

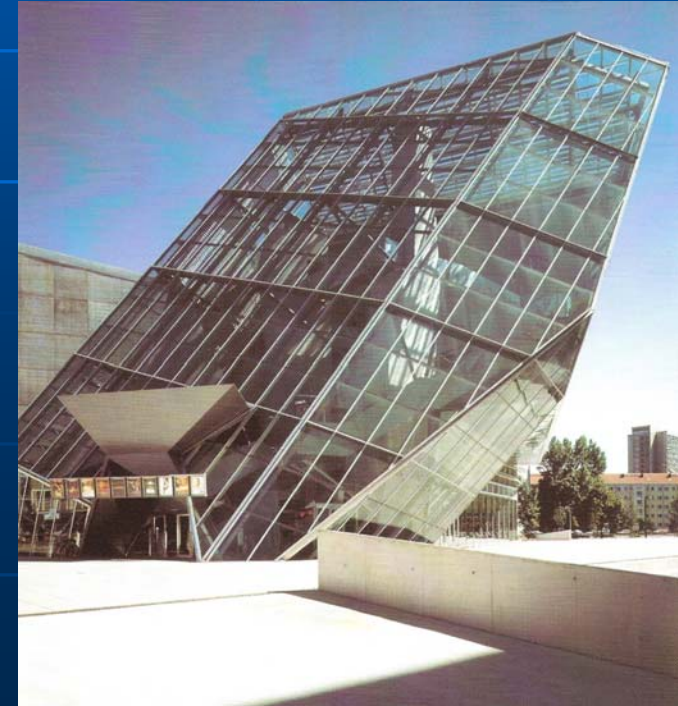
ÇELİK YAPILARIN TASARIM VE BOYUTLAMA ESASLARI

Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI

08 Aralık 2009, İMO-Bakırköy

09 Aralık 2009, İMO-Kadıköy

10 Aralık 2009, İMO-Harbiye



1. YAPISAL TASARIM

1.1 Güvenlik

Taşıyıcı sistemlerin tasarım ve hesabında, elemanlarının işletmede kaldıkları sürede yeterli dayanım, rijitlik ve tokluğa sahip olmaları ve aşırı yüklenme veya dayanım azalması olasılığına karşı yeterli bir güvenliklerinin bulunması sağlanmalıdır.

Çelik bir yapının güvensizliği veya göçmesi,

- Birleşimlerden, temelde veya montaj aşamasında oluşan problemlerden veya
- Sehim, yorulma, büyük yer değiştirmeler, stabilite, burkulma, yerel burkulma, yanal burkulma problemlerinden oluşabilir.

Bu nedenle,

- Hesap hipotezleri yapıda gerçekleştirilen birleşimlere, ya da birleşimler hesaptaki varsayımlara uymalıdır.
- Yapının bütünü ve elemanların stabilitesi sağlanmış olmalıdır.
- Montaj aşamasında stabilite problemi oluşmamalıdır.
- İkinci dereceden yapı elemanlarında ve donanımda herhangi bir aksaklık olmaması için gereken her önlem alınmalıdır.
- Gerektiğinde Derzler ya da belirli bir serbestlik sağlayan birleşimler düzenlenmeli; Elastik şekil değiştirmelere uygun elemanlar kullanılmalıdır.

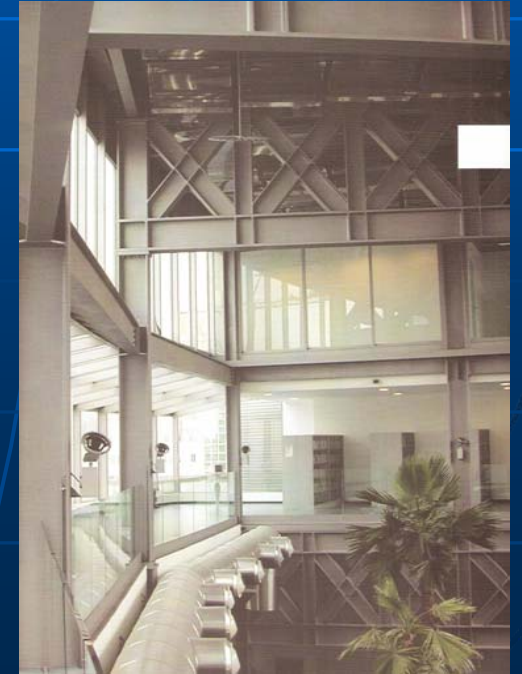
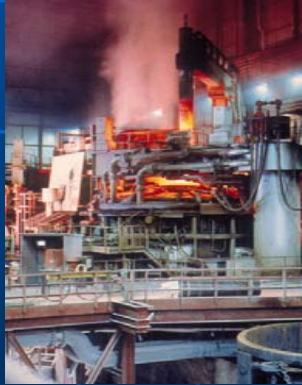


