlerde olur. Momentlerin işaretlerini belirlemek amacı ile serbest köşelerde basınç gerilmeleri olduğu kabulü ile geometrik eksenlerdeki plastik momentler,

$$m_{Py} = \frac{k_1\beta^2}{2} - (1-k_1)\beta \left[\frac{(1-k_1)\beta}{2} + k_1\beta \right] = \beta^2 (k_1^2 - 0.5) \quad (21)$$

$$m_{Px} = (1-r) \left[\frac{(1-r)}{2} + r \right] - \frac{r^2}{2}, r = \frac{1+\beta}{2} - k_1\beta \quad (22a)$$

değeri denkleme katılır ve düzenlenirse

$$m_{Px} = \frac{1}{4} \left[1 - \beta^2 (1-2k_1)^2 - 2\beta(1-2k_1) \right] \quad (22b)$$

olur.

Sabit β değerleri için k_1 in kısa kenar boyunca taranması ile m_{Py} ve m_{Px} hesaplanabilir.

Boyutlu hale getirilmiş tam plastik momentler

$$M_{Py} = m_{Py}(b^2 t F_y) \quad (23a)$$

$$M_{Px} = m_{Px}(b^2 t F_y) \quad (23b)$$

Geometrik eksenlerdeki plastik momentlerin asal eksenlerdeki bileşkesi

$$M_{Pw} = M_{Px} \cos \alpha + M_{Py} \sin \alpha = m_{Pw}(b^2 t F_y) \quad (24a)$$

$$M_{Pz} = \frac{M_z}{M_w} M_{Pw} \quad (24b)$$

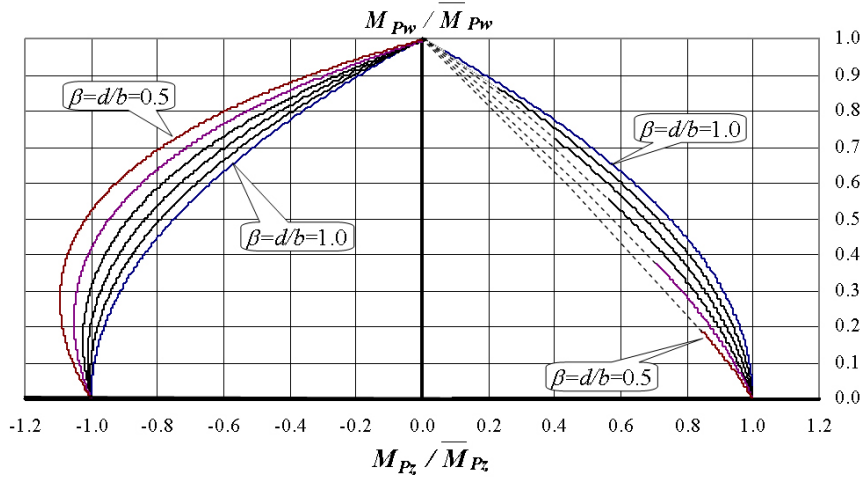
$\beta = \frac{d}{b}$ oranlarının 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 1.00 değerleri için hesaplanan

M_{Pw} ve M_{Pz} lerin $\frac{M_{Pw}}{M_{Pz}}$ ve $\frac{M_{Pz}}{M_{Pw}}$ oranlarına göre çizilmiş olan karşılıklı etki

diyagramları Şekil 5 de gösterilmiştir. Burada \bar{M}_{Pw} ve \bar{M}_{Pz} sıra ile W ve Z eksenlerine göre tam plastik moment değerleridir.

Şekil 5 in incelenmesinden görüleceği gibi değişik kollu korniyerlerde M_{Pw} ve M_{Pz} lerin kesikli çizgilerle gösterilen noktalarda tam plastik momentleri elde edilememektedir. Ayrıca $\frac{M_{Pz}}{M_{Pw}}$ oranlarının pozitif veya negatif olma

durumlarının da majör eksen etrafındaki tam plastik moment değerini etkilediği gözlenmektedir. Korniyer kesitlerinin özellikleri nedeni ile bu beklenen bir durumdur.



Şekil 5. Majör ve minör eksenlere göre tam plastik moment karşılıklı etki diyagramları.

LRFD yönetmeliği tam plastik momentin akma momentine oranını 1.5 olarak alınmasını öngörmektedir. Akma ve tam plastik hallere ait boyutsuz moment katsayılarının $\frac{m_{Pw}}{m_{yw}}$ oranlarının $\frac{M_z}{M_w}$ nin -1.00 ve $+1.00$ aralığındaki değişimine ait değerler aşağıda sunulmuştur. Akma haline ait m_{yw} değerler en küçük sonucu verecek olan $\frac{b}{t} = 20$ oranından seçilmiştir.

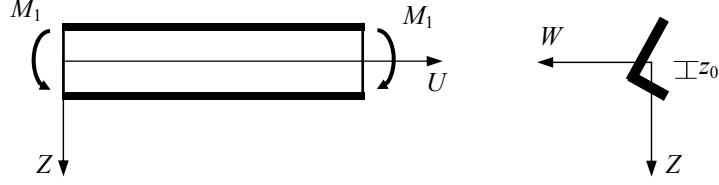
Çizelge 1. β değerlerine göre boyutsuz moment katsayıları.

β	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
En küçük m_{Pw}/m_{yw}	1.81	1.81	1.79	1.75	1.69	1.62
En büyük m_{Pw}/m_{yw}	2.07	2.07	2.05	2.05	2.04	2.01

Görülebileceği gibi yönetmelikte seçilen 1.50 değeri uygun bir yaklaşımdır.

