

Çelik Yapılar

ÇYTY 2016

GKT/YDKT

DERS NOTU

Prof. Dr. Zeki AY

Isparta-2022

www.zekiay.com.tr

9. EĞİLME MOMENTİ ETKİSİ

9.1 GİRİŞ

9.2 EĞİLME GERİLMELERİ VE PLASTİK MOMENT

9.2.1 Yapı Çeliğinin İdeal elasto-plastik gerilme şekil değiştirme eğrisi

9.2.2 Eğilme Momenti Eğrilik İlişkisi (M- χ)

9.2.3 Plastik Moment- Plastik Mafsal

9.3 ÇYTY-2016'YA GÖRE EĞİLME ETKİSİNDEKİ ELEMANLARIN HESABI

9.4 STABİLİTE

9.5 EĞİLME MOMENTİ ETKİSİNDEKİ ELEMANLARIN TASARIM ŞEMASI

9.6. ÇİFT SİMETRİ EKSENLİ I-ENKESİT KİRİŞLER

9.6.1 Kuvvetli Eksen Eğilmesi

1. Kompakt Başlıklı-Kompakt Gövdeli
2. Kompakt Olmayan veya Narin Başlıklı-Kompakt Gövdeli
3. Kompakt, Kompakt Olmayan ve Narin Başlıklı-Kompakt Olmayan Gövdeli
4. Kompakt, Kompakt Olmayan ve Narin Başlıklı-Narin Gövdeli

9.6.2 Zayıf Eksen Eğilmesi

9.7. TEK SİMETRİ EKSENLİ I-ENKESİT KİRİŞLER

9.7.1 Kuvvetli Eksen Eğilmesi

1. Kompakt, Kompakt Olmayan, Narin Başlıklı-Kompakt ve Kompakt Olmayan Gövdeli
2. Kompakt, Kompakt Olmayan, Narin Başlıklı-Narin Gövdeli
 - 9.7.2 Zayıf Eksen Eğilmesi
 - 9.8. U ve ÇİFT U-ENKESİT KİRİŞLER
 - 9.8.1 Kuvvetli Eksen Eğilmesi
 - 9.8.2 Zayıf Eksen Eğilmesi
 - 9.9. KUTU KESİTLİ KİRİŞLER
 - 9.10. BORU KESİTLİ KİRİŞLER
 - 9.11. T-ENKESİT ve ÇİFT KÖŞEBENT KİRİŞLER
 - 9.11.1 Kuvvetli Eksen Eğilmesi
 - 9.11.2 Zayıf Eksen Eğilmesi
 - 9.12. TEK KÖŞEBENT KİRİŞLER
 - 9.13. DOLU ENKESİTLİ KİRİŞLER
 - 9.13.1 Dikdörtgen Enkesitli Kirişler
 - 9.13.2. Daire Enkesitli Kirişler
 - 9.14. GENEL ENESİTLİ KİRİŞLER
 - 9.15 İKİ EKSENİN EĞİLME

9. EĞİLME MOMENTİ ETKİSİ

9.1 GİRİŞ

Boyutlandırılmasında esas kesit tesirlerinin eğilme momenti ve kesme kuvveti olan yapı elemanları kiriş olarak adlandırılır. Çelik yapılarda kiriş adı altında çok farklı yapı elemanları tanımlanmaktadır. Dolu gövdeli kirişler, petek kirişler, kafes kirişler, yapma kirişler, ince cidarlı kirişler, R kirişler vb. Bunların her birinin hesap esasları diğerinden farklıdır.

Türkçe literatürde “kiriş” kavramı oldukça geniş tanım alanına sahip iken, yabancı literatürde her bir çelik kiriş tipi farklı adlarda anılmaktadır. İnşaat mühendisliği öğrencilerinin ve çelik alanında çalışan mühendislerimizin bu durumu gözden uzak tutmamalarında fayda vardır. Bu bölümde, ÇYTY-2016 Bölüm 9 da verilen esaslar çerçevesinde, sadece, asal eksenlerinden herhangi biri etrafında basit eğilme etkisindeki dolu gövdeli kirişlerin tasarımı anlatılacaktır. Basit eğilme etkisindeki bu elemanlarda, yükler kayma merkezinden geçen asal eksene paralel olan düzlemde etkimeli veya eleman, yük etkiye noktalarında ve mesnetlerde burulmaya karşı mutlaka desteklenmelidir. Hesaplar bu kabul çerçevesinde verilmektedir.



Şekil 9.1 Dolu gövdeli kiriş örneği



Şekil 9.2 Kafes kiriş örneği-Kren sistemi



Şekil 9.3 Petek kiriş örneği

Prof.Dr. Zeki AY

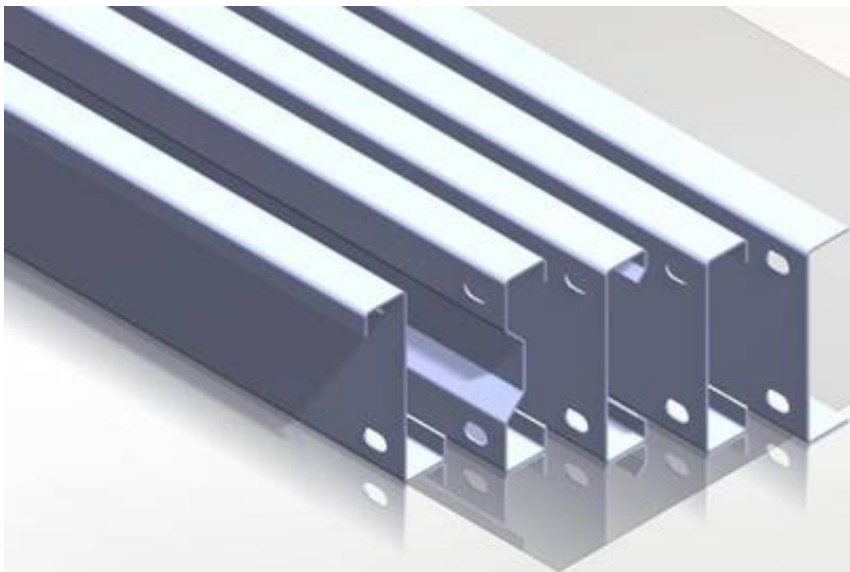
Çelik Yapılar/2022



Şekil 9.4 Dolu gövdeli kiriş örneği



Şekil 9.5 Dolu gövdeli kiriş örneği



Şekil 9.6 Soğukta şekil verilmiş kiriş örneği

Prof.Dr. Zeki AY



Şekil 9.7 "R" kiriş örneği



Şekil 9.8 Paralel başlıklı 2D kafes kiriş örneği

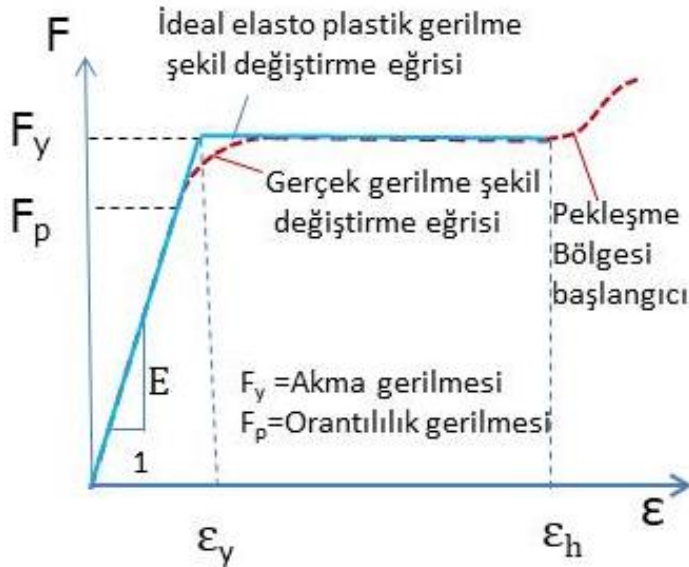


Şekil 9.9 Paralel başlıklı 3D kafes kiriş örneği

9.2 EĞİLME GERİLMELERİ VE PLASTİK MOMENT

9.2.1 Yapı Çeliğinin İdeal elasto-plastik gerilme şekil değiştirme eğrisi

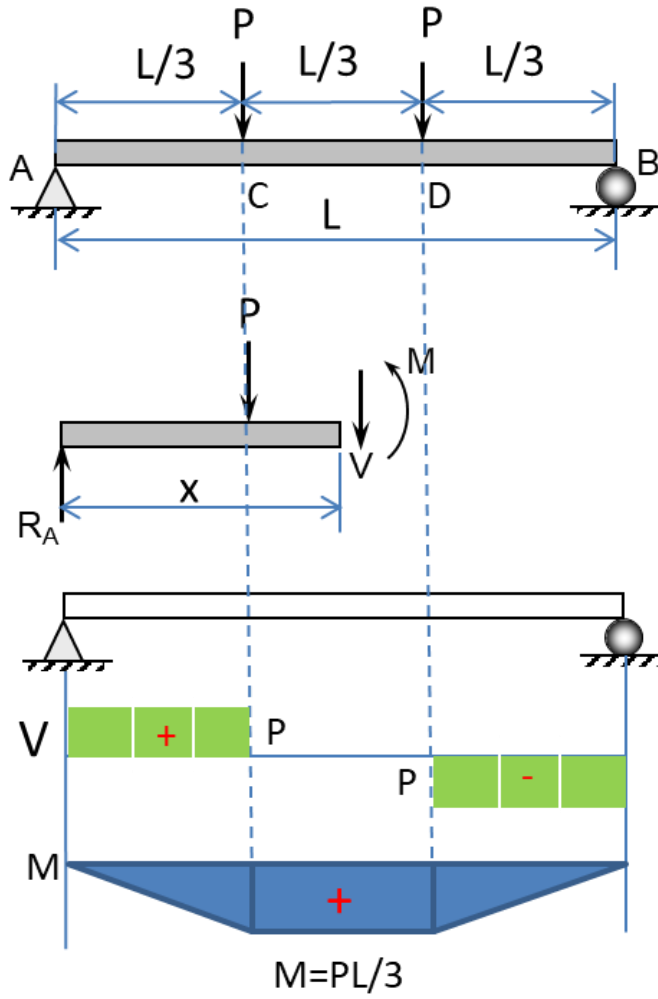
Bir yapının çözümlenebilmesi ve çözümlenmeye göre boyutlandırılabilmesi için öncelikle kullanılan yapı malzemesinin gerilme-şekildeğiştirme diyagramının belirlenmesi gerekir. Hesaplarda bazı kolaylıklar sağlaması için deneysel olarak elde edilen gerilme-şekildeğiştirme diyagramı idealleştirilir. Aşağıda yapı çeliğinin idealize edilmiş gerilme-şekildeğiştirme diyagramı verilmiştir.



Şekil 9.10 Yapı Çeliğinin İdeal Gerilme Şekildeğiştirme Diyagramı

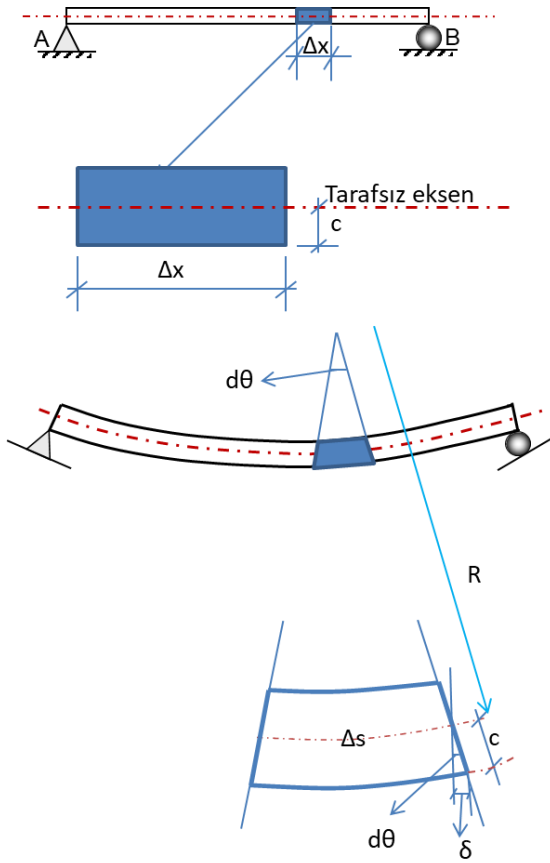
9.2.2 Eğilme Momenti Eğrilik İlişkisi (M-χ)

Eğilme momenti etkisi altında yapı elemanlarının tasarımı için, kullanılan malzemenin gerilme şekil değiştirme diyagramı ile birlikte eğilme momenti ile eğilme şekil değiştirme (χ) arasındaki ilişkinin bilinmesi gerekir. Bunun için, aşağıdaki gibi (Şekil 9.11) yüklenmiş çift simetri eksenli I profilinden yapılmış bir kiriş ele alalım.



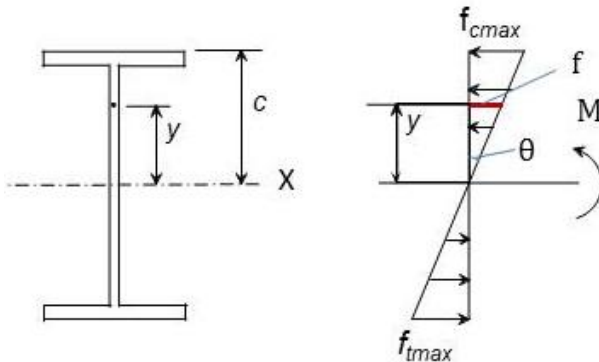
Şekil 9.11

Açıklığının $1/3$ noktalarından tekil yükle yüklenmiş bu kirişin C - D arasında kesme kuvveti $V=0$, eğilme momenti $M=PL/3$ olacaktır. C - D arasında sadece moment olması diğer kesit tesirlerinin olmadığı yani basit eğilme hali sağlanmış olur. Bu nedenle, basit eğilme etkisi altında yapılacak deneysel çalışmalarda şekil 9.11 deki gibi yükleme şekli kullanılır.