Yapısal çelik,

- homogen ve izotrop olduğu ve üretimi sürekli denetim altında tutulabilen endüstriyel bir üründür.

Bu nedenle,

- hesaplarda kullanılan *güvenlik katsayıları küçüktür.*
- *Elastisite modülü büyük olup*
- *Sünek bir malzemedir.*
- *Üretimde ve yapımın her aşamasında açıklık vardır ve kontrol kolaydır.*



1.2 Ekonomik yapı

Bir yapının ekonomik olup olmadığı, kapsamlı bir maliyet analizi ve çevresel etki değerlendirmesiyle birlikte ele alınmalıdır.

Çelik yapılarda,

- *Yapım süresi kısadır, hemen işletmeye açılabilir*
- *Yapının ağırlığı ve dolayısıyla temel maliyeti azdır.*
- *Eleman boyutlarının küçük olması fazla yer kazandırır*
- *Tekrar kullanma ve geri dönüşüm mümkündür.*

Ekonomik bir çelik yapı inşa edebilmek için,

- Ekip çalışması gerçekleştirmek ve
- piyasadaki çelik malzemeler hakkında yeterli bilgiye sahip olmak gerekir.
- Boyutlandırma aşamasında aynı kesitleri kullanmanın, fabrikasyon ve montaj aşamasına ve dolayısıyla maliyete olumlu etkisi vardır.
- İşçilik ve malzeme fiyatları hakkında bilgi edinilmesi önemlidir.
- Malzemelerin korunma amaçlı boya ve kaplamaları için yönetmeliklere ve hesaplara uymak;
- ulaşım olanaklarına uyan malzeme kullanmak ve
- periyodik bakıma uygun malzeme seçmek ekonomik açıdan olumlu katkı sağlar.



1.3 Estetik

Yapının estetiğinde yerel zevkler ve çevreye uyum etkili olmaktadır.

Çelik yapılar *estetik ve yaratıcılığa açık* olduğundan *tasarımı özellik gösteren yapılarda üstünlük sağlar.*



1.4 Çevre ve sürdürülebilirlik

- %100 geri dönüşümlüdür, atık malzeme bırakmaz
- Hurdadan üretim yapılabildiği için doğal kaynakları tüketmez.
- Şantiye alanı küçük ve temiz olup
- ulaşım aşamasında çevreyi kirletmez.
- Yapımında kuru yöntemler kullanıldığından inşaatın hiç bir aşamasında çevreye zarar vermez.



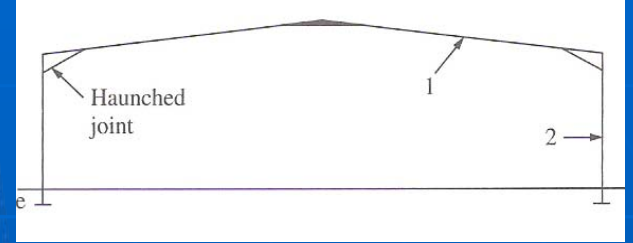
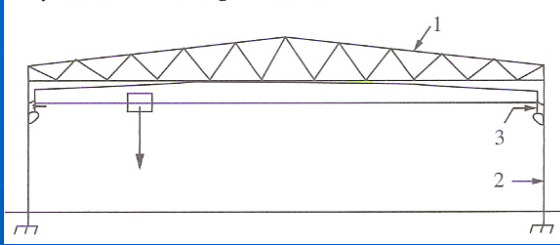
Sürdürülebilirlik toplam yaşam döngüsü kapsamında değerlendirildiğinde,

- malzemenin geri dönüşümü ve yeniden kullanılabilmesi;
- mekanların değişebilir ve genişleyebilir olması;
- hafiflik; ince kesitler;
- yapıların kırılmadan sökülebilmesi ve yeniden kurulabilmesi hedeflenen önemli ölçütlerin başında gelmektedir.