IV. YANAL BURULMA BURKULMASI

Korniyerler genellikle iki eksenli eğilme etkisi altında bulunmalarına rağmen majör ve minör atalet momentlerinin birbirine göre çok farklı olmaları ve kullanılma özellikleri dolayısı ile de majör atalet eksenindeki eğilme momentinin diğer eksene göre olan momentten de büyük olması nedeni ile sadece minör eksene dik doğrultuda yanal burulma burkulması kontrolü ile yetinilir [12,13,14].



Şekil 6. Korniyer kesitli çubuk sistem, asal eksenler ve burulma burkulması.

Şekil 6 korniyer kesitli bir çubuk sisteminin sabit moment etkisi altında burulma burkulması durumunu göstermektedir. Sabit moment etkisi altında bulunan bir çubukta aşağıdaki denklem sistemi geçerlidir [12].

$$EI_z \frac{d^4 w}{du^4} - M_1 \frac{d^2 \phi}{du^2} = 0 \quad (25)$$

$$(C_1 - M_1 \beta_w) \frac{d^2 \phi}{du^2} + M_1 \frac{d^2 w}{du^2} = 0 \quad (26)$$

Burada $C_1 = GJ$ burulma rijitliği, ϕ = burulma açısı,

$$\beta_w = \frac{1}{I_w} \int_A z(w^2 + z^2) dA - 2z_0 \quad (27)$$

olup Şekil 4 deki eksen takımı için (-) işaretli olarak bulunur. M_1 Şekil 4 de gösterildiği durumda pozitif işaretlidir.

İkinci denklemin iki defa daha türevi alınıp düzenlenirse

$$\frac{d^4 w}{du^4} = - \frac{C_1 - M_1 \beta_w}{M_1} \frac{d^4 \phi}{du^4} \quad (28)$$

olur.

Bu ifade yukarıdaki birinci denkleme yerleştirilirse

$$\frac{d^4 \phi}{du^4} + D^2 \frac{d^2 \phi}{du^2} = 0 \quad (29)$$

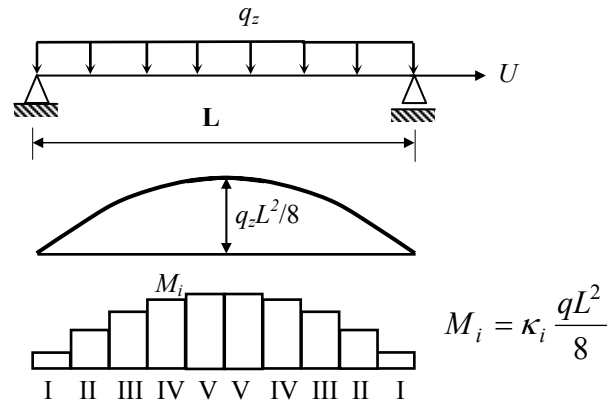
$$D = \frac{M_1}{[EI_z(C_1 - M_1\beta_w)]^{1/2}} \quad (30)$$

elde edilen diferansiyel denklemin çözümü

$$\phi = A_1 \cos Du + A_2 \sin Du \quad (31)$$

şeklindedir.

Sabit moment haline ait çözümün sabit olmayan moment hallerine de uygulanabilmesi için, basit kirişe ait moment grafiğinin kirişin belirli bir boyunca sabit kaldığı varsayılmıştır. Bu sabit değerler aşağıda belirtildiği gibi elde edilirler [15].



Şekil 7. Üniform yayılı yüklü bir basit kirişte moment değerlerinin sabit değerlere indirgenmesi.

Kirişin 10 eşit parçaya bölüdüğü ve her parçada değişken moment ile sabit momente ait şekil değiştirme işlerinin aynı olduğu varsayılarak κ katsayıları elde edilmiştir (Şekil 7).

$$M_u = \frac{q_z L^2}{2} \left[\frac{u}{L} - \frac{u^2}{L^2} \right] \quad (32)$$

Şekil değiştirme işi

$$A = \int_{u_1}^{u_2} \frac{M_u^2}{2EI_w} du = \frac{q_z^2 L^5}{8EI_w} \left[\frac{u_2^3 - u_1^3}{3L^3} + \frac{u_2^5 - u_1^5}{5L^5} - \frac{u_2^4 - u_1^4}{2L^4} \right] \quad (33)$$

Sabit bir M_i için Şekil değiştirme işi

$$A = \int_{u_1}^{u_2} \frac{M_i^2}{2EI_w} du = \frac{M_i^2}{2EI_w} (u_2 - u_1) \quad (34)$$