Şekil 9.9

$$\begin{aligned} \Delta s &= R(d\theta) & \delta &= c(d\theta) & \Delta x &= R(d\theta) & d\theta &= \frac{\delta}{c} & d\theta &= \frac{\Delta x}{R} \\ \frac{\delta}{c} &= \frac{\Delta x}{R} & \frac{c}{R} &= \frac{\delta}{\Delta x} & \varepsilon &= \frac{c}{R} & \varepsilon &= \frac{\sigma}{E} & \sigma &= \frac{Mc}{I} \\ \varepsilon &= \frac{\sigma}{E} = \frac{Mc}{EI} & \frac{c}{R} &= \frac{Mc}{EI} & \frac{1}{R} &= \frac{M}{EI} & \chi &= \frac{d^2 y}{dx^2} & \frac{M}{EI} &= \frac{d^2 y}{dx^2} \end{aligned}$$



F_c = Basınç gerilmesi, F_t = Çekme gerilmesi

Şekil 9.10

M_p kesitin eğilme momenti taşıma gücünü,

θ_p ise buna karşı gelen birim dönmeyi ifade eder.

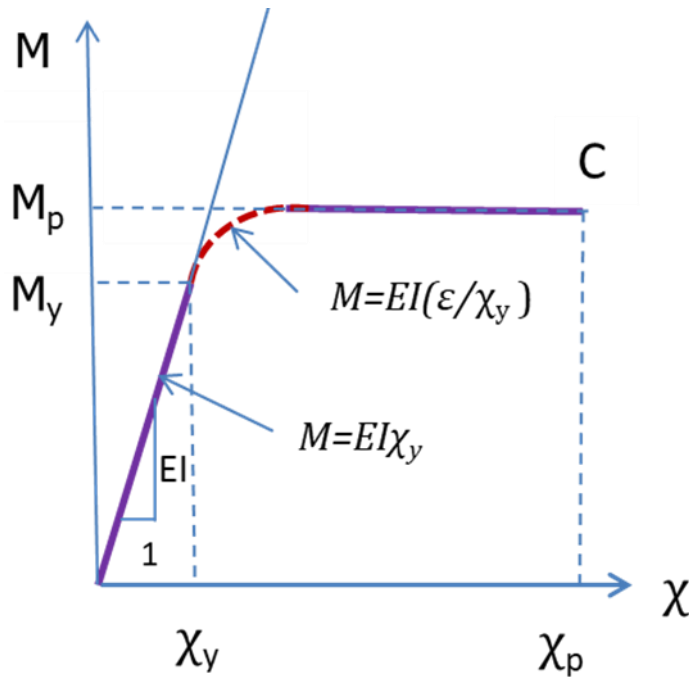
$M = F_y W_e, F_y = \text{Akma dayanımı}$

$W_e = \text{Elastik mukavemet momenti}$

χ_y , akma şekil değişmesine karşı gelen eğrilik

ϵ_y

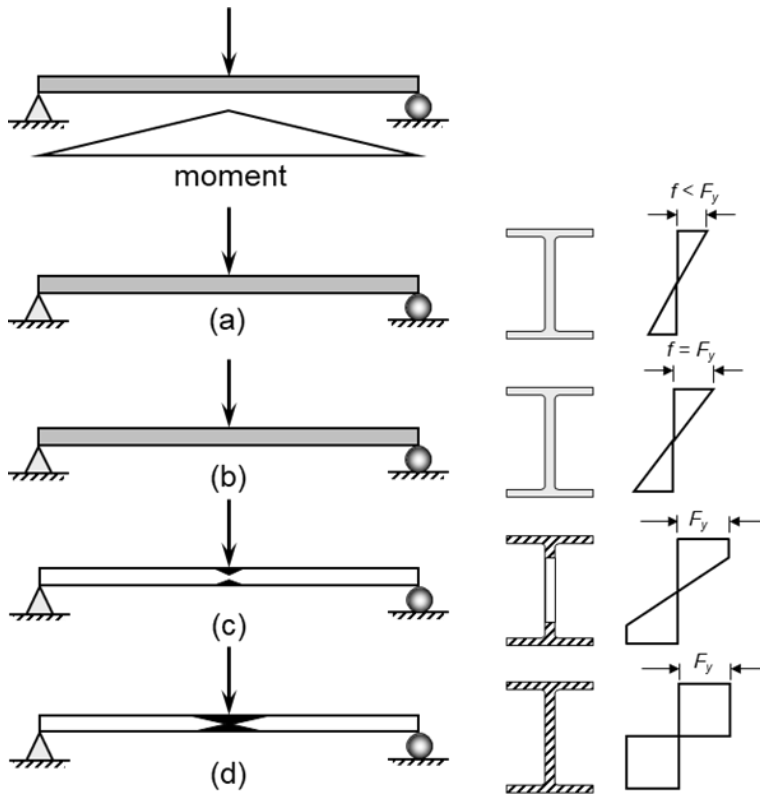
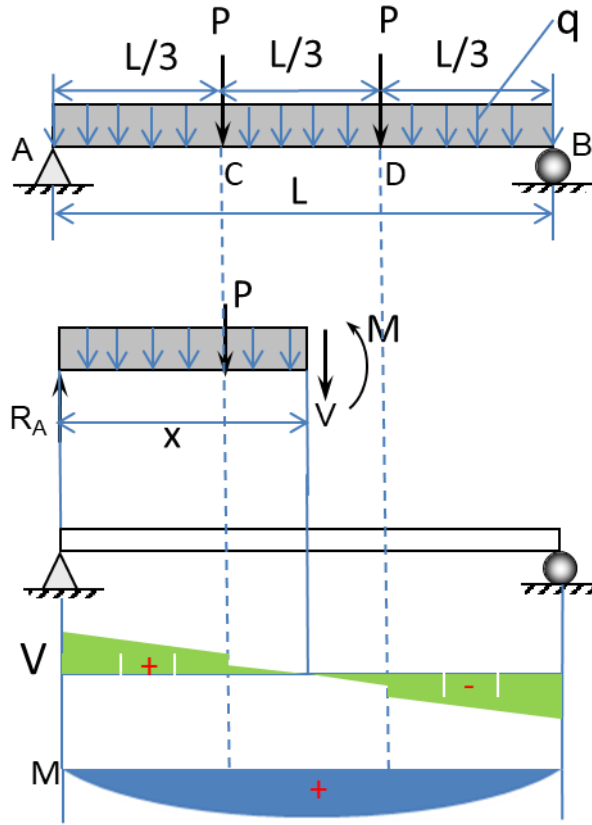
$E = \text{Elastisite Modülü}$



Şekil 9.11

9.2.3 Plastik Moment- Plastik Mafsalsal

Bir çelik kiriş elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımını (M_n) hesaplanabilmesi için kullanılan çelik malzemenin gerilme-şekildeğiştirme diyagramından sonra bilinmesi gereken kiriş enkesinin enkesit alanı, elastik eksen (ağırlık merkezinden geçen eksen), plastik eksen (enkesit iki eşit alan bölen eksen), elastik mukavemet momenti (elastik eksene göre hesaplanır), plastik mukavemet momenti (plastik eksene göre hesaplanır), atalet momentleri vb. kesit karakteristik özellikleridir. Kirişin karakteristik moment dayanımı belirlemek için, en küçük yükten göçme yüküne kadar tüm yükleme aşamalarında davranışını bilmek gerekir. Aşağıda, bir kiriş kesitinin elastik, plastik ve tam plastikleşme aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 9.12 Kirişte plastik mafsal oluşumu a) Elastik b) akma sınırında c) kısmi plastikleşmiş d) tam plastikleşmiş

Prof.Dr. Zeki AY

Çelik Yapılar/2022

Eğilme momenti etkisindeki kiriş kesitinin ağırlık merkezinden geçen eksene yani elastik eksene olan uzaklığı "y" kadar olan herhangi bir noktadaki gerilme;

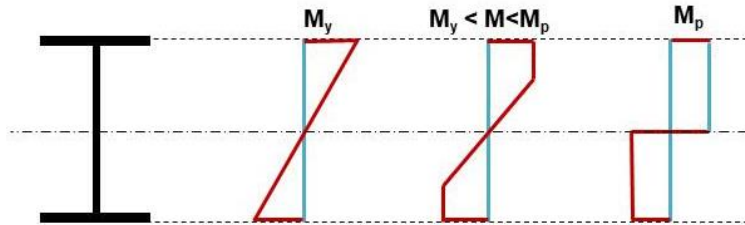
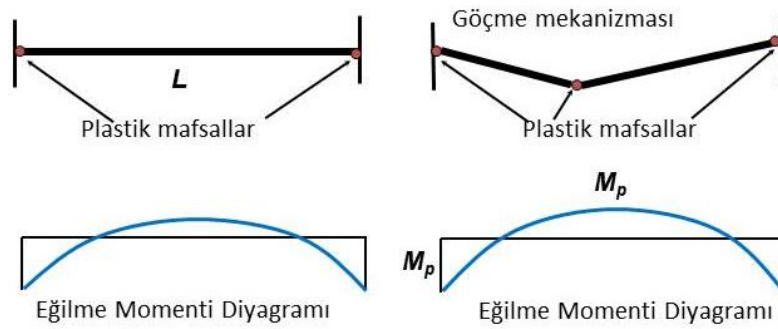
$$f = \frac{My}{I}$$

En dış liflerdeki gerilmeler;

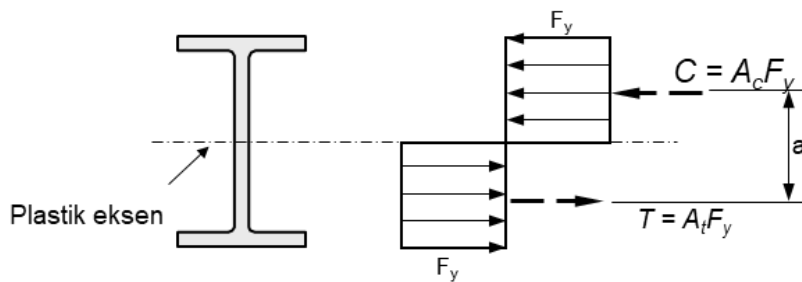
Kesit simetrik olduğu için $f_{cmax} = f_{tmax} = f_{max}$

$$f_{max} = \frac{M_{max}c}{I} = \frac{M_{max}}{W_e}$$

$W_e = \frac{I}{c}$ elastik mukavemet momenti



Şekil 9.13 $f_{cmax} = \text{Max basınç gerilmesi}$, $f_{tmax} = \text{Max çekme gerilmesi}$



Şekil 9.14

$$M = \int_A y dF = \int_A y (F_y dA) = \int_A y \left(\frac{y}{c} \right) f_{max} dA$$

$$M = \frac{f_{\max}}{c} \int_A y^2 dA$$

c = gerilmenin hesaplanacağı noktanın elastik tarafsız eksene olan uzaklık

I = Kesitin ağırlık merkezinden geçen eksene(elastik tarafsız eksen) göre hesaplanmış atalet momenti

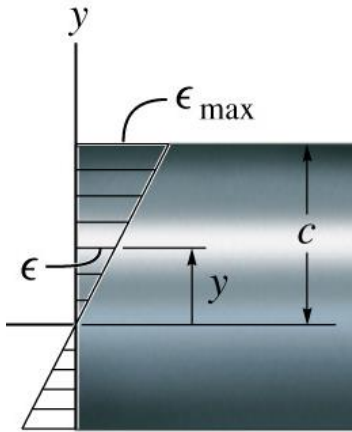
$$M_y = F_y W_e$$

M_y =en dış lifte meydana gelen akma momenti

$$\chi = \frac{\epsilon}{y} = \frac{M}{EI} \quad M = \chi EI$$

χ = Eğrilik

$$M_p = W_p F_y$$



Şekil 9.15

W_p = Plastikleşme mukavemet momenti(plastik tarafsız eksene göre hesaplanır). Plastik tarafsız eksen en kesiti iki eşit alana bölen eksendir Diğer bir ifadeyle W_p plastik tarafsız eksenin altında ve üstünde kalan enkesit parçalarının ağırlık merkezinden plastik tarafsız eksene olan uzaklıkları ile enkesit parçası alanlarının çarpımlarının(alan parçaların statik momentlerinin) toplamıdır.

$$W_p = \sum A_i a_i$$

$$W_p = \frac{M_u}{\phi_b F_y}$$

$$M_u \leq \phi_b M_n, \quad M_y = S_x F_y, \quad M_p = F_y \int_A y dA = F_y W_p$$