2. ÇELİK YAPILAR

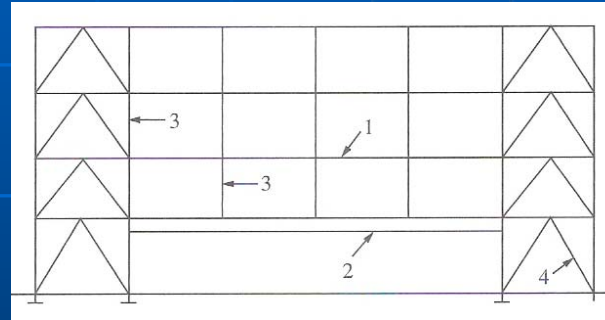
- Tek katlı yapılar



Üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar

Çerçeveseler

- Çok katlı yapılar



2.1 Tasarım adımları

Yüklerin belirlenmesi

Analiz

Çelik yapı elemanlarının boyutlandırılması

Birleşim ve Ekler

Stabilite bağlantıları

2.2 Tasarım yöntemleri

Yapısal güvenlik: **Dayanımda azalma \geq Yükte artım**

2.2.1 Güvenlik Gerilmeleriyle Tasarım (ASD)

Gerilme değerleri elastik bölgede. Ω güvenlik katsayısı kullanılır. F güvenlik gerilmesi, f işletme yükleri altında hesaplanan gerilmesi ise,

$$f \leq \left[F = \frac{F_y}{\Omega} \text{..veya..} F = \frac{F_{cr}}{\Omega} \right]$$

Yükün ($\Delta Q/Q$) oranında arttığı, dayanımın ($\Delta R_n/R_n$) oranında azaldığı düşünülürse

$$R_n - \Delta R = Q + \Delta Q$$

$$\Omega = \frac{R_n}{Q} = \frac{1 + \Delta Q/Q}{1 - \Delta R_n/R_n}$$

($\Delta Q/Q$) %40 ($\Delta R_n / R_n$) %15 ise,

$$\Omega = \frac{1 + 0.4}{1 - 0.15} = \frac{1.4}{0.85} = 1.65$$

2.2.2 Sınır Durumlara Göre Tasarım (LSD)

Sınır durumlar

➤ **Taşıma sınır durumu (ultimate limit state)**

Denge (equilibrium), akma (yield), kopma (rupture), büyük şekil değiştirmeler (large deformations), mekanizma (mechanism), burkulma (buckling), yerel burkulmalar (local buckling), çarpılma (warping), yorulma (fatigue), devrilme (overturning), maksimum sünek dayanım yani plastik dayanım (plastic strength) ve kaymadır (sliding).

➤ **Kullanma sınır durumu (serviceability limit state)**

Sehim (deflection), titreşim (vibration), kalıcı şekil değiştirmeler (permanent deformation) ve çatlaklar (cracks) gibi yerleşim ile ilgili durumları içerir.

Temel yaklaşım, kabul edilebilir bir güvenlik düzeyi için göçme olasılığının yeterli ölçüde az olmasıdır.

- Taşıma Gücü Tasarımı (Ultimate Strength Design),
- Plastik Tasarım (Plastic Design),
- Kısmi Katsayılarla Tasarım (Partial Factor Design-PFD)
- Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım (Load and Resistance Factor Design-LRFD)

Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım (LRFD)

Tasarım dayanımı en azından artırılmış yüklere eşit olmalıdır.