Her iki Şekil değiştirme işi eşitlenirse

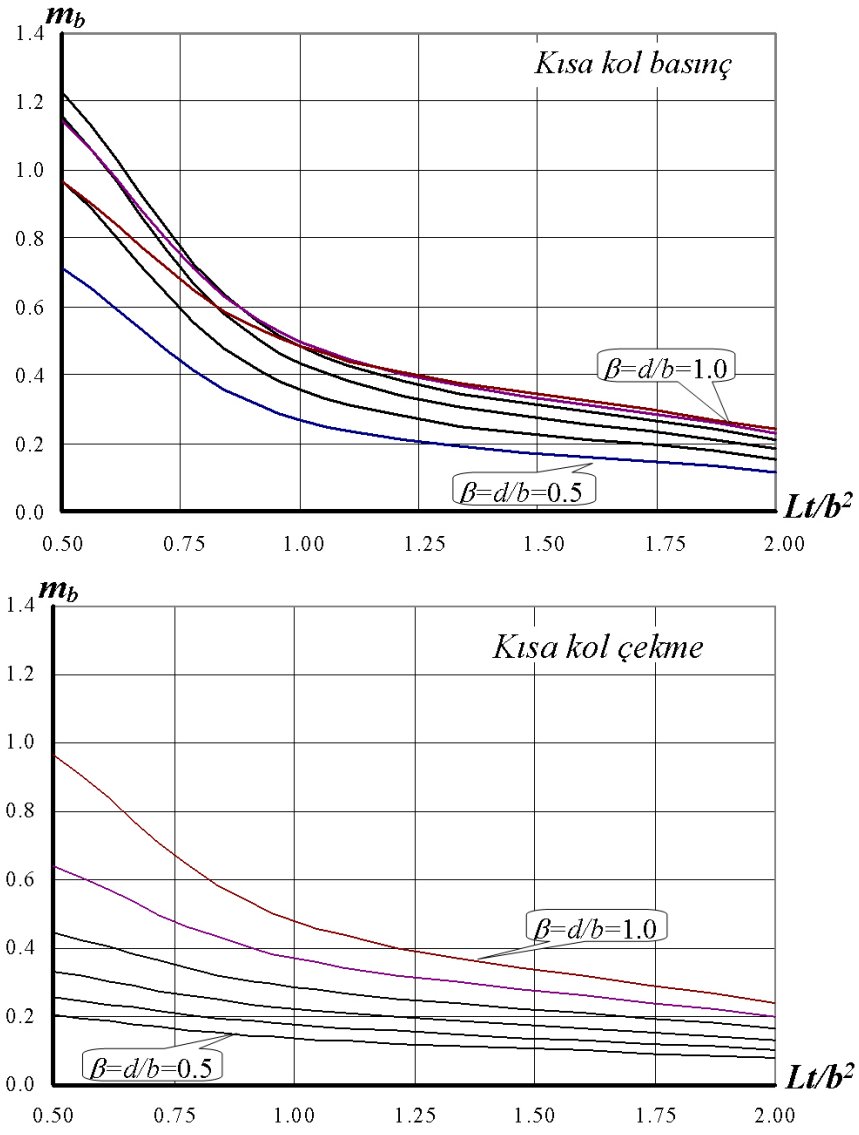
$$M_i = \kappa_i \frac{qL^2}{8} \quad (35)$$

gibi bir baęıntı elde edilir. Aynı dűřüncelerle basit kiriřin ortasında etki eden tekil yűke ait $\bar{\kappa}$ katsayıları da hesaplanarak ařaęıda ۆzetlenmiřtir.

Çizelge 2.Basit kiriřin 10 eřit parçaya bۆlűnmesi haline ait moment indirgeme katsayıları.

Bۆlge	I	II	III	IV	V
κ	0.214	0.513	0.749	0.907	0.987
$\bar{\kappa}$	0.115	0.306	0.503	0.702	0.902

Denklem (31) de yer alan A katsayılarına ait denklem takımı her bir arakesitteki ϕ lerin eřit ve sűrekli olacağı koşullarından hareketle elde edilir. Bu denklem takımında q_z veya P_z değişken olarak yer alır. Denklem takımının determinantını sıfır yapan q_z veya P_z ve buna ait moment değeri kirişteki kritik yűkű ve momenti verir. Őekil 6 daki eksen takımında hesaplanan β_w değeri eksi işaretlidir.



Şekil 8. Z eksenine paralel etki eden üniform yayılı yük hali için kısa kol çekme ve kısa kol basınç hallerine ait $\frac{Lt}{b^2}$, m_b grafiği.

Eşit kollu korniyerlerde $\beta_w=0$ dır. Z ekseninin pozitif yönünde etki eden bir yük için (kısa kol çekme) M_1 momenti eksi işaretli, negatif yönünde etki eden bir yük için (kısa kol basınç) artı işaretlidir. O halde kritik burkulma momentinin hesabı için belirtilen iki farklı konumun ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir.

V. YÖNTEM

Üniform yayılı yük için $\lambda = \frac{Lt}{b^2}$ narinlik oranları ve $\beta = \frac{d}{b}$ değişimlerine ve dış yükün kısa kolda basınç veya çekme meydana getirmesi hallerine göre M_{ob} kritik burkulma momenti

$$M_{ob} = m_b (Et^3) \quad (36)$$

olarak bulunur. Burada m_b EK II deki tablodan alınacak boyutsuz katsayıdır. Korniyerlerin yanal burulma burkulmasında elastik ve inelastik burkulma olarak iki durum söz konusudur. $M_{yw} < M_{ob}$ ise burkulma inelastik tiptedir, yani M_{nw} nominal momenti akma momenti ile tam plastik moment arasında yer alır. $M_{yw} \geq M_{ob}$ olması halinde elastik burkulma söz konusudur. Bu durumda artık M_{ob} değeri önem kazanır ve M_{nw} nominal momenti akma momenti M_{yw} den daha küçük olur. Buna göre inelastik ve elastik bölgelerin birleşim noktasında $M_y = M_{ob}$ olmak durumundadır. LRFD bu sınırı $0.75M_{yw} = M_{ob}$ olarak saptamıştır. Üst sınır olarak da $M_{pw} = 1.5M_{yw}$ ve $7.7 M_{ob}$ değerleri alınmaktadır. M_{nw} ve M_{ob}

nin bu sınırlar arasında $\sqrt{\frac{M_{ob}}{M_{yw}}}$ ile orantılı olarak değiştiği kabul edilirse

$$\frac{M_{nw}}{M_{yw}} = \left[0.42 \sqrt{\frac{M_{ob}}{M_{yw}}} + 0.33 \right] \leq 1.50 M_{yw} < M_{ob} \quad (37)$$