$$M_n = M_p = W_p F_y$$

$$M_u \leq \phi_b M_n = 0.9 W_p F_y$$

$$\chi = \frac{\varepsilon}{y} = \frac{M}{EI}$$

$$\text{Eğrilik } \chi = \frac{2\varepsilon}{d} = \frac{M}{EI}$$

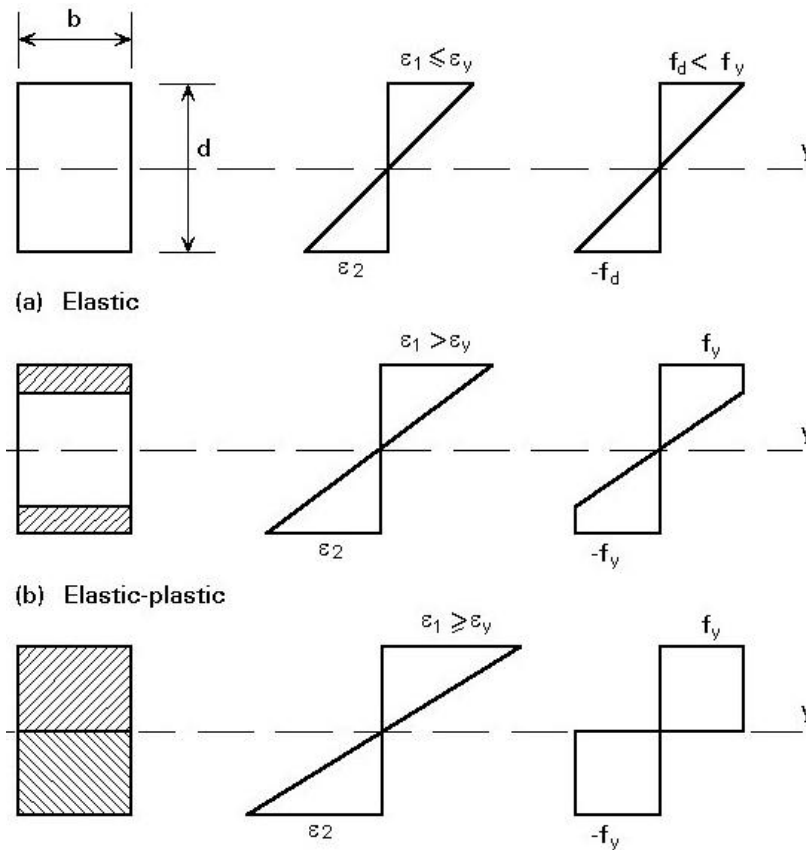
$$M = \chi EI$$

$$F_x = \frac{M y}{I_x} = \frac{M}{W_{ex}}$$

$$M_y = W_{ex} F_y$$

$$M_{px} = W_{px} F_y$$

$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2}$$



Şekil 9.16

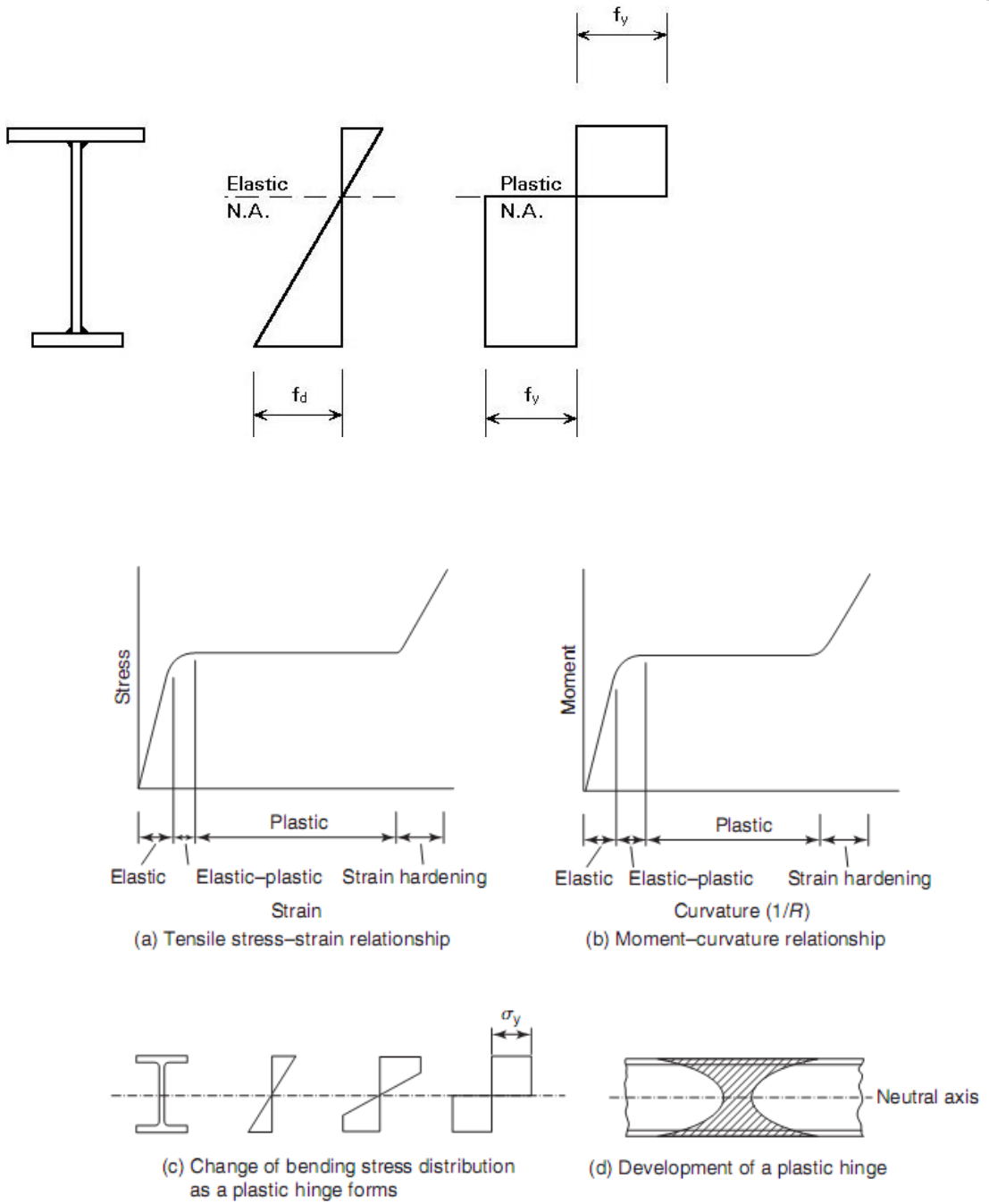
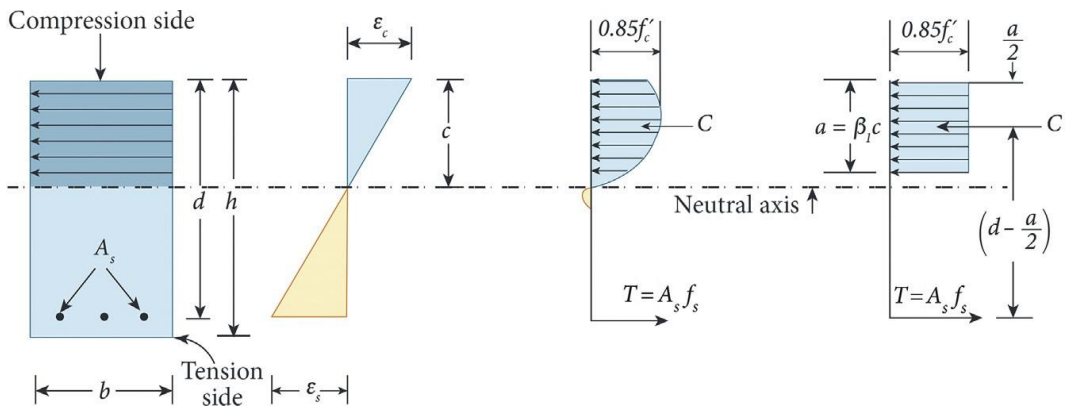
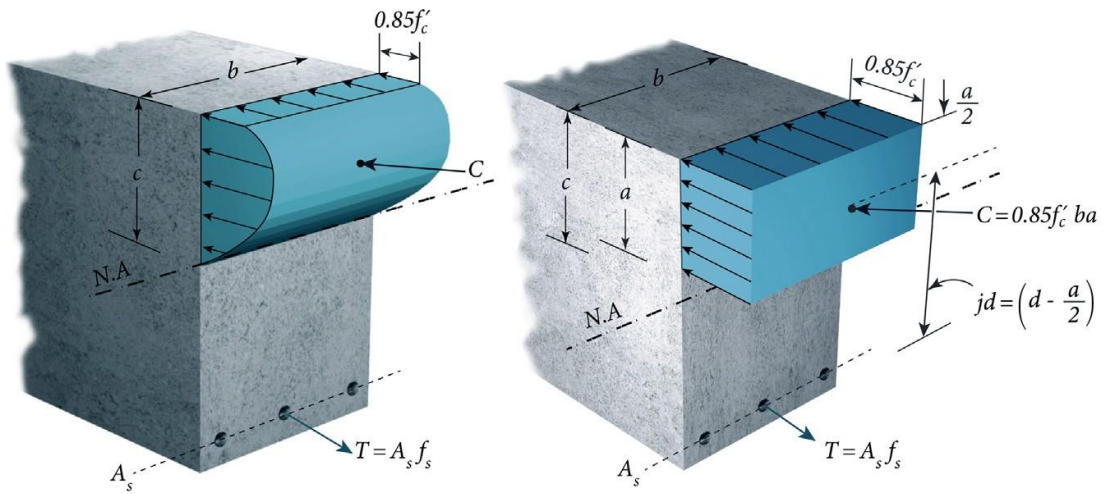
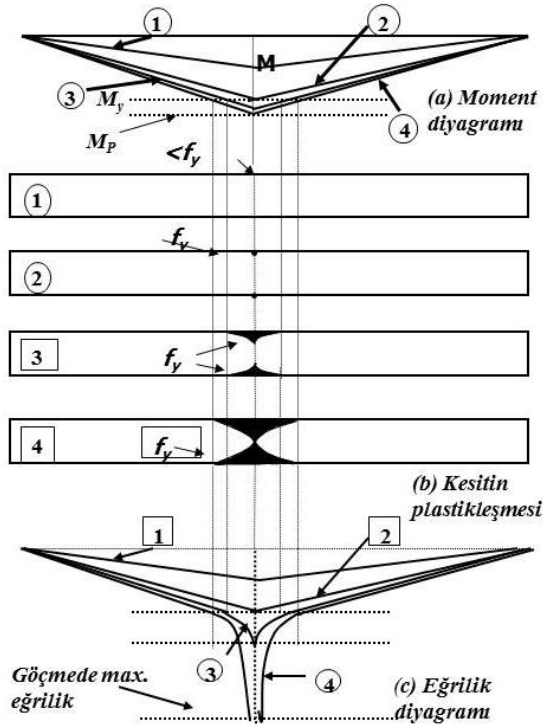
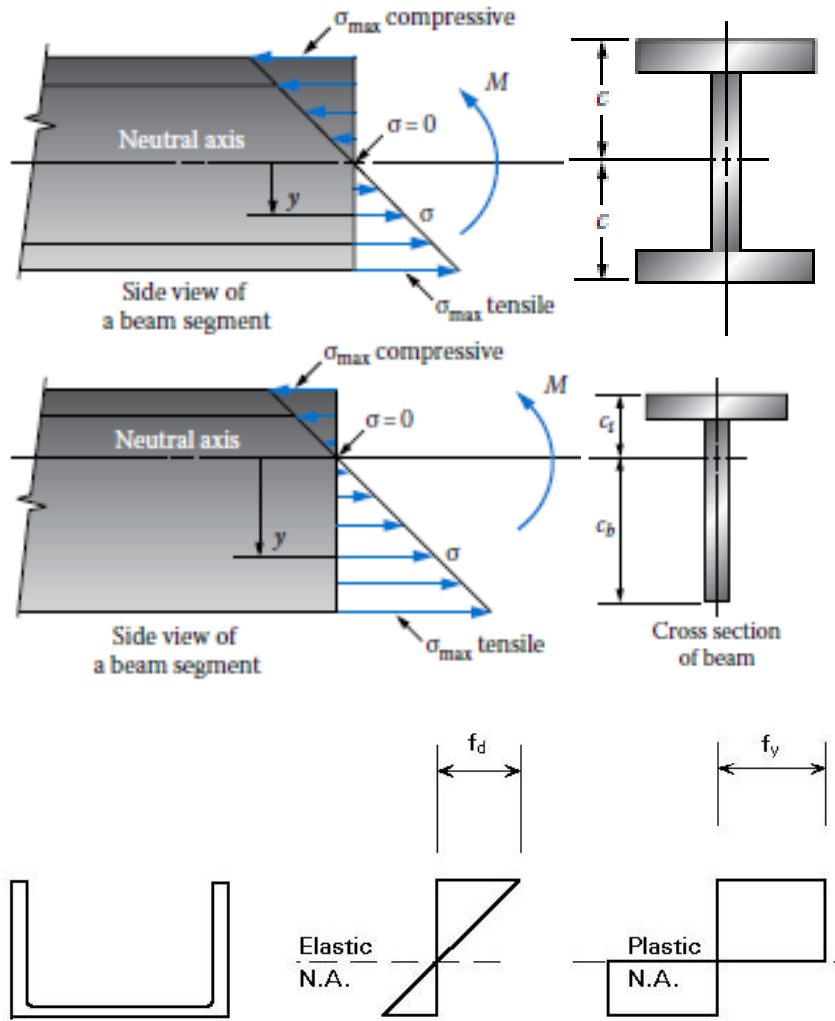


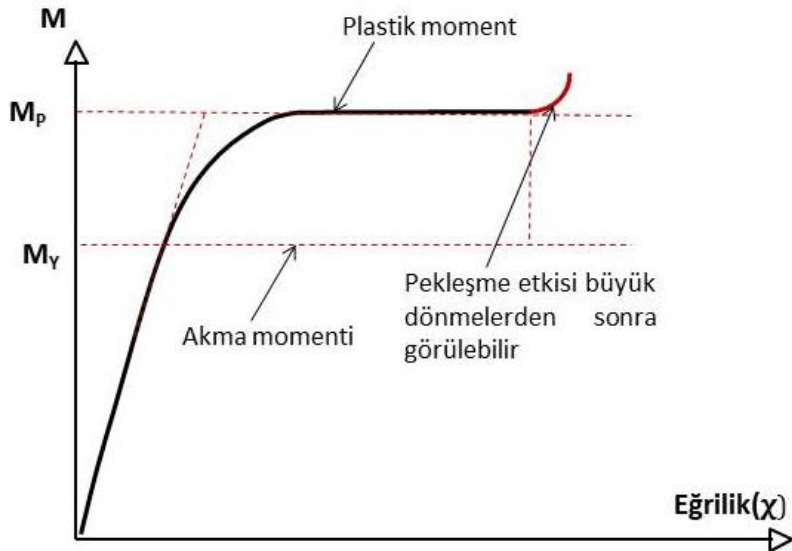
FIGURE 4.3 Development of a plastic hinge