Yapısal güvenlik: $\phi \cdot R_n \geq \sum \lambda_i \cdot Q_i$

Q_i : İşletme yükü λ_i : Yük katsayısı R_n : Nominal dayanım

Ω : Güvenlik katsayısı (>1) ϕ : Dayanım katsayısı (<1)

Genelde $\Omega = \phi / 1.5$

LRFD :

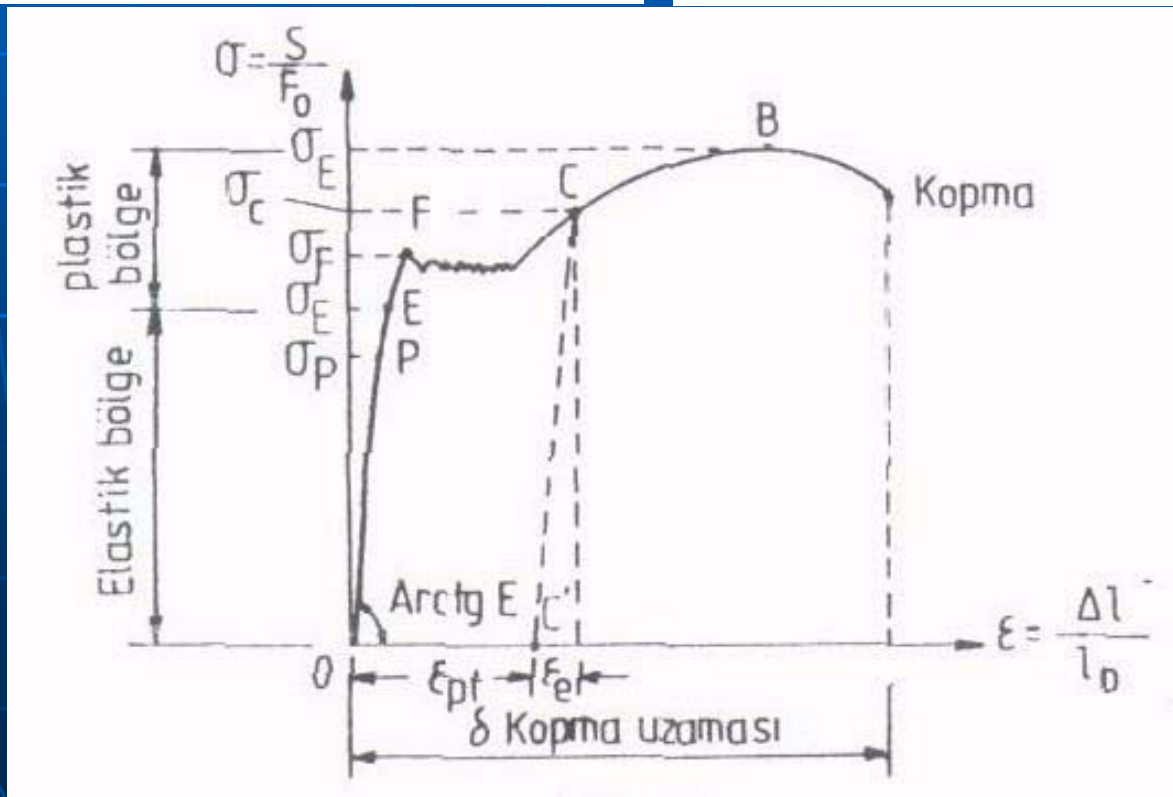
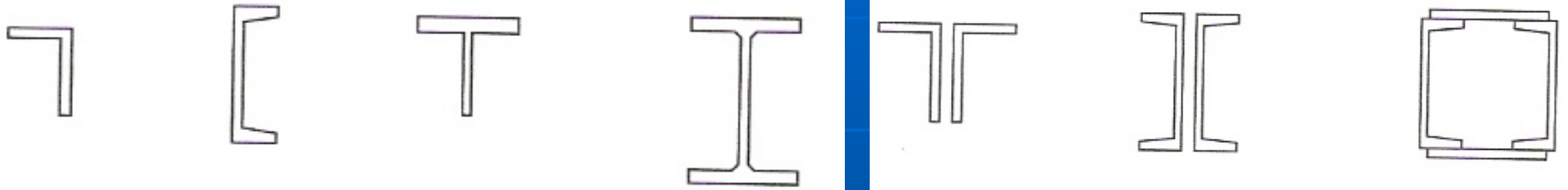
$$\phi \cdot R_n \geq \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot Q_i$$