Burada $M_{nw} = W$ asal eksenli etrafındaki nominal moment, $M_{ob} = m_b (Et^3)$ ve $M_{yw} = m_{yw} (b^2 t F_y)$ bağıntıları $M_{yw} \geq M_{ob}$ halinde LRFD tarafından verilen bağıntı kullanılabilir, ancak burada da değişkenin $\frac{M_{ob}}{M_{yw}}$ olması her iki

durum için daha uygun kıyaslama ve kavrama kolaylığı getireceği düşüncesi ile LRFD deki (5.3a) denklemi aşağıdaki şekle dönüştürülerek sunulmuştur.

$$\frac{M_{nw}}{M_{yw}} = \left[0.92 \frac{M_{ob}}{M_{yw}} - 0.17 \left(\frac{M_{ob}}{M_{yw}} \right)^2 \right] > 0, M_{yw} \geq M_{ob} \quad (38)$$

VI. TASARIM ÖNERİSİ

Çelik Korniyerlerin eğilmeye göre tasarımı kesitin akması, majör eksen etrafındaki momentten dolayı burkulma, minör eksen etrafındaki momentten dolayı lokal burkulma etkileri göz önüne alınarak yapılır. Minör eksen etrafındaki momentten dolayı burkulma etkileri LRFD nin 5. bölümünde serbest uçlarının basınç ve çekme gerilmesi altında bulunması hallerine göre düzenlenmiştir. Yönetmelikte verilen kurallara uygun olarak hazırlanan EK III deki tablodan alınacak boyutsuz katsayılar yardımı ile minör eksen etrafındaki M_{nz} nominal momentleri kolayca hesaplanabilir.

$$M_{nz} = m_{lb} (b^2 t F_y) \quad (39)$$

değerindedir. Önerilen tasarım yönteminde hesap adımları aşağıdaki gibidir.

1-Dış yüklere ait kuvvetlerin asal eksenlerdeki bileşenleri olan M_w , M_z momentleri hesaplanır.

2- $\frac{M_z}{M_w}$ oranına bağlı olarak elastik momenti veren EK I deki tablolardan m_{yw}

değeri bulunup, M_{yw} ve M_{yz} değerleri hesaplanır.

3- $\frac{Lt}{b^2}$ oranına göre EK II deki tablodan m_b katsayısı alınıp

$M_{ob} = m_b (Et^3)$ değeri hesaplanır

$$\frac{M_{nw}}{M_{yw}} = \left[0.42 \sqrt{\frac{M_{ob}}{M_{yw}}} + 0.33 \right] \leq 1.50 M_{yw} < M_{ob} \quad (40)$$

$$\frac{M_{nw}}{M_{yw}} = \left[0.92 \frac{M_{ob}}{M_{yw}} - 0.17 \left(\frac{M_{ob}}{M_{yw}} \right)^2 \right] > 0, M_{yw} \geq M_{ob} \quad (41)$$

bağıntılarından M_{nw} nominal momenti hesaplanır.

4-Serbest uçlardaki basınç ve çekme olması durumlarına göre EK III deki tablodan m_{lb} katsayısı alınıp M_{nz} değeri hesaplanır.

$$5-k = \min \left(\frac{0.90 M_{nw}}{M_w}, \frac{0.90 M_{nz}}{M_z} \right) \quad (42)$$

hesaplanır. Sistemin taşıyabileceği kritik yük

$$q_{cr,y} = kq_y \quad (43)$$

olarak belirlenir

6- Konsol kiriş veya çıkmalı kirişlerde karşılaşılan burulma açısı basit kirişteki yarım boyağıdaki değere benzerliği göz önüne alınır, bu tip sistemlerde açıklıklar $2L$ olarak alınmak suretiyle aynı yol izlenebilir.

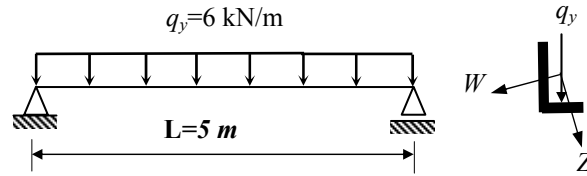
7- Üniform yayılı yük için verilen EK II tabloları diğer tip yükler olması halinde LRFD bölüm 5.2.2. da verilen aşağıdaki denklem kullanılarak dönüştürülebilir.

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 1.5 \quad (44)$$

Burada M_{\max} =kuşatılmamış kiriş parçasındaki en büyük momentin mutlak değeri M_A, M_B, M_C sırası ile kiriş parçasının açıklığının $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ ve $\frac{3}{4}$ ündeki momentlerin mutlak değerleri

$$\text{Budurumiçin } M_{ob} = \frac{C_b}{1.13} m_b (Et^3) \quad (45)$$

VI.1. Sayısal Örnek



Şekil 9. Sayısal örnek.

Şekil 9 daki basit kirişte açıklık $L=5$ m, geometrik y eksenine paralel üniform yayılı yük $q=6$ kN/m, kesit $200 \times 100 \times 12$, $\alpha=0.262$ radyan, elastisite modülü $E=200,000$ MPa, $F_y=300$ MPa değerlerindedir. Kirişte gerekli kontrollerin yapılması istenmektedir.

$$M_y = \frac{qL^2}{8} = \frac{6 \times 5^2}{8} = 18.75 \text{ kNm},$$

$$M_w = 18.75 \cos \alpha = 18.11 \text{ kNm}, M_z = -18.75 \sin \alpha = -4.86 \text{ kNm} \quad (16),$$

$$\frac{M_z}{M_w} = -0.27$$

Korniyer kalınlığının yarısı kenarlarından çıkarılarak iki dikdörtgen koldan meydana gelmiş olarak kabul edilirse kesit 194x94x12 olur.

$$\beta = \frac{94}{194} = 0.49 \cong 0.50, \frac{b}{t} = \frac{194}{12} = 16.2$$

$$b^2 t F_y = 194^2 \times 12^2 \times 300 = 135.49 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\text{ve } Et^3 = 200,000 \times 12^3 = 345.6 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