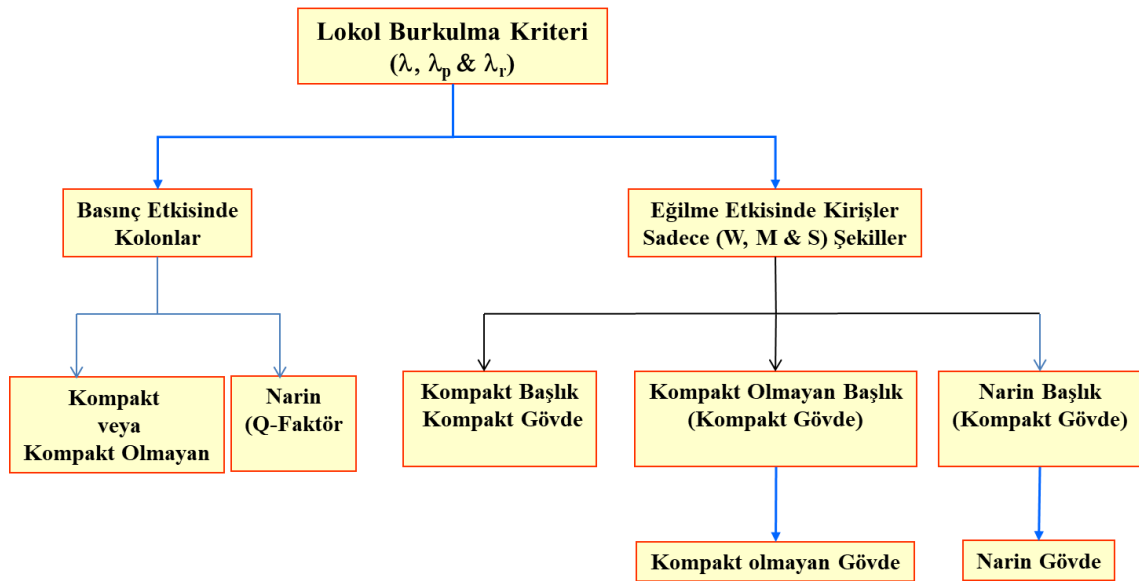
Şekil 9.17

Toplam şekil değiştirmelerin lineer şekil değiştirmelere oranı süneklik oranı olarak tanımlanır. Süneklik oranının büyük olduğu ve lineer olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, lineer olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin *plastik mafsal* adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin lineer-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu hipoteze *plastik mafsal hipotezi* adı verilir



Şekil 9.18 İki ucu sabit mesnetli bir kiriş için moment eğrilik grafiği

9.3 ÇYTY-2016'YA GÖRE EĞİLME ETKİSİNDEKİ ELEMANLARIN HESABI



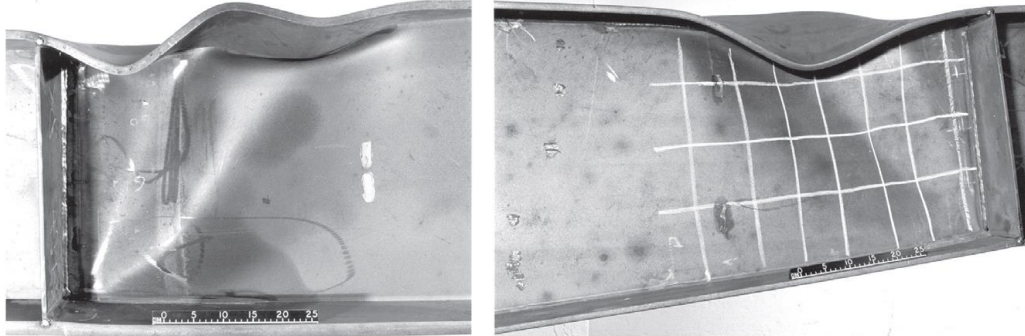
9.4 STABİLİTE

Bir kiriş kesitinde tam plastikleşme şartının sağlanabilmesi için, ancak, maruz kaldığı yükler altında stabilitesinin bozulmamasına bağlıdır. Eğer, yerel ya da tümsel olarak, kiriş stabilitesi bozulacak olursa, kiriş kesiti tam plastikleşmeden taşıma gücünü kaybederek yetersiz hale gelmiş olur. Bu nedenle, kiriş karakteristik moment dayanımı kiriş stabilitesi ile ilgili tanımlanır. Kiriş kesiti tam plastikleştiği zaman karakteristik eğilme momenti dayanımı $M_n = M_p$ olur. Aksi takdirde $M_n < M_p$

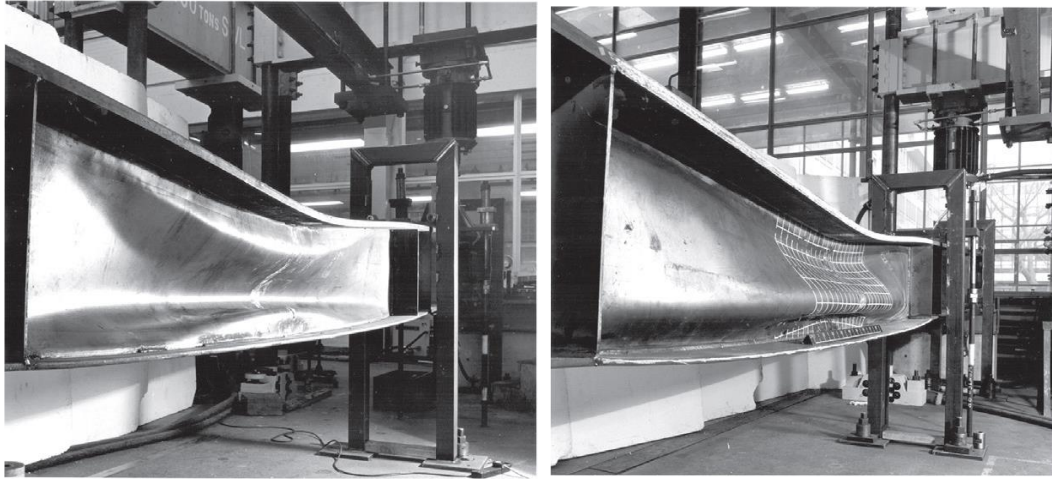
$$L_b \leq L_p \quad \text{ise plastik ve} \quad M_n = M_p$$

$$L_p < L_b \leq L_r \quad \text{ise inelastik ve} \quad M_p > M_n \geq M_r$$

$L_b > L_r$ ise elastik ve $M_n < M_r$

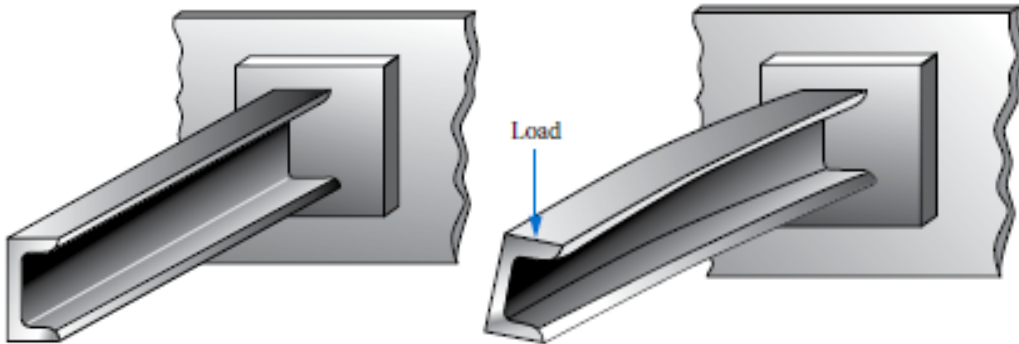


Şekil 5.19 Kirişte yerel burkulma örnekleri(başlık lokal burkulma gövde de buruşma)

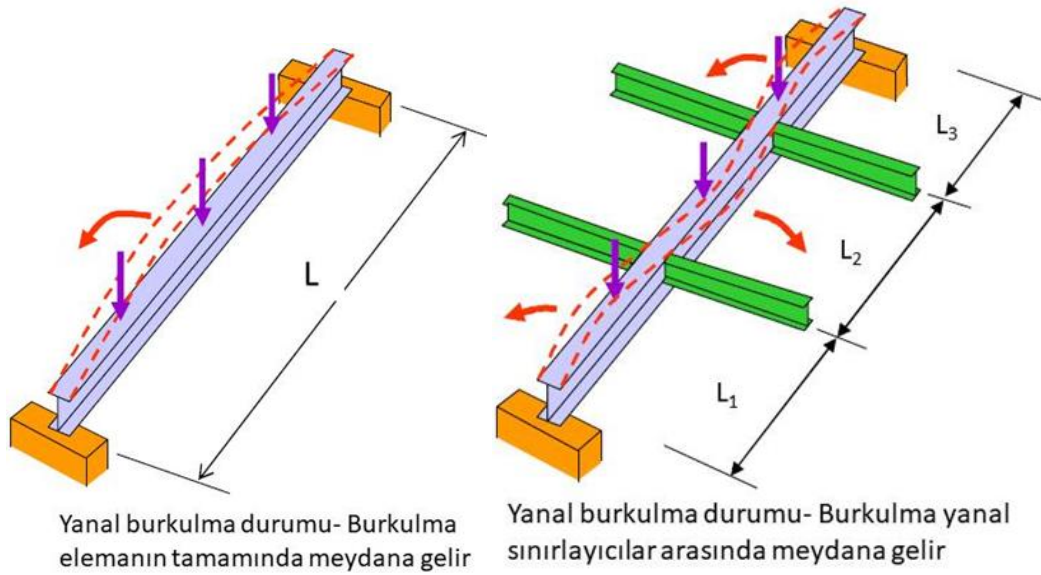


Şekil 9.20 Gövde de lokal burkulma.

Kirişlerin boyutlandırılmasında etken kesit tesirleri moment ve kesme kuvvetidir. Bir kirişte meydana gelen eğilme momenti kiriş kesitinde normal gerilmeye neden olur. Momenti etkime yönüne göre tarafsız eksenin bir tarafında negatif gerilme diğer tarafında da pozitif gerilme meydana gelir. Bu gerilmeler kuvvet çifti şeklinde kesite etki eder. Pozitif gerilme çekme kuvveti, negatif gerilme basınç kuvveti olarak kesite etki eder. İşte bu aksenal basınç kuvveti kirişte burkulmaya neden olur. Yükleme biçimleri, diğer elemanlarla etkileşim kirişte meydana gelen kesit tesirleri, basınç çubuklarında olduğu gibi kirişlerde de değişik stabilite bozukluklarına sebep olur



Şekil 9.21 Konsol kirişte yanal burkulma



Şekil 9.22 Yanal burkulma halinde yanal burkulma boyu

Eğilme momenti etkisindeki enkesitler, yerel burkulma sınır durumu dikkate alındığında, kompakt, kompakt olmayan ve narin enkesitler olarak üçe ayrılırlar. Eğilme momentinin basınç bileşeni etkisindeki hiç bir enkesit parçasının genişlik (çap) / kalınlık oranı, Tablo 5.1 de verilen λ_p sınır değerini aşmayan (kompakt enkesit parçalı) ve başlıkları gövde veya gövdelere sürekli birleştirilen enkesitler kompakt olarak sınıflandırılırlar. Basınç bileşeni etkisindeki en az bir enkesit parçasının genişlik (çap) / kalınlık oranı λ_p sınırını aşan; fakat tüm enkesit parçaları için λ_r değeri aşılmayan enkesitler kompakt olmayan enkesitlerdir. Basınç bileşeni etkisindeki en az bir enkesit parçasının genişlik (çap)/kalınlık oranı, λ_r değerini aşan enkesitler ise narin enkesit olarak tanımlanır.

λ = genişlik (çap) / kalınlık (Tablo 5.1B'e göre hesaplanır)

λ_p = kompakt sınıflandırma için üst sınır (Tablo 5.1B'e göre hesaplanır)

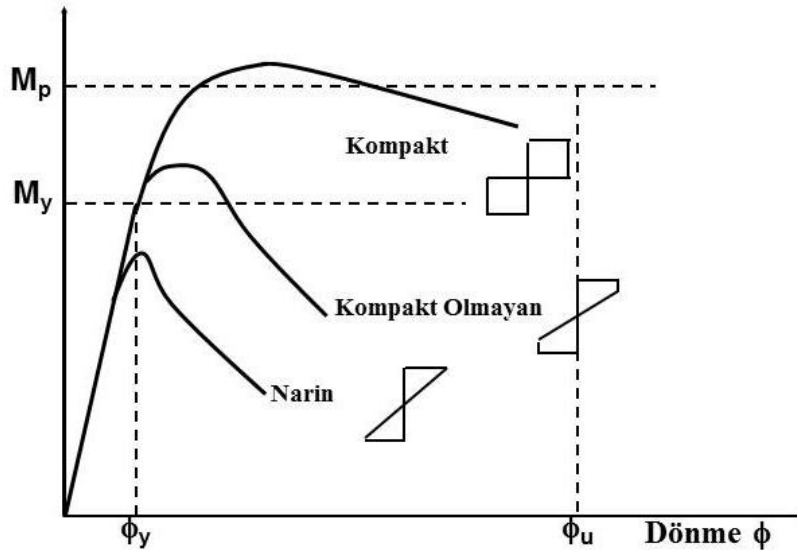
λ_r = kompakt olmayan sınıflandırma için üst sınır (Tablo 5.1B'e göre hesaplanır)

eğer $\lambda \leq \lambda_p$ ve başlık gövdeye sürekli bir şekilde bağlı ise şekil kompakt

$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ ise şekil kompakt değil

$\lambda > \lambda_r$ ise şekil narin

Rijitleştirilmemiş enkesit parçaları ve rijitleştirilmiş enkesit parçaları tanımları ve hangi boyutların genişlik olarak alınacağı aşağıda açıklanmıştır.



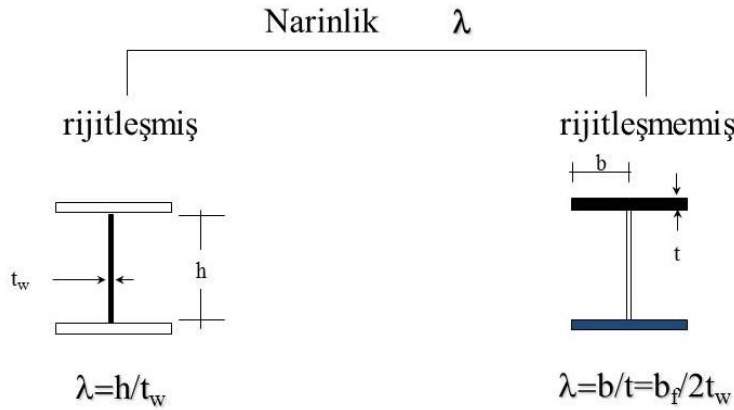
Şekil 9.23

Narin kesitler: malzeme akmadan önce önce enkesit parçalarında burkulma meydana gelir. Enkesitin hiçbir bileşeninde yerel burkulma gerilmesine ulaşmadan önce öngörülen şekil değiştirmeye (genellikle akma şekildeğiştirmesi) ulaşamaz ise, veya enkesitin tüm bileşenleri için burkulma şekildeğiştirmesi akma şekildeğiştirmesinden daha az ise, enkesit narin olarak kabul edilir. Metal levhalar veya levhalar kullanarak soğuk şekillendirilmiş bölümlerin çoğu bu kategoriye girer.