ASD :

$$\frac{R_n}{\Omega} \geq \sum_{i=1}^N Q_i$$

3. ÇELİK YAPI ELEMANLARININ BOYUTLANDIRILMASI

3.1 Çekme çubukları



Dayanım=Minimum (kopma dayanımı veya akma dayanımı)

➤ *Kopma dayanımı*

$$P_t = A_n F_t$$

$$A_n = A - (\text{Delik kayıpları})$$

$$F_t = F_u / \Omega$$

$$\Omega = 2$$

$$F_t = 0.50 F_u$$

F_u : Kopma dayanımı

➤ *Akma dayanımı*

$$P_t = A F_t$$

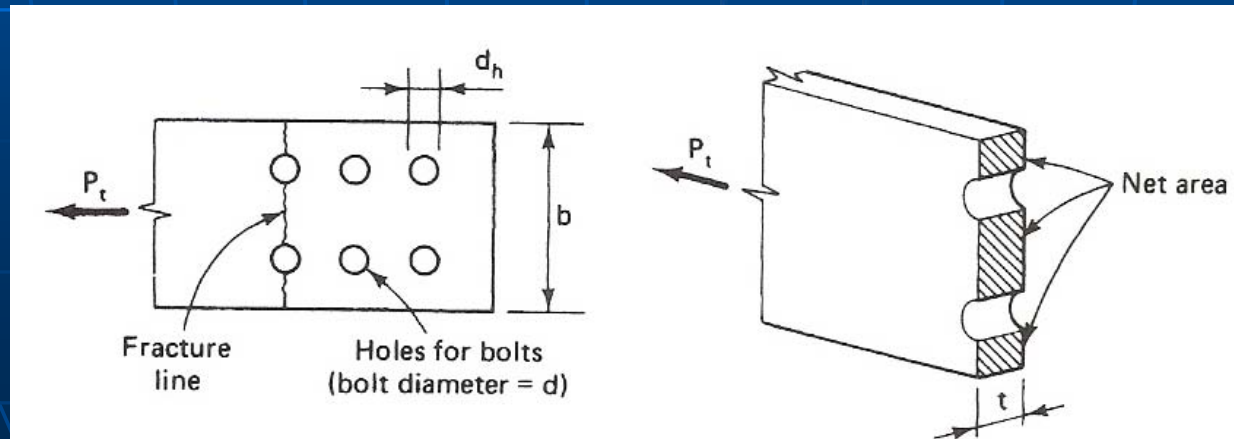
A = Toplam alan

$$F_t = F_y / \Omega$$

$$\Omega = 1.67$$

$$F_t = 0.60 F_y$$

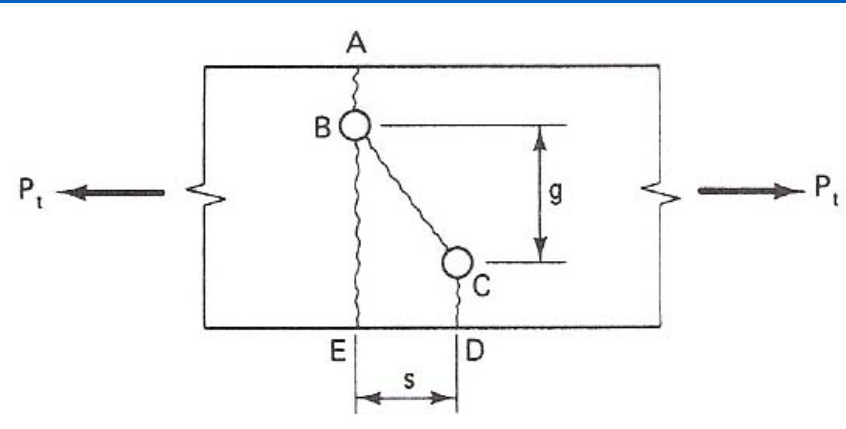
F_y : Akma gerilmesi



Şaşırtmalı yerleştirilen bulonlarda kopma çizgisi