Ek I tablolarından

$$m_{yw} = 0.170, M_{yw} = 0.170(b^2 t F_y) = 0.170 \times 135.49 \times 10^6 = 23.03 \text{ kNm} \quad (19)$$

$$M_{yz} = (-0.27)23.03 = -6.22 \text{ kNm} \quad (20)$$

$$\frac{Lt}{b^2} = \frac{5000 \times 12}{194^2} = 1.6 \text{ kısa kol çekme hali EK II den } m_b = 0.10$$

$$M_{ob} = 0.10(Et^3) = 0.10 \times 345.6 \times 10^6 = 34.56 \times 10^6 \text{ Nmm} \quad (36)$$

$M_{yw} < M_{ob}$ olduğundan

$$\frac{M_{nw}}{M_{yw}} = \left[0.42 \sqrt{\frac{M_{ob}}{M_{yw}}} + 0.33 \right] = 0.84 \quad (40)$$

$$M_{nw} = 0.84 \times 23.03 \times 10^6 = 19.34 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

Lokal burkulma kontrolü serbest uçlarda basınç gerilmesi meydana gelmesi hali için Ek III deki tablodan $m_z = 0.077$ ve

$$M_{nz} = 0.077 \times 135.49 \times 10^6 = 10.43 \times 10^6 \text{ Nmm} \quad (39)$$

$$\frac{0.90 M_{nw}}{M_w} = \frac{0.90 \times 19.34}{18.11} = 0.96 \text{ ve } \frac{0.90 M_{nz}}{M_z} = \frac{0.90 \times 10.43}{4.86} = 1.93;$$

$$k = 0.96 \quad (42)$$

$$q_{cr,y} = k q_y = 0.96 \times 6 = 5.76 \text{ kN/m} \quad (43) \text{ olur.}$$

VII. SONUÇ

Korniyer kesitlerinin özel durumları nedeni ile herhangi bir yükleme etkisi altında iki eksenli eğilme durumu meydana gelir. LRFD iki eksenli eğilme halinde korniyerlerin tasarımı için plastik momentler arasındaki ilişkiyi doğrusal olarak kabul etmektedir. Şekil 5'den görüleceği gibi bu ilişki doğrusal olmamaktadır. Bu kabul ekonomik olmayan bir yaklaşımdır. Bu çalışmada önce

dış yüklerden dolayı oluşan momentlerin $\frac{M_z}{M_w}$ oranlarının +1.00 ile -1.00

arasındaki değişimlerine ait meydana gelen iki eksenli eğilme durumu için ilk akma momentlerinin boyutsuz katsayılar yardımı ile hesaplanmaları yapıldı. Asal eksenlerdeki plastik moment kapasitelerinin kesitin ilk akma momentine oranlarının en az 1.5 katına eşit olduğu görüldü. Minör eksene dik burkulma hali için kritik burkulma momentleri de boyutsuz katsayılar yardımı ile elde edildi. Majör eksen etrafındaki ilk akma momenti, tam plastik moment ve kritik burkulma momentleri göz önüne alınarak inelastic burkulma durumuna ait nominal momentlerin hesabı için bağıntılar verildi. Elastik burkulma durumu için LRFD tarafından verilen bağıntı değişik tarzda ifade edilerek her iki hal için karşılaştırma kolaylığı sağlanmasına çalışıldı. Lokal burkulma için nominal moment değerleri LRFD kurallarından alındı. Her iki nominal moment değeri ve dış yükün asal eksenlerdeki bileşenleri göz önüne alınarak korniyerlerin iki eksenli eğilme haline ait, uygulanması kolay olan, yeni bir tasarım önerisinde bulunulmuştur. Korniyerler uygulamada majör eksen paralel eğilme zorlaması altında tasarlanırlar. Minör eksene göre daha büyük eğilme oluşturan bir yükleme durumu ekonomik değildir. Bu nedenle çalışmada getirilen

sınırlandırılmış $\frac{M_z}{M_w}$ oranlarının uygulamada karşılaşılan tüm durumları

kapsadığı söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Elgaaly, M., Dagher, H., and Davids, W “Behavior of single-angle-compression members.” *J. Struct. Engrg.*, ASCE, 3720-3741, ,(1991).
- [2] Sun, J., Butterworth, J.W., “Behaviour of steel single angle compression members axially loaded through one leg.” *Proc. Australasian Struct. Engrg. Conference, Auckland*, 859-866, (1998).
- [3] Earls, C.J., “On single angle major axis flexural.” *J. Constr. Steel Res.*, 82-97, (1999).
- [4] Earls, C.J., “Single angle geometric axis flexural compactness criteria: Horizontal leg tension.” *J. Struct. Engrg.*, ASCE, 616-624, (2001a).
- [5] Earls, C.J., “Single angle geometric axis flexural I. Background and model Verification.” *J. Constr. Steel Res.*, 603-622. (2001b).
- [6] Earls, C.J., “Single angle geometric axis flexural. II: Design recommendation.” *J. Constr. Steel Res.*, 623-646, (2001c).
- [7] *LRFD Load and resistance factor design of single-angle members*. American Institute of Steel Construction, Chicago, III, (2000).
- [8] Timoshenko, S.P., Gere, J.M., (1972). “*Mechanics of materials.*” Van Nostrand.
- [9] Trahair, N.S., “Biaxial bending of steel angle section beams” *J. Struct. Engrg.*, ASCE, Vol. 130(4), 554-561, (2004).
- [10] Earls, C.J., Galambos, T.V., “Design recommendations for equal leg single angle flexural members.” *J. Constr. Steel Res.*, 65-85, (1997).
- [11] Trahair, N.S., “Moment capacities of steel angle sections” *J. Struct. Engrg.*, ASCE, 128 (11), 1387-1393, (2002).
- [12] Timoshenko, S.P., Gere, J.M., “*Theory of elastic stability.*” Mc Graw Hill Co. (1961).
- [13] Trahair, N.S., “Buckling and torsion of steel angle section beams” www.industries.bnet.com/abstract.aspx?scid=2513&docid=119750, (2003a).
- [14] Trahair, N.S., “Lateral buckling strengths of steel angle beams” *J. Struct. Engrg.*, ASCE, 129(6), 784-791, (2003b).
- [15] Aydın, M.R., Kırac, N., “Lateral buckling of reinforced concrete beams without lateral support.” *J. Struct. Engrg. Mech.*, Korea, (1998).