Kompakt kesitler: enkesitte burkulma meydana gelmeden önce malzemede akma meydana gelir. Bir enkesiti meydana getiren tüm parçaların veya noktaların burkulma gerilmesine ulaşmadan önce akma gerilmesine ulaşabileceği enkesitler genellikle "kompakt" olarak adlandırılır. Ancak, artan deformasyonlarla, bazı bileşenler veya noktalar burkulmaya uğrayacak ve "plastik" şekil değiştirmeler oluşmayacaktır. Sıcak haddelenmiş çelik profillerin çoğu bu kategoriye girmektedir.

Plastik kesitler: Burkulma önlenmiş bir enkesitte sadece malzemenin akması ile yetersizlik meydana gelir. Kesit içindeki tüm noktalar ve bileşenler burkulma olmadan yalnızca akma şekildeğiştirme ulaşmakla kalmaz, aynı zamanda bölümdeki tüm noktalar veya bileşenler en azından akma şekildeğiştirmesine ulaşmaya kadar burkulmaya maruz kalmaz. Böyle enkesitler plastik enkesitler olarak adlandırılmaktadır. Sıcak haddelenmiş enkesitlerin bazıları, özellikle ağır H ve benzeri geniş başlıklı I profil enkesitleri veya kalın levhalardan oluşan enkesitler plastik olarak davranabilir.

Rijitleştirilmemiş Enkesit Parçaları: Basınç kuvveti doğrultusuna paralel sadece bir kenarı boyunca enkesitin diğer bir parçası ile bağlanan, basınç etkisindeki enkesit parçaları *rijitleştirilmemiş enkesit parçaları* olarak tanımlanır. Bu parçalarda, aşağıdaki enkesit boyutları *genişlik* olarak alınacaktır.



Şekil 9.24

- (a) I- ve T- enkesitli elemanlarda yarım başlık genişliği.
- (b) Korniyerlerde kol boyu, U- ve Z-profiller için başlık genişliği.
- (c) Levhalarda serbest kenar ile en yakın komşu bulon veya kaynak sırası arasındaki uzaklık.
- (d) T-enkesitli elemanların gövdeleri için toplam gövde yüksekliği.

Rijitleştirilmiş Enkesit Parçaları: Basınç kuvveti doğrultusuna paralel iki kenarı boyunca enkesitin diğer parçaları ile bağlanan, basınç etkisindeki enkesit parçaları *rijitleştirilmiş enkesit parçaları* olarak tanımlanır. Bu parçalarda, aşağıdaki enkesit boyutları *genişlik* olarak alınacaktır. (a) Hadde profillerinin gövdeleri için h , başlıklar arasındaki uzaklıktan eğrilik yarıçaplarının çıkarılması ile bulunan yükseklik, h_c ise ağırlık merkezi ile basınç başlığı tarafının gövde parçası üzerindeki eğrilik bitim noktası arasındaki uzaklığın iki katı.

(b) Bulonlu yapma enkesitlerin gövdeleri için h , bulon sıraları arasındaki net yükseklik, kaynaklı yapma enkesitler için h ise, başlık iç yüzeyleri arasındaki net yükseklik. Simetrik olmayan bulonlu yapma enkesitlerde, h_c , ağırlık merkezi ile basınç başlığı tarafındaki en yakın bulon sırası arasındaki uzaklığın veya kaynak kullanılması halinde ağırlık merkezi ile basınç başlığının iç yüzü arasındaki uzaklığın iki katı. Simetrik olmayan bulonlu yapma enkesitlerde, h_p , plastik tarafsız eksen ile basınç başlığı tarafındaki en yakın bulon sırası arasındaki uzaklığın veya kaynak kullanılması halinde plastik tarafsız eksen ile basınç başlığının iç yüzü arasındaki uzaklığın iki katı.

(c) Yapma enkesitlerin başlık takviye levhaları ve diyafram levhaları için, komşu bulon sıraları veya kaynak çizgileri arasındaki b genişliği.

(d) Dikdörtgen kutu enkesitlerin başlıklarında, başlık levhasının gövde levhalarına bağlandığı eğrilik bitim noktaları arasındaki b genişliği, gövdelerinde ise, gövde levhasının başlık levhalarına bağlandığı eğrilik bitim noktaları arasındaki h yüksekliği. Eğrilik yarıçaplarının bilinmemesi halinde, b ve h ölçüleri, kutu enkesitin ilgili doğrultudaki dış boyutlarından et kalınlığının üç katı çıkarılarak belirlenir. Boru ve kutu enkesitli elemanların kesit hesaplarında *tasarım et kalınlığı* gözönüne alınır. Tasarım et kalınlığı, t , tozaltı ark kaynağı ile oluşturulan elemanlarda nominal et kalınlığına, elektrik direnç kaynaklı elemanlarda ise nominal et kalınlığının 0.93 katına eşit olarak alınacaktır.

Başlık kalınlıkları değişken olan enkesitlerde ortalama kalınlık, başlığın serbest ucu ile gövde levhasına birleşen kenarı arasındaki orta noktanın kalınlığı olarak alınacaktır.

Bir kiriş aşağıdaki şartlardan biri ya da birkaçının aynı anda gerçekleşmesi durumunda göçer.

-Kesit tam plastikleşerek ve $M=M_p$ olduğunda,

-Elastik ve elastik ötesi yanal burulmalı burkulma(Lateral Torsional Buckling-LTB)durumunda,

- Elastik ve elastik ötesi başlık ya da başlıkları yanal burkulması(Flange Lokal Buckling-FLB) durumunda,

- Elastik ve elastik ötesi gövdenin yerel burkulması(Web Lokal Buckling-WLB) durumunda.

Eğilme etkisi altında kesitleri yukarıda belirtildiği gibi kompakt, kompakt olmayan ve narin enkesitler olarak üç gruba ayırarak boyutlandırma formülleri verilebilir. ÇYTY-2016 kısmen, diğer pek çok kaynak, kirişlerin boyutlandırmasını bu şekilde vermektedir. Biz burada kesit tipine göre bir sınıflandırma yaparak gerekli boyutlandırma formüllerini vereceğiz.

NOT: Tüm formüllerde c indisi: compression, t indisi: tension, f indisi: flange, w indisi: web, e indisi: elastik, p indisi: plastik, y indisi: yield kelimelerini ifade etmektedir.

Tablo 9.2 Kirişlerde Tasarım Sınır Durumları

KESİT TİPİ	EĞİLME EKSENİ	YEREL BURKULMA GRUBU	SINIR DURUMU	
5.5 ÇİFT SİMETRİ EKSENLİ I-ENKESİTLER	Kuvvetli Eksen	Kompakt Başlıklı-Kompakt Gövdeli	Akma Yanal Burulmalı Burkulma	
		Kompakt Olmayan veya Narin Başlıklı-Kompakt Gövdeli	Yanal Burulmalı Burkulma Basınç Başlığı Yerel Burkulma	
		Kompakt, Kompakt Olmayan ve Narin Başlıklı-Kompakt Olmayan Gövdeli	Basınç Başlığı Akma Yanal Burulmalı Burkulma	
			Basınç Başlığı Yerel Burkulma	
		Kompakt, Kompakt Olmayan veya Narin Başlıklı-Narin Gövdeli	Basınç Başlığı Akma Yanal Burulmalı Burkulma	
			Basınç Başlığı Yerel Burkulma	
		Zayıf Eksen		Akma Basınç Başlığı Burkulma
		5.6 TEK SİMETRİ EKSENLİ I-ENKSİTLER	Kuvvetli Eksen	Kompakt, Kompakt Olmayan ve Narin Başlıklı-Kompakt ve Kompakt Olmayan Gövdeli
	Basınç Başlığı Yerel Burkulma			
	Çekme Başlığı Akma			
Kompakt, Kompakt Olmayan ve Narin Başlıklı-Narin Gövdeli	Basınç Başlığı Akma Yanal Burulmalı Burkulma			
	Basınç Başlığı Yerel Burkulma			
	Çekme Başlığı Akma			
Zayıf Eksen			Akma Başlık Yerel Burkulma	
U VE ÇİFT U ENKESİTLER	Kuvvetli Eksen			Akma Yanal Burulmalı Burkulma
			Basınç Başlığı Yerel Burkulma	
	Zayıf Eksen		Akma	
			Basınç Başlığı	

			Burkulma
KUTU ENKESİTLER			Akma Sınır Durumu
			Başlık Yerel Burkulma
			Gövde Yerel Burkulma
BORU ENKESİTLER			Akma
			Yerel Burkulma
T-ENKESİT VE ÇİFT KÖŞEBENT	Kuvvetli Eksen		Akma
			Yanal Burulmalı Burkulma
			T'nin Başlık Yerel Burkulma
		Eğilmeli Basıncıta T'nin Gövdesi için Yerel Burkulma	
	Zayıf Eksen		Akma Sınır Durumu
			Başlık Yerel Burkulma
TEK KÖŞEBENT			Akma
			Yanal Burulmalı Burkulma
			Kol Yerel Burkulma
DİKDÖRTGEN KESİTLER			Akma
			Başlık Yerel Burkulma
DAİRE KESİTLER			

9.5 Eğilme Momenti Etkisindeki Elemanların Tasarım Şeması

Eğilme Momenti Etkisindeki Elemanların enkesit alanı, atalet momentleri, atalet yarıçapları gibi kesit karakteristiklerinin belirlenmesi

Yerel burkulma sınır durumu için enkesit sınıflandırılması. Bunun için, eğilme elemanı enkesitinin $(\lambda, \lambda_r, \lambda_p)$ narinlikleri Tablo 5.1B'den faydalanarak hesaplanır.

- 1-Eğer $\lambda \leq \lambda_p$ ve başlık gövdeye sürekli bir şekilde bağlı ise enkesit kompakt
- 2- $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ ise enkesit kompakt değil
- 3- $\lambda > \lambda_r$ ise enkesit narin

Yerel burkulma sınır durumu ve enkesit geometrisine göre ÇYTY-2016 Bölüm 9'dan (Bölüm 9.2-9.11'e kadar) veya ÇYTY-Ders Notu Bölüm 9'dan (Bölüm 9.5-9.14'e kadar) ilgili bölüme gidilerek önce L_b, L_r, L_p değerleri ve sonra bunlara bağlı olarak her bir burkulma sınır durumları için M_n **karakteristik** Eğilme momenti dayanımları hesaplanır. Her bir burkulma sınır durumları için hesaplanan M_n **karakteristik Eğilme momenti dayanımlarının** en küçüğü aranan M_n değeridir.

YDKT İÇİN

Dış yük birleşimleri esas olarak M_u değerini hesaplayınız

$$M_u \leq \phi_b M_n \quad \text{Kontrol}$$

GKT İÇİN

Dış yük birleşimleri esas olarak M_a değerini hesaplayınız

$$M_a \leq M_n / \Omega_b \quad \text{Kontrol}$$

Eğilme için, gerekli ve mevcut dayanım, moment dayanımıdır.

Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarımda (YDKT):

$$\phi_b M_n \geq M_u$$

$$\phi_b = 0.90$$

Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT):

$$\frac{M_n}{\Omega_b} \geq M_a \quad \Omega_b = 1.67$$

Burada;

M_n = Karakteristik moment dayanımı

M_u =YDKT'ye göre hesaplanmış yüklerden dolayı elemanda meydana gelen max. moment yani gerekli moment dayanımı

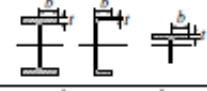
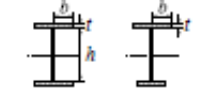
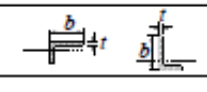
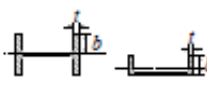
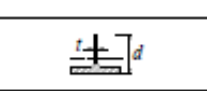
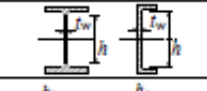
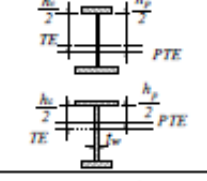
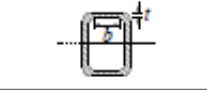


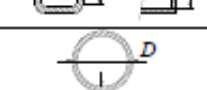
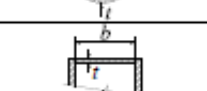
M_u = GKT'ye göre hesaplanmış yüklerden dolayı elemanda meydana gelen max. moment yani gerekli moment dayanımı

$\phi_b M_n$ = Tasarım eğilme momenti dayanımı

$$\frac{M_n}{\Omega_b} = \text{Güvenli eğilme momenti dayanımı}$$

Eğilme elemanının karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , olası her bir göçme sınır durumu için belirlenecek dayanımların en küçüğü olarak alınır. Bir kiriş hesabında eğilme etkisi(elastik, plastik stabilite), kesme etkisi, yorulma ve mesnet hareketi sınır durumları ile karşılaştırılır.

Tablo 3.1B Eğilme Momentinin Basınç Bileşeni Etkisindeki Enkesit Parçaları için Genişlik/Kalınlık Oranları

	Durum	Tanım	Genişlik/ Kalınlık Oranı, λ	Genişlik / Kalınlık Oranı Sınır Değerleri		Enkesit
				λ_p (kompakt / kompakt olmayan)	λ_c (kompakt olmayan / narin)	
Rijitleştirilmemiş Enkesit Parçası	10	Hadde I-profiller, U-profiller ve T-enkesitli elemanların başlıkları	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Tek ve çift simetri eksenli yapma I-enkesitli elemanların başlıkları	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ ^{(a) [b]}	
	12	Tek korniyerlerin kolları	b/t	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Zayıf eksen etrafında eğilme etkisindeki tüm I-enkesitli elemanlar ve U-profiller	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	T-enkesitli elemanların gövdeleri	d/t	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Rijitleştirilmiş Enkesit Parçası	15	U-profillerin ve çift simetri eksenli I-profillerin gövdeleri	h/t_w	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Tek simetri eksenli I-enkesitli elemanların gövdeleri	h_c/t_w	$\frac{h_c \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(0.54 \frac{M_x}{M_y} - 0.09\right)} \leq \lambda_c$ ^(c)	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Üniform cidar kalınlıklı kutu enkesitli elemanların başlıkları	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Takviye levhaları ve birleşim araçları arasında kalan diyafram levhaları	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Kutu enkesitli elemanların gövdeleri	h/t	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20	Boru enkesitli elemanlar	D/t	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$	
	21	Yapma kutu enkesitlerin başlıkları	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

[a]: ve $k_c = 4/\sqrt{h/t_w}$ $0.35 \leq k_c \leq 0.76$

[b] : Narin gövdeli I-enkesitli elemanlar için ve kompakt veya kompakt olmayan gövdeli, $W_{ext}/W_{exc} \geq 0.7$ olan, yapma I-enkesitli elemanların kuvvetli eksenleri etrafında eğilme etkisinde olması halinde, $F_L = 0.7F_y$

Kompakt veya kompakt olmayan gövdeli, $W_{ext}/W_{exc} < 0.7$ olan, yapma I-enkesitli elemanların kuvvetli eksenleri etrafında eğilme etkisinde olması halinde ise,

$F_L = F_y$ $W_{ext}/W_{exc} \geq 0.5F_y$

[c] : M_y , en dış lifin akmasına karşı gelen eğilme momenti ve M_p , plastik eğilme momenti

$$M_p = F_y W_{px}$$

E : Çelik elastisite modülü, (200000 MPa).