SEMBOLLER

q_y, q_x	Geometrik eksenlere paralel etki eden üniform yayılı yük
q_w, q_z	Asal eksenlere paralel etki eden üniform yayılı yük
α	Asal eksen açısı
Δ_w, Δ_z	Asal eksenlere paralel yer değiştirmeler
Δ_x, Δ_y	Geometrik eksenlere paralel yer değiştirmeler
P_x, P_y	Geometrik eksenlere paralel etki eden tekil yük
P_w, P_z	Asal eksenlere paralel etki eden tekil yük
M_y, M_x	Geometrik eksenler etrafında etki eden eğilme momenti
M_w, M_z	Asal eksenler etrafında etki eden eğilme momenti
φ	Tarafsız eksen ve kuvvetler çizgisi arasındaki açı
M_{yw}, M_{yz}	Asal eksenler etrafında meydana gelen ilk akma momentleri
m_{yw}	W asal eksen etrafında meydana gelen ilk akma momentinin
m_{Px}, m_{Py}	Geometrik eksenler etrafında meydana gelen tam plastik
M_{Px}, M_{Py}	Geometrik eksenler etrafında meydana gelen tam plastik
M_{Pw}, M_{Pz}	Asal eksenler etrafında meydana gelen tam plastik momentler
m_b	M_{ob} kritik yanal burkulma momentinin hesabına ait boyutsuz
M_{ob}	Kritik yanal burkulma momenti
M_{nw}, M_{nz}	Asal eksenler etrafındaki nominal momentler
b, d, t	Korniyeerin uzun ve kısa kollarının uzunlukları ve kalınlığı
β	Uzun kolun kısa kola oranı

EK I. W asal ekseninde meydana gelen ilk akma momentinin hesabına ait

$$m_{yw} \text{ boyutsuz moment katsayıları tablosu } M_{yw} = m_{yw} (b^2 t F_y).$$

M_z/M_w												
b/t	$\beta=d/b=0.5$						$\beta=d/b=0.6$					
	6	8	10	12.5	15	20	6	8	10	12.5	15	20
1.0	0.046	0.046	0.047	0.048	0.049	0.050	0.061	0.062	0.063	0.065	0.066	0.067
0.9	0.050	0.051	0.051	0.052	0.053	0.055	0.066	0.068	0.069	0.071	0.072	0.073
0.8	0.056	0.056	0.057	0.058	0.059	0.060	0.073	0.075	0.076	0.078	0.079	0.081
0.7	0.063	0.063	0.064	0.065	0.066	0.068	0.082	0.083	0.085	0.087	0.088	0.090
0.6	0.071	0.072	0.073	0.074	0.075	0.077	0.093	0.094	0.096	0.098	0.099	0.101
0.5	0.083	0.083	0.084	0.086	0.087	0.089	0.107	0.109	0.110	0.112	0.114	0.116
0.4	0.097	0.099	0.100	0.102	0.103	0.105	0.123	0.127	0.129	0.132	0.133	0.136
0.3	0.116	0.119	0.121	0.124	0.126	0.128	0.145	0.150	0.153	0.157	0.159	0.162
0.2	0.145	0.15	0.154	0.157	0.160	0.164	0.176	0.183	0.188	0.193	0.196	0.201
0.1	0.193	0.203	0.21	0.216	0.221	0.227	0.223	0.236	0.245	0.252	0.257	0.264
0.0	0.215	0.227	0.234	0.241	0.245	0.251	0.230	0.244	0.253	0.260	0.265	0.271
-0.1	0.185	0.195	0.202	0.208	0.212	0.218	0.208	0.219	0.225	0.231	0.235	0.240
-0.2	0.155	0.165	0.172	0.179	0.183	0.189	0.178	0.188	0.195	0.201	0.205	0.211
-0.3	0.133	0.143	0.150	0.157	0.161	0.168	0.156	0.166	0.172	0.178	0.183	0.188
-0.4	0.113	0.124	0.133	0.139	0.144	0.150	0.139	0.148	0.154	0.160	0.164	0.170
-0.5	0.097	0.106	0.113	0.120	0.126	0.134	0.125	0.133	0.140	0.145	0.149	0.155
-0.6	0.084	0.092	0.098	0.105	0.110	0.117	0.109	0.119	0.128	0.133	0.137	0.142
-0.7	0.074	0.081	0.087	0.093	0.097	0.100	0.096	0.106	0.113	0.120	0.125	0.131
-0.8	0.067	0.073	0.078	0.081	0.082	0.085	0.086	0.095	0.101	0.107	0.112	0.118
-0.9	0.061	0.066	0.068	0.070	0.072	0.074	0.078	0.086	0.092	0.097	0.101	0.107
-1.0	0.055	0.059	0.060	0.062	0.063	0.066	0.072	0.078	0.084	0.089	0.093	0.098

EK I. W asal eksenine etrafında meydana gelen ilk akma momentinin hesabına ait m_{yw} boyutsuz moment katsayıları tablosu $M_{yw} = m_{yw}(b^2 t F_y)$ (devam).

M_z/M_w												
$\beta=d/b=0.7$							$\beta=d/b=0.8$					
b/t	6	8	10	12.5	15	20	6	8	10	12.5	15	20
1.0	0.077	0.079	0.081	0.083	0.084	0.086	0.093	0.096	0.099	0.101	0.103	0.105
0.9	0.083	0.086	0.088	0.090	0.091	0.093	0.101	0.104	0.107	0.109	0.111	0.114
0.8	0.092	0.094	0.096	0.098	0.100	0.102	0.110	0.114	0.117	0.119	0.121	0.124
0.7	0.102	0.105	0.107	0.109	0.111	0.113	0.122	0.126	0.129	0.131	0.133	0.136
0.6	0.114	0.117	0.120	0.122	0.124	0.126	0.136	0.140	0.143	0.146	0.148	0.151
0.5	0.131	0.134	0.136	0.139	0.141	0.143	0.153	0.158	0.161	0.164	0.166	0.169
0.4	0.150	0.155	0.158	0.160	0.162	0.165	0.176	0.181	0.184	0.187	0.190	0.193
0.3	0.173	0.179	0.183	0.187	0.190	0.194	0.200	0.207	0.212	0.216	0.219	0.223
0.2	0.204	0.213	0.219	0.225	0.228	0.233	0.230	0.240	0.247	0.253	0.257	0.262
0.1	0.248	0.263	0.272	0.280	0.286	0.293	0.271	0.286	0.296	0.305	0.310	0.318
0.0	0.250	0.266	0.276	0.284	0.290	0.297	0.278	0.296	0.308	0.317	0.324	0.332
-0.1	0.235	0.245	0.251	0.256	0.260	0.265	0.256	0.268	0.276	0.282	0.287	0.292
-0.2	0.202	0.212	0.219	0.224	0.228	0.233	0.229	0.238	0.244	0.250	0.253	0.258
-0.3	0.178	0.187	0.194	0.199	0.203	0.208	0.201	0.210	0.216	0.221	0.225	0.229
-0.4	0.159	0.167	0.174	0.179	0.183	0.188	0.179	0.187	0.193	0.198	0.202	0.206
-0.5	0.143	0.152	0.157	0.163	0.166	0.171	0.161	0.169	0.175	0.179	0.183	0.187
-0.6	0.130	0.138	0.144	0.149	0.153	0.157	0.146	0.154	0.159	0.164	0.167	0.172
-0.7	0.120	0.127	0.133	0.138	0.141	0.146	0.134	0.142	0.147	0.151	0.154	0.159
-0.8	0.109	0.118	0.123	0.128	0.131	0.135	0.124	0.131	0.136	0.140	0.143	0.147
-0.9	0.098	0.107	0.114	0.119	0.122	0.127	0.115	0.122	0.126	0.131	0.133	0.137
-1.0	0.090	0.098	0.104	0.110	0.115	0.119	0.108	0.114	0.118	0.122	0.125	0.129

EK I. W asal eksenine etrafında meydana gelen ilk akma momentinin hesabına ait

m_{yw} boyutsuz moment katsayıları tablosu $M_{yw} = m_{yw}(b^2 t F_y)$ (devam).

M_z/M_w												
	$\beta=d/b=0.9$						$\beta=d/b=1.0$					
b/t	6	8	10	12.5	15	20	6	8	10	12.5	15	20
1.0	0.110	0.114	0.118	0.120	0.122	0.125	0.128	0.133	0.137	0.141	0.143	0.146
0.9	0.119	0.124	0.127	0.130	0.132	0.135	0.138	0.143	0.147	0.151	0.154	0.157
0.8	0.129	0.134	0.138	0.141	0.143	0.146	0.149	0.155	0.159	0.163	0.166	0.169
0.7	0.142	0.147	0.151	0.154	0.156	0.159	0.162	0.169	0.173	0.177	0.180	0.184
0.6	0.157	0.162	0.166	0.170	0.172	0.176	0.178	0.185	0.190	0.194	0.197	0.201
0.5	0.175	0.181	0.185	0.189	0.192	0.195	0.198	0.205	0.210	0.215	0.218	0.222
0.4	0.199	0.205	0.209	0.213	0.216	0.220	0.222	0.230	0.235	0.240	0.243	0.248
0.3	0.227	0.235	0.24	0.244	0.248	0.251	0.254	0.262	0.267	0.272	0.275	0.280
0.2	0.256	0.267	0.274	0.280	0.284	0.290	0.286	0.297	0.304	0.310	0.314	0.320
0.1	0.294	0.310	0.320	0.329	0.334	0.342	0.321	0.337	0.347	0.356	0.362	0.369
0.0	0.316	0.337	0.350	0.361	0.368	0.378	0.366	0.390	0.405	0.418	0.426	0.437
-0.1	0.284	0.299	0.308	0.315	0.320	0.327	0.321	0.337	0.347	0.356	0.362	0.369
-0.2	0.258	0.268	0.274	0.280	0.283	0.288	0.286	0.297	0.304	0.310	0.314	0.320
-0.3	0.226	0.234	0.240	0.245	0.249	0.253	0.254	0.262	0.267	0.272	0.275	0.280
-0.4	0.200	0.208	0.213	0.218	0.222	0.226	0.222	0.230	0.235	0.240	0.243	0.248
-0.5	0.179	0.187	0.192	0.197	0.200	0.204	0.198	0.205	0.210	0.215	0.218	0.222
-0.6	0.162	0.170	0.175	0.179	0.182	0.186	0.178	0.185	0.190	0.194	0.197	0.201
-0.7	0.148	0.155	0.160	0.164	0.167	0.171	0.162	0.169	0.173	0.177	0.180	0.184
-0.8	0.137	0.143	0.148	0.152	0.155	0.158	0.149	0.155	0.159	0.163	0.166	0.169
-0.9	0.127	0.133	0.137	0.141	0.144	0.147	0.138	0.143	0.147	0.151	0.154	0.157
-1.0	0.118	0.124	0.128	0.132	0.134	0.138	0.128	0.133	0.137	0.141	0.143	0.146