F_y : Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi.

W_{ext} : x-ekseni etrafında çekme bölgesi için elastik mukavemet momenti.

W_{exc} : x-ekseni etrafında basınç bölgesi için elastik mukavemet momenti.

W_{px} : x-eksenine göre plastik mukavemet momenti

9.6. ÇİFT SİMETRİ EKSENLİ I-ENKESİT KİRİŞLER

9.6.1 Kuşvetli Eksen Eğilmesi

1. Kompakt Başlıklı-Kompakt Gövdeli

a-Akma sınır durumu:

$$M_n = M_p = F_y W_{px}$$

W_{px} = x eksenine göre plastikleşme mukavemet momenti

b-Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu:

$$\begin{aligned} L_b \leq L_p & \quad \text{ise} & \quad M_n = M_p \\ L_p < L_b < L_r & \quad \text{ise} & \quad M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \\ L_p > L_r & \quad \text{ise} & \quad M_n = F_{cr} W_{ex} \leq M_p \end{aligned}$$

$$M_r = 0.7 F_y W_{ex}$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{(L_b / i_{ts})^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{W_{ex} h_o} \left(\frac{L_b}{i_{ts}} \right)^2}$$

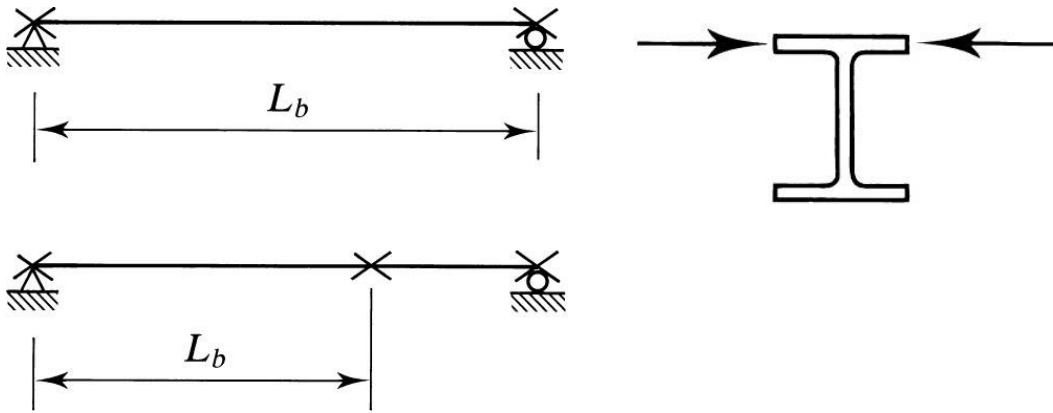
$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = 1.95 i_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{W_{ex} h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{W_{ex} h_o} \right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E} \right)^2}}$$

$$i_{ts}^2 = \sqrt{\frac{I_y C_w}{W_{ex}}} \quad \text{ve} \quad c = 1$$

h_o = Kirişin başlıkları ağırlık merkezleri arası mesafe

L_b = Kirişin yanal tutulması ile bölünmesi sonucunda elde edilen kiriş parçası



Şekil 9.25

M_n : Karakteristik eğilme momenti dayanımı.

M_p : Plastik eğilme momenti.

F_y : Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi

W_{ex} : x-ekseni etrafında elastik mukavemet momenti.

E : Yapısal çelik elastisite modülü (200000 MPa)

I_y : y- eksteni etrafında atalet momenti.

L_b : Basınç başlığında yanal yerdeğiştirmenin ve enkesit burulmasının önleildiği noktalar arasındaki eleman uzunluğu (stabilite bağlantısı ile desteklenmeyen eleman uzunluğu).

L_p : Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk.

L_r : Elastik olmayan yanal burulmalı burkulmada sınır uzunluk.

i_y : y-eksenine göre atalet yarıçapı.

i_{ts} : Etkin atalet yarıçapı.

J : Burulma sabiti.

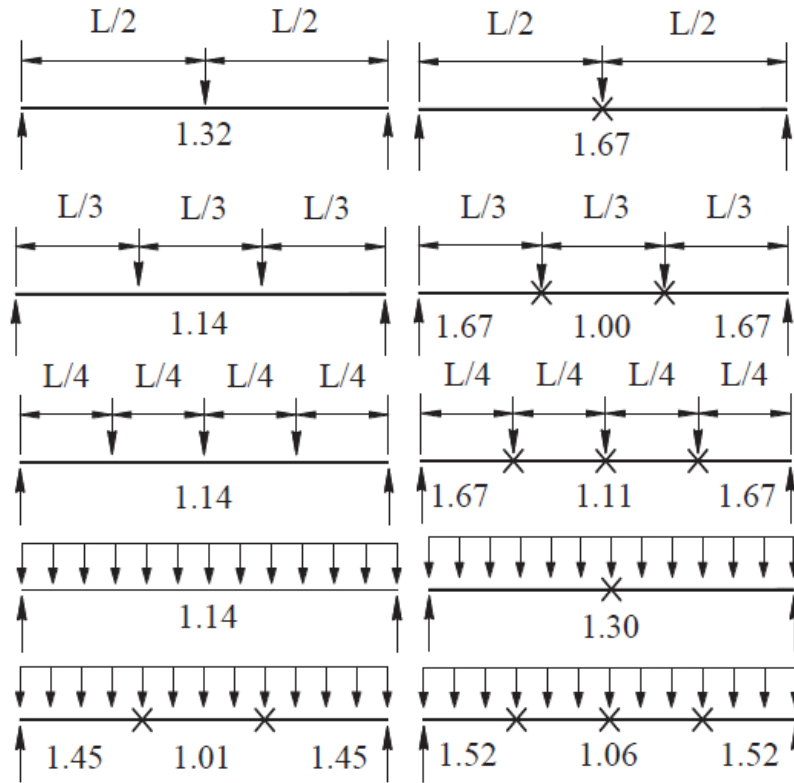
C_w : Çarpılma sabiti.

h_o : Enkesit başlıklarının ağırlık merkezleri arasındaki uzaklık (= $d - t_f$).

C_b : Denk.(6.1) ile tanımlanan moment düzeltme katsayısı.

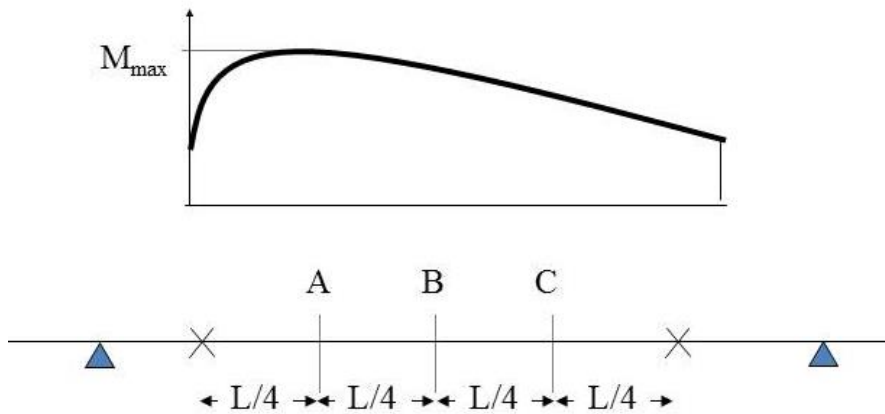
C_b moment düzeltme katsayısının hesabı:

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} R_m \leq 3.0$$

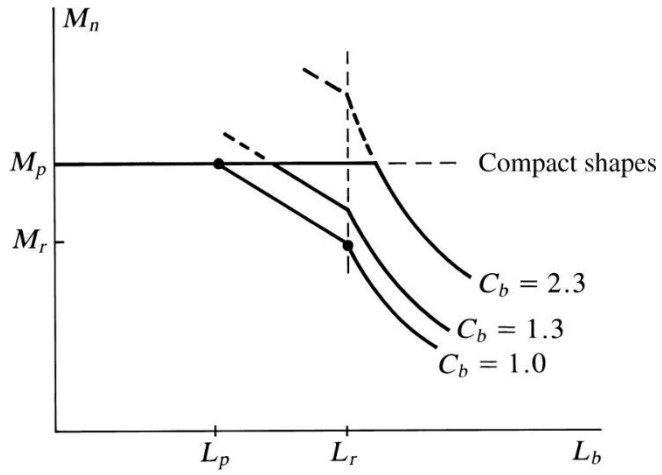


Not: Tüm düzenlemelerde mesnetlerde de yanal destek sağlanmaktadır

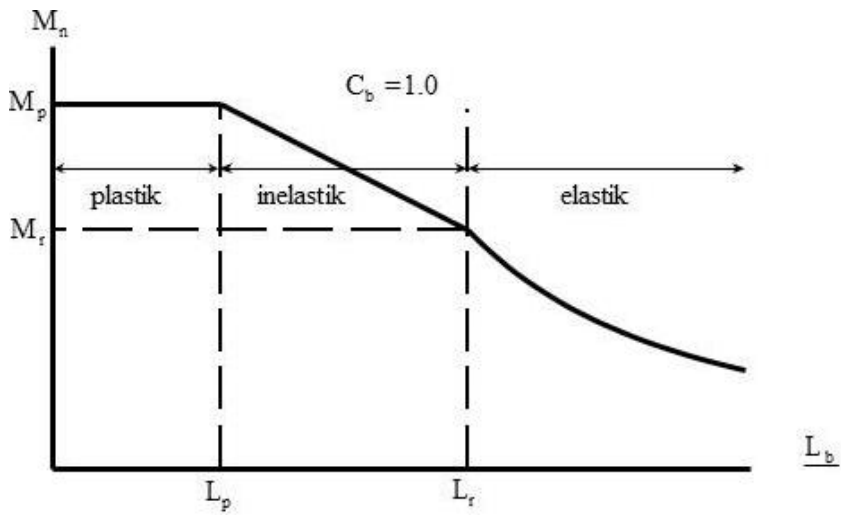
Şekil 9.26 Farklı aralıklı yanal destek düzenlemelerine göre C_b moment düzeltme katsayısı



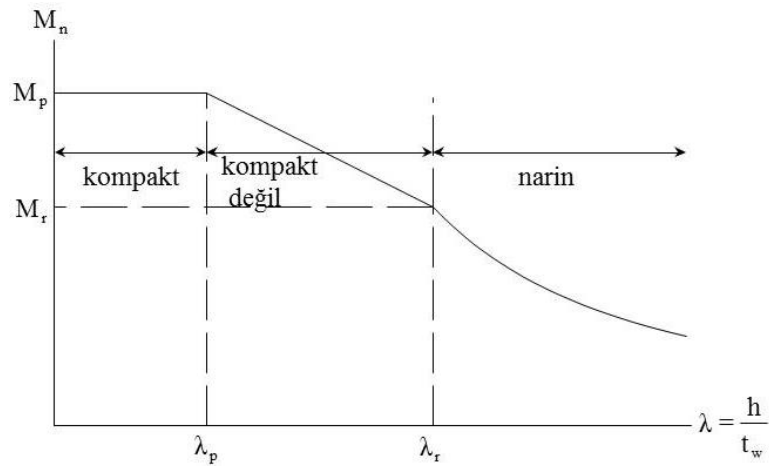
Şekil 9.27



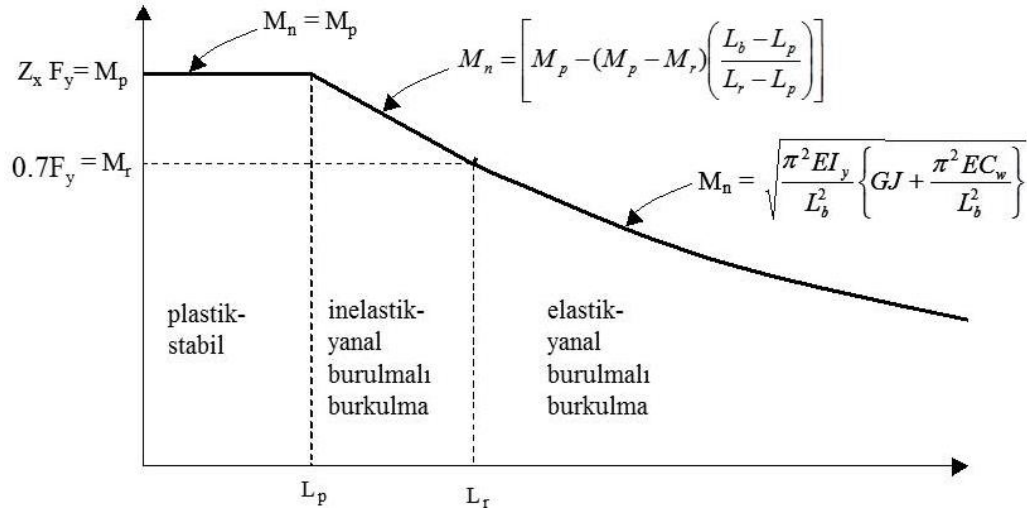
Şekil 9.28



Şekil 9.29



Şekil 9.30



Şekil 9.31

2. Kompakt Olmayan veya Narin Başlıklı-Kompakt Gövdeli

a-Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

$$L_b \leq L_p \quad \text{ise} \quad M_n = M_p$$

$$L_p < L_b \leq L_r \quad \text{ise} \quad M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \leq M_p$$

$$L_b > L_r \quad \text{ise} \quad M_n = F_{cr} W_{ex} \leq M_p$$

b-Basınç Başlığı Lokal Burkulma Sınır Durumu

$$\text{Kompakt Olmayan Başlıklar için: } M_n = M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}$$

$$\text{Narin Başlıklar için: } M_n = \frac{0.9E k_c W_{ex}}{\lambda_f^2}$$

λ_f : Enkesitin başlık parçası narinliği. (Tablo 6.1).

λ_{pf} : Kompakt başlık parçası için narinlik sınır değeri. (Tablo 6.1B).

λ_{rf} : Kompakt olmayan başlık parçası için narinlik sınır değeri. (Tablo 6.1B).

k_c : Rijitleştirilmemiş narin elemanlar için katsayı. (Tablo 6.1).

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$$

$$\lambda_{pf} = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{rf} = 1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ (Hadde)}$$

$$\lambda_{rf} = 0.95 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ (kaynaklı)} \quad k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}, \quad 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

3. Kompakt, Kompakt Olmayan ve Narin Başlıklı-Kompakt Olmayan Gövdeli

a-Basınç Başlığı Akma Sınır Durumu

$$M_n = R_{pc} M_y$$

R_{pc} =Gövde plastisite faktörüdür.

$$I_{yc} / I_y \leq 0.23 \quad \text{ise} \quad R_{pc} = 1$$

$$\lambda_w = \frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw} \text{ ve } I_{yc} / I_y > 0.23 \quad \text{ise} \quad R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}}$$

$$\lambda_{pw} < \lambda_w \leq \lambda_{rw} \text{ ve } I_{yc} / I_y > 0.23 \quad \text{ise} \quad R_{pc} = \left[\frac{M_p}{M_{yc}} - \left(\frac{M_p}{M_{yc}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_y}$$

$$M_p = W_{px} F_y \leq 1.6 W_{ex} F_y$$

$$M_{yc} = W_{exc} F_y$$

b-Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

$$L_b \leq L_p \quad \text{ise} \quad M_n = R_{pc} M_y$$

$$L_p < L_b \leq L_r \quad \text{ise} \quad M_n = \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L S_{xc}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \leq M_p$$

$$L_b > L_r \quad \text{ise} \quad M_n = F_{cr} W_{ex} \leq R_{pc} M_y$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{(L_b / i_{ts})^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{W_{exc} h_o} \left(\frac{L_b}{i_{ts}} \right)^2}$$

$$L_p = 1.1 i_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = 1.95 i_t \frac{E}{F_L} \sqrt{\frac{J}{W_{exc} h_o} + \sqrt{\left(\frac{J}{W_{exc} h_o} \right)^2 + 6.76 \left(\frac{F_L}{E} \right)^2}}$$

$$i_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12\left(1 + \frac{1}{6} \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}}\right)}}$$

$$i_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12\left(\frac{h_0}{d} + \frac{1}{6} a_w \frac{h}{h_0 d}\right)}}$$

$$I_{yc} / I_y > 0.23 \quad \text{ise } c=1$$

$$I_{yc} / I_y \leq 0.23 \quad \text{ise } c=0$$

$$F_L = 0.7F_y$$

I_{yc} =zayıf eksen etrafında basınç başlığının atalet momenti

I_y =zayıf eksen etrafında tüm kesitin atalet momenti

c-Basinç Başlığı Lokal Burkulma Sınır Durumu

Başlıklar kompakt ise

$$M_n = R_{pc} M_y$$

Başlıklar kompakt değilse

$$M_n = \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L S_{xc}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \leq M_p$$

Başlıklar narinse

$$M_n = \frac{0.9 E k_c W_{exc}}{\lambda_f^2}$$

$$F_L = 0.5F_y$$

R_{pc} =Gövde plastikleşme faktörü

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \quad , \quad 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f}$$

λ_{pf} = Kompakt başlık için narinlik sınırı

Prof.Dr. Zeki AY

Çelik Yapılar/2022

λ_{rf} = Kompakt olmayan başlık için narinlik sınırı

4. Kompakt, Kompakt Olmayan ve Narin Başlıklı-Narin Gövdeli

a-Basınç Başlığı Akma Sınır Durumu

$$M_n = R_{pg} F_y W_{exc}$$

R_{pg} = Eğilme dayanımı indirgeme faktörü

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300a_w} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0$$

$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \leq 1.0$$

b-Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

$$M_n = R_{pg} F_{cr} W_{exc}$$

F_{cr} = Kritik yanal burulmalı burkulma gerilmesi

$$L_b \leq L_p \quad \text{ise} \quad F_{cr} = F_y$$

$$L_p < L_b \leq L_r \quad \text{ise} \quad F_{cr} = C_b \left[F_y - (0.3F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y$$

$$L_b > L_r \quad \text{ise} \quad F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{(L_b / i_t)^2}$$

$$L_p = 1.1 i_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = \pi i_t \sqrt{\frac{E}{0.7 F_y}}$$

$$i_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \right)}}$$

$$i_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(\frac{h_0}{d} + \frac{1}{6} a_w \frac{h}{h_0 d} \right)}}$$

c-Basınç Başlığı Yerel Burkulma Sınır Durumu

$$M_n = R_{pg} F_{cr} W_{exc}$$

Başlıklar kompakt ise $F_{cr} = F_y$

Başlıklar kompakt değil ise $F_{cr} = C_b \left[F_y - (0.3F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y$

Başlıklar narin ise $F_{cr} = \frac{0.9Ek_c}{\left(\frac{b_f}{2t_f} \right)^2}$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}, \quad 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f}$$

λ_{pf} = Kompakt başlık için narinlik sınırı

λ_{rf} = Kompakt olmayan başlık için narinlik sınırı

9.6.2 Zayıf Eksen Eğilmesi

a-Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = F_y W_{py} = 1.6F_y W_{ey}$$

b-Başlık yerel burkulma sınır durumu

Gövde Kompakt ise:

Başlıklar kompakt ise $M_n = M_p$

Başlıklar kompakt değil ise

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ey}) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right]$$

Başlıklar narin ise $M_n = F_{cr} W_{ey}$

$$M_n = \frac{0.9E}{\lambda_f^2} \quad \lambda_f = \frac{b_f}{2t_f}$$

9.7. TEK SİMETRİ EKSENLİ I-ENKESİT KİRİŞLER

9.7.1 Kuvvetli Eksen Eğilmesi

1. *Kompakt, Kompakt Olmayan, Narin Başlıklı-Kompakt ve Kompakt Olmayan Gövdeli*

a-Basınç Başlığı Akma Sınır Durumu

$$M_n = R_{pc} M_{yc}$$

R_{pc} =Plastisite faktörü

$$I_{yc} / I_y \leq 0.23 \quad \text{ise} \quad R_{pc} = 1$$

$$\lambda_w = \frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw} \quad \text{ve} \quad I_{yc} / I_y > 0.23 \quad \text{ise} \quad R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}}$$

$$\lambda_{pw} < \lambda_w \leq \lambda_{rw} \quad \text{ve} \quad I_{yc} / I_y > 0.23 \quad \text{ise} \quad R_{pc} = \left[\frac{M_p}{M_{yc}} - \left(\frac{M_p}{M_{yc}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_y}$$

$$M_p = W_{px} F_y \leq 1.6 W_{exc} F_y$$

$$M_{yc} = W_{exc} F_y$$

M_{yc} = Basınç başlığı akma momenti

b-Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

$$L_b \leq L_p \quad \text{ise} \quad M_n = R_{pc} M_y$$

$$L_p < L_b \leq L_r \quad \text{ise} \quad M_n = \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L W_{exc}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_{pc} M_{yc}$$

$$L_b > L_r \quad \text{ise} \quad M_n = F_{cr} W_{exc} \leq R_{pc} M_{yc}$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{(L_b / i_t)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{W_{exc} h_o} \left(\frac{L_b}{i_{ts}} \right)^2}$$

$$i_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \right)}}$$

$$i_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12\left(\frac{h_0}{d} + \frac{1}{6}a_w \frac{h}{h_0 d}\right)}}$$

$$I_{yc} / I_y > 0.23 \quad \text{ise } c=1$$

$$I_{yc} / I_y \leq 0.23 \quad \text{ise } c=0$$

$$F_L = 0.7F_y$$

I_{yc} = zayıf eksen etrafında basınç başlığının atalet momenti

I_y = zayıf eksen etrafında tüm kesitin atalet momenti

$$a_w = \frac{h_e t_w}{b_{fc} t_{fc}} \leq 1.0$$

$$L_p = 1.1i_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

W_{exc} = x eksenine göre basınç başlığı elastik mukavemet momenti

W_{ext} = x eksenine göre çekme başlığı elastik mukavemet momenti

$$\frac{W_{ext}}{W_{exc}} \geq 0.7 \quad \text{ise } F_L = 0.7F_y$$

$$\frac{W_{ext}}{W_{exc}} < 0.7 \quad \text{ise } F_L = F_y \frac{W_{ext}}{W_{exc}} \geq 0.5F_y$$

$$L_r = 1.95i_t \frac{E}{F_L} \sqrt{\frac{J}{W_{exc} h_o} + \sqrt{\left(\frac{J}{W_{exc} h_o}\right)^2 + 6.76\left(\frac{F_L}{E}\right)^2}}$$

R_{pc} =Gövde plastikleşme faktörü

c-Basınç Başlığı Yerel Burkulma Sınır Durumu

$$\text{Başlıklar kompakt} \quad \text{ise} \quad M_n = R_{pc} M_{yc}$$

Başlıklar kompakt değil ise

$$M_n = M_n = R_{pc} M_{yc} - \left(R_{pc} M_{yc} - F_L W_{ex} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$$

Başlıklar narin ise $M_n = M_n = \frac{0.9E k_e W_{exc}}{\lambda_f^2}$

d-Çekme Başlığı Akma Sınır Durumu

$$W_{ext} \geq W_{exc} \quad \text{ise} \quad M_n = M_p$$

$$W_{ext} < W_{exc} \quad \text{ise} \quad M_n = R_{pt} M_p$$

$$\lambda_w \leq \lambda_{pw} \quad \text{ise} \quad R_{pt} = \frac{M_p}{M_{yt}}$$

$$\lambda_{pw} < \lambda_w \leq \lambda_{rc} \quad \text{ise} \quad R_{pt} = \left[\frac{M_p}{M_{yt}} - \left(\frac{M_p}{M_{yt}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yt}}$$

$$M_p = W_{px} F_y$$

2. Kompakt, Kompakt Olmayan, Narin Başlıklı- Narin Gövdeli

a-Basınç Başlığı Akma Sınır Durumu

$$M_n = R_{pg} F_y W_{exc}$$

R_{pg} = Eğilme dayanımı indirgeme faktörü

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300a_w} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0$$

$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \leq 1.0$$

b-Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

$$M_n = R_{pg} F_{cr} W_{exc}$$

F_{cr} = Kritik yanal burulmalı burkulma gerilmesi

$$L_b \leq L_p \quad \text{ise} \quad F_{cr} = F_y$$

$$L_p < L_b \leq L_r \quad \text{ise} \quad F_{cr} = C_b \left[F_y - (0.3F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y$$

$$L_b > L_r \quad \text{ise} \quad F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{(L_b / i_t)^2}$$

$$L_p = 1.1 i_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Prof.Dr. Zeki AY

Çelik Yapılar/2022

$$L_r = \pi i_t \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}}$$

$$i_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12\left(1 + \frac{1}{6} \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}}\right)}}$$

c-Basınç Başlığı Yerel Burkulma Sınır Durumu

$$M_n = R_{pg} F_{cr} W_{exc}$$

F_{cr} = Kritik yanal burulmalı burkulma gerilmesi

Başlıklar kompakt ise $F_{cr} = F_y$

Başlıklar kompakt değil ise $F_{cr} = F_y - \left(0.3F_y\right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right)$

Başlıklar narin ise $F_{cr} = \frac{0.9Ek_c}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2} \leq F_y$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} , \quad 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f}$$

λ_{pf} = Kompakt başlık için narinlik sınırı

λ_{rf} = Kompakt olmayan başlık için narinlik sınırı

d- Çekme Başlığı Sınır Durumu

$$W_{ext} \geq W_{exc} \quad \text{ise } M_n = M_p$$

$$W_{ext} < W_{exc} \quad \text{ise } M_n = F_y W_{ext}$$

9.7.2 Zayıf Eksen Eğilmesi

a-Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = F_y W_{py} \leq 1.6F_y W_{ey}$$

b-Başlık Yerel Burkulma

$$\text{Başlıklar kompakt} \quad \text{ise} \quad M_n = M_p$$

$$\text{Başlıklar kompakt değil} \quad \text{ise} \quad M_n = M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ey}) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$$

$$\text{Başlıklar narin} \quad \text{ise} \quad M_n = F_{cr} W_{ey}$$

$$M_n = \frac{0.69E}{\lambda_f^2}$$

$$\lambda_f = \max \left(\frac{b_{fb}}{t_{tb}}, \frac{b_{ft}}{t_{ft}} \right)$$

9.8. U ve ÇİFT U-ENKESİT KİRİŞLER

9.8.1 Kuvvetli Eksen Eğilmesi

a-Akma Sınır Durumu

$$M_n = M_p = F_y W_{px}$$

b-Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

$$L_b \leq L_p \quad \text{ise} \quad M_n = M_p$$

$$L_p < L_b < L_r \quad \text{ise} \quad M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \leq M_p$$

$$L_b > L_r \quad \text{ise} \quad M_n = F_{cr} W_{ex} \leq M_p$$

$$M_r = 0.7F_y W_{ex}$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{(L_b / i_{ts})^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{W_{ex} h_o} \left(\frac{L_b}{i_{ts}} \right)^2}$$

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = 1.95 i_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{Jc}{W_{ex} h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{W_{ex} h_o} \right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7F_y}{E} \right)^2}}$$

$$i_{ts}^2 = \sqrt{\frac{I_y C_w}{W_{ex}}}$$

Çift U-enkesit için: $c=1$

Tek U-enkesit için: $c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$

h_o = Kirişin başlıkları ağırlık merkezleri arası mesafe

L_b = Kirişin yanal tutulması ile bölünmesi sonucunda elde edilen kiriş parçası

c-Basınç Başlığı Yerel Burkulma Sınır Durumu

Gövde kompakt ise:

Başlıklar kompakt ise $M_n = M_p$

Başlıklar kompakt değil ise $M_n = M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ey}) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$