EK II. M_{ob} kritik yanal burkulma momentinin hesabına ait m_b boyutsuz moment

$$\text{katsayısı } M_{ob} = m_b (Et^3)$$

Kısa kolda çekme gerilmesi hali										
$Lt/b^2=$	1	2	3	4	5	6	10	12.5	15	20
$\beta=0.5$	0.139	0.082	0.058	0.044	0.036	0.030	0.019	0.015	0.013	0.010
$\beta=0.6$	0.178	0.106	0.075	0.058	0.047	0.040	0.024	0.020	0.016	0.012
$\beta=0.7$	0.225	0.133	0.093	0.072	0.059	0.049	0.030	0.024	0.020	0.015
$\beta=0.8$	0.287	0.164	0.114	0.087	0.071	0.060	0.036	0.029	0.024	0.018
$\beta=0.9$	0.371	0.200	0.136	0.104	0.084	0.070	0.042	0.034	0.028	0.021
$\beta=1.0$	0.482	0.241	0.161	0.121	0.096	0.080	0.048	0.039	0.032	0.024

Kısa kolda basınç gerilmesi hali										
$Lt/b^2=$	1	2	3	4	5	6	10	12.5	15	20
$\beta=0.5$	0.267	0.114	0.072	0.052	0.041	0.034	0.020	0.016	0.013	0.010
$\beta=0.6$	0.355	0.150	0.094	0.069	0.054	0.045	0.026	0.021	0.017	0.013
$\beta=0.7$	0.432	0.184	0.116	0.085	0.067	0.055	0.032	0.026	0.021	0.016
$\beta=0.8$	0.483	0.214	0.136	0.100	0.079	0.065	0.038	0.031	0.025	0.019
$\beta=0.9$	0.498	0.231	0.151	0.112	0.089	0.073	0.044	0.035	0.029	0.022
$\beta=1.0$	0.482	0.241	0.161	0.121	0.096	0.080	0.048	0.039	0.032	0.024

EK III. Lokal burkulma halinde kritik burkulma momentinin hesabına ait m_{lb}

$$\text{boyutsuz moment katsayıları tablosu } M_{nz} = m_{lb} (b^2 t F_y)$$

	β					
	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
$b/t=6.0$	0.088	0.124	0.170	0.228	0.260	0.270
$b/t=7.0$	0.087	0.123	0.169	0.225	0.269	0.278
$b/t=8.0$	0.086	0.123	0.169	0.224	0.276	0.285
$b/t=10.0$	0.086	0.123	0.168	0.223	0.288	0.296
$b/t=12.5$	0.087	0.124	0.169	0.223	0.286	0.306
$b/t=15.0$	0.083	0.119	0.162	0.212	0.272	0.298
$b/t=20.0$	0.065	0.092	0.125	0.163	0.208	0.235

Düzeltilme

Dergimizin 2005 yılı 2. sayısında yayımlanan “**Structured Robust Stability Analysis of an Inverted Pendulum System With a Fixed Feedback**“ başlıklı makaledeki hatalardan dolayı özür diliyoruz. Söz konusu hatalı bağıntıların doğruları aşağıdadır.

Sayfa 57

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1 &= x_2 \\
 \dot{x}_2 &= \frac{-bx_2 + M_p l \sin(x_3) x_4^2 - M_p g \sin(x_3) \cos(x_3) + u}{M_c + M_p - M_p \cos^2(x_3)} \\
 \dot{x}_3 &= x_4 \\
 \dot{x}_4 &= \frac{(bx_2 - u - M_p l \sin(x_3) x_4^2) \cos(x_3) + (M_c + M_p) g \sin(x_3)}{l(M_c + M_p - M_p \cos^2(x_3))}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$x_1 := x, \quad x_2 := \dot{x}, \quad x_3 := \theta, \quad x_4 := \dot{\theta}$$

Sayfa 58

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1 &= x_2 \\
 \dot{x}_2 &= -\frac{M_p g}{M_c} x_3 - \frac{b}{M_c} x_2 + \frac{1}{M_c} u \\
 \dot{x}_3 &= x_4 \\
 \dot{x}_4 &= \frac{(M_c + M_p) g}{M_c l} x_3 + \frac{b}{M_c l} x_2 - \frac{1}{M_c l} u
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{X} &= AX + Bu \\
 y &= CX
 \end{aligned} \tag{3}$$

Sayfa 59

$$\begin{aligned}
 \dot{e} &= Ae + Bu \\
 y &= Ce + r
 \end{aligned} \tag{5}$$

Sayfa 63

$$\begin{aligned}\dot{X} &= (A - BK)X + BKx_d \\ y &= Cx\end{aligned}\tag{15}$$

$$\dot{X} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{k_1}{M_c} & \frac{b+k_2}{M_c} & \frac{M_p g + k_3}{M_c} & \frac{k_4}{M_c} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_1}{M_c l} & \frac{b+k_2}{M_c l} & \frac{(M_c + M_p)g + k_3}{M_c l} & \frac{k_4}{M_c l} \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{k_1}{M_c} \\ 0 \\ \frac{k_1}{M_c l} \end{bmatrix} r\tag{16}$$

$y = x_1$.