Başlıklar narin ise $M_n = \frac{0.9Ek_c W_{exc}}{\lambda_f^2}$

Gövde kompakt değilse:

Başlıklar kompakt ise: $M_n = R_{pc} M_{yc}$

Başlıklar kompakt değil ise: $M_n = M_n = R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L W_{ex}) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$

Başlıklar narin ise: $M_n = \frac{0.9Ek_c W_{exc}}{\lambda_f^2}$

Gövde Narinse:

$$M_n = R_{pg} F_{cr} W_{exc}$$

$$M_n = R_{pg} F_{cr} W_{exc}$$

F_{cr} =Kritik yanal burulmalı burkulma gerilmesi

Başlıklar kompakt ise $F_{cr} = F_y$

Başlıklar kompakt değil ise $F_{cr} = F_y - (0.3F_y) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$

Başlıklar narin ise $F_{cr} = \frac{0.9Ek_c}{\lambda_f^2} \leq F_y$

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f}$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}, \quad 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f}$$

λ_{pf} = Kompakt başlık için narinlik sınırı

λ_{rf} = Kompakt olmayan başlık için narinlik sınırı

$$F_{cr} = 0.7F_y$$

$$I_{yc} / I_y \leq 0.23 \quad \text{ise} \quad R_{pc} = 1$$

$$\lambda_w = \frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw} \quad \text{ve} \quad I_{yc} / I_y > 0.23 \quad \text{ise} \quad R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}}$$

$$\lambda_{pw} < \lambda_w \leq \lambda_{rw} \quad \text{ve} \quad I_{yc} / I_y > 0.23 \quad \text{ise} \quad R_{pc} = \left[\frac{M_p}{M_{yc}} - \left(\frac{M_p}{M_{yc}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_y}$$

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300a_w} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0$$

R_{pg} = Eğilme gerilmesi indirgeme faktörü

9.8.2 Zayıf Eksen Eğilmesi

a-Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = F_y W_{py} \leq 1.6 F_y W_{ey}$$

b-Başlık Yerel Burkulma Sınır Durumu

$$\text{Başlıklar kompakt} \quad \text{ise} \quad M_n = M_p$$

$$\text{Başlıklar kompakt değil} \quad \text{ise} \quad M_n = M_p - \left(M_p - 0.7 F_y W_{ey} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$$

$$\text{Başlıklar narin} \quad \text{ise} \quad M_n = F_{cr} W_{ey}$$

$$M_n = \frac{0.69E}{\lambda_f^2}$$

$$\lambda_f = \frac{b_f}{t_t}$$

9.9. KUTU KESİTLİ KİRİŞLER

a-Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = F_y W_{py}$$

b-Başlık Yerel Burkulma Sınır Durumu

Başlıklar kompakt ise: $M_n = M_p$

Başlıklar kompakt değil ise : $M_n = M_p - (M_p - 0.7 F_y W_{ey}) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$

Başlıklar narin ise: $M_n = F_{cr} W_{e,ef}$

$W_{e,ef}$ = basınç başlığının etkin genişliği ile hesaplanan elastik mukavemet momentidir.

Hadde kutu kesitler için etkin genişlik b_e

$$b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0.38}{\left(\frac{b}{t}\right)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b \quad \text{aksi takdirde } b_e = b$$

Yapma kutu kesitler için etkin genişlik b_e

$$b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0.34}{\left(\frac{b}{t}\right)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b \quad \text{aksi takdirde } b_e = b$$

c-Gövde Yerel Burkulma

Kompakt gövdeler için: $M_n = M_p$

Kompakt olmayan gövdeler için:

$$M_n = M_p - (M_p - F_y W_{ex}) - \left(0.305 \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0.738 \right) \leq M_p$$

Narin gövdeler için: $M_n = M_p - (M_p - F_y W_{ex}) - \left(0.305 \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0.738 \right) \leq M_p$

9.10. BORU KESİTLİ KİRİŞLER

a-Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = F_y W_{py}$$

b-Yerel Burkulma

-Kompakt olma koşulunun sağlanması durumunda, bu sınır durum göz önüne alınmayacaktır.

-Kompakt olmayan enkesit koşulunun sağlanması durumunda, karakteristik eğilme momenti dayanımı M_n aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$M_n = \left(\frac{0.021E}{(D/t)} + F_y \right) W_{ex}$$

- Narin enkesit koşulunun sağlanması durumunda, karakteristik eğilme momenti dayanımı M_n aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$M_n = F_{cr} W_e$$

$$F_{cr} = \frac{0.33E}{(D/t)}$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

F_y : Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi.

E : Yapısal çelik elastisite modülü (200000 MPa).

t : Enkesit et kalınlığı,

D : Enkesit dış çapı.

W_p : Plastik mukavemet momenti.

W_e : Elastik mukavemet momenti.

9.11. T-ENKESİT ve ÇİFT KÖŞEBENT KİRİŞLER

9.11.1 Kuvvetli Eksen Eğilmesi

a-Akma Sınır Durumu

$$\text{Basınçta gövde için: } M_n = M_p = F_y W_{px} \leq M_y$$

$$\text{Çekmede gövde için: } M_n = M_p = F_y W_{px} \leq 1.6M_y$$

b-Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

$$M_n = \frac{\pi \sqrt{EI_y GJ}}{L_b \lambda^2} \left[B + \sqrt{1 + B^2} \right]$$

$$B = \pm \left(\frac{d}{L_y} \right) \sqrt{\frac{I_y}{J}}$$

Gövde çekme ise B=pozitif, Gövde basınç ise B=negatif

c-T'nin Başlık Yerel Burkulma Sınır Durumu

Başlıklar kompakt ise; $M_n = M_p$

Başlıklar kompakt değil ise ; $M_n = M_p - (M_p - 0.7F_y W_{exc}) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$

Başlıklar narin ise $M_n = F_{cr} W_{exc}$

$$F_{cr} = \frac{0.7E}{\lambda_f^2}$$

T-enkesitler için: $\lambda_f = \frac{b_f}{2t_t}$

Çift köşebent için: $\lambda_f = \frac{b_f}{t_t}$

d-Eğilmeli Basınçta T'nin Gövdesi için Yerel Burkulma Sınır Durumu

$$M_n = F_{cr} W_{exc}$$

$$\frac{d}{t_w} \leq 0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ise} \quad F_{cr} = F_y$$

$$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{d}{t_w} < 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ise} \quad F_{cr} = C_b \left[F_y - (0.3F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y$$

$$\frac{d}{t_w} > 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ise} \quad F_{cr} = \frac{0.69E}{(b/t)^2}$$

$$\frac{b}{t_w} = \frac{d}{t_w} \quad (\text{T-enkesitler için})$$

$$\frac{b}{t_w} = \frac{d}{t_w} \quad (\text{Çift köşebentler için})$$

9.11.2 Zayıf Eksen Eğilmesi

a-Akma Sınır Durumu

$$M_n = M_p = F_y W_{py} \leq 1.6F_y W_{ey}$$

b-Başlık Yerel Burkulma

Kompakt başlık için; $M_n = M_p$

Kompakt olmayan başlık için ; $M_n = M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ey}) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$

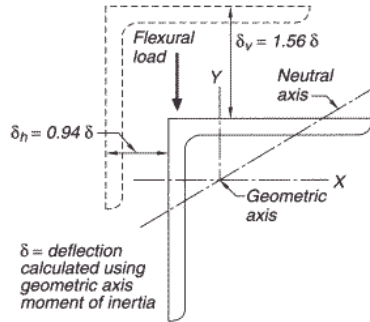
Narin başlıklar için; $M_n = F_{cr} W_{ey}$

$$F_{cr} = \frac{0.69E}{\lambda^2}$$

$$\text{T-enkesitler için: } \lambda = \frac{b_f}{2t_f}$$

$$\text{Çift köşebent için: } \lambda = \frac{b_f}{t_f}$$

9.12. TEK KÖŞEBENT KİRİŞLER



Şekil 9.32 Geometri eksenine uygulanan yükten dolayı tek köşebenttin meydana gelen yerdeğiştirme

a-Akma Sınır Durumu

$$M_n = 1.5M_y$$

$$M_y = W_{ex}F_y$$

M_y =eğilme eksenini akma momenti

b-Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

$$\frac{M_y}{M_{cr}} \leq 1.0 \text{ ise; } M_n = \left(1.92 - 1.17 \sqrt{\frac{M_y}{M_{cr}}} \right) M_y \leq 1.5M_y$$

$$\frac{M_y}{M_{cr}} > 1.0 \text{ ise; } M_n = \left(0.92 - \frac{0.17M_{cr}}{M_y} \right) M_{cr}$$

Burada M_{cr} =elastik yanal burulmalı burkulma momenti

-Tek korniyerlerin kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisi olması durumu:

$$M_{cr} = \frac{9A_i t C_b}{8L_b} \left(\sqrt{1 + \left(4.4 \frac{\beta_w i_z}{L_b t} \right)^2} + 4.4 \frac{\beta_w i_z}{L_b t} \right)$$

-Eşit kollu tek korniyerlerin x ve y geometrik eksenlerinden birinde eğilme etkisinde olması durumu:

Tek korniyerlerin yanal olarak desteklenmediği durumda, *elastik yanal burulmalı burkulma momenti*, M_{cr} , Korniyer enkesitinin serbest ucu;

Basınç etkisinde ise;

$$M_{cr} = \frac{0.58Eb^4tC_b}{L_b^2} \left(\sqrt{1 + 0.88 \left(\frac{L_b t}{b^2} \right)^2} - 1 \right)$$

Çekme etkisinde ise;

$$M_{cr} = \frac{0.58Eb^4tC_b}{L_b^2} \left(\sqrt{1 + 0.88 \left(\frac{L_b t}{b^2} \right)^2} + 1 \right)$$

β_w = eğilme momentinin yönüne bağlı olarak enkesitin asal eksenine göre kayma merkezinin yerini gözönüne alan katsayısı

Açıklık boyunca eğilme momentinin sabit olması halinde β_w ,

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

ile hesaplanacaktır. β_w katsayısının işareti, korniyerin kısa kolu basınç etkisinde ise pozitif, uzun kolu basınç etkisinde ise negatiftir. Eşit kollu korniyerler için $\beta_w = 0$ olarak alınacaktır

Burada;

t: Korniyerin kol kalınlığı.

b: Korniyerin kol uzunluğu.

C_b : hesaplanan moment düzeltme katsayısı,

L_b : Stabilite elemanlarının desteklediği noktalar arasındaki eleman uzunluğu.

i_z : Zayıf asal eksen etrafındaki atalet yarıçapı.

A: Korniyerin enkesit alanı.

z_o : Kayma merkezinin ağırlık merkezine göre z-ekseni doğrultusundaki uzaklığı.

I_w : Kuvvetli asal eksen etrafındaki atalet momenti.

β_w : Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki tek korniyerlerin enkesit özelliği, (mm)
c-Kol Yerel Burkulma Sınır Durumu

Korniyer kolu kompakt ise;

$$M_n = 1.5W_{ex} F_y$$

Korniyer kolu kompakt değilse;

$$M_n = F_y W_{ec} \left(2.43 - 1.72 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right)$$

Korniyer kolu narin ise;

$$M_n = \frac{0.71E}{(b/t)^2} S_c$$

t: Korniyerin kol kalınlığı.

b: Korniyerin kol uzunluğu.

W_{ec} : Basınç etkisindeki kol elemanının ucu için, eğilme eksenini etrafında elastik mukavemet momenti. Geometrik eksenlerden biri etrafında eğilme etkisindeki eşit kollu korniyerlerin yanal olarak desteklenmediği durumda bu değerin 0.80 katı alınacaktır.

9.13. DOLU ENKESİTLİ KİRİŞLER

9.13.1 Dikdörtgen Enkesitli Kirişler

a-Akma Sınır Durumu

$$M_n = M_p = F_y W_p \leq 1.6 M_y$$

b-Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

$$\frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{0.08E}{F_y} \quad \text{ise } M_n = M_p$$

$$\frac{0.08E}{F_y} < \frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{1.9E}{F_y} \quad \text{ise } M_n = C_b \left[1.52 - 0.274 \left(\frac{L_b d}{t^2} \right) \frac{F_y}{E} \right] M_y \leq M_p$$

$$\frac{L_b d}{t^2} > \frac{1.9E}{F_y} \quad \text{ise } M_n = F_{cr} W_{ex} \leq M_p$$

Burada;

$$F_{cr} = \frac{1.9EC_b}{\frac{L_b d}{t^2}}$$

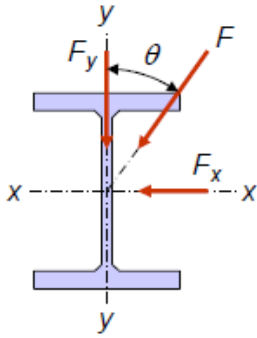
9.13.2. Daire Enkesitli Kirişler

$$M_n = M_p = F_y W_p \leq 1.6 M_y$$

9.14. GENEL ENKESİTLİ KİRİŞLER

$$M_n = M_y = F_y W_e$$

9.15 İKİ EKSENLİ EĞİLME



$$\sigma \leq \frac{M_x I_y - M_y I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2} y + \frac{M_y I_x - M_x I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2} x, \quad \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1, \quad S_x \leq \frac{M_{ux}}{\phi_b F_y} + \frac{M_{uy}}{\phi_b F_x} \left(\frac{S_x}{S_y} \right)$$

LRFD - Loads Through Shear Center

Bending about x-only

$$M_{ux} \leq \phi_b M_{nx} \Rightarrow \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \leq 1.0$$

Bending about y-only

$$M_{uy} \leq \phi_b M_{ny} \Rightarrow \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1.0$$

Interaction Formula

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1.0$$

ASD - Loads Through Shear Center

Bending about x-only

$$M_{ax} \leq \frac{M_{nx}}{\Omega_b} \Rightarrow \frac{M_{ax}}{M_{nx}/\Omega_b} \leq 1.0$$

Bending about y-only

$$M_{ay} \leq \frac{M_{ny}}{\Omega_b} \Rightarrow \frac{M_{ay}}{M_{ny}/\Omega_b} \leq 1.0$$

Interaction Formula

$$\frac{M_{ax}}{M_{nx}/\Omega_b} + \frac{M_{ay}}{M_{ny}/\Omega_b} \leq 1.0$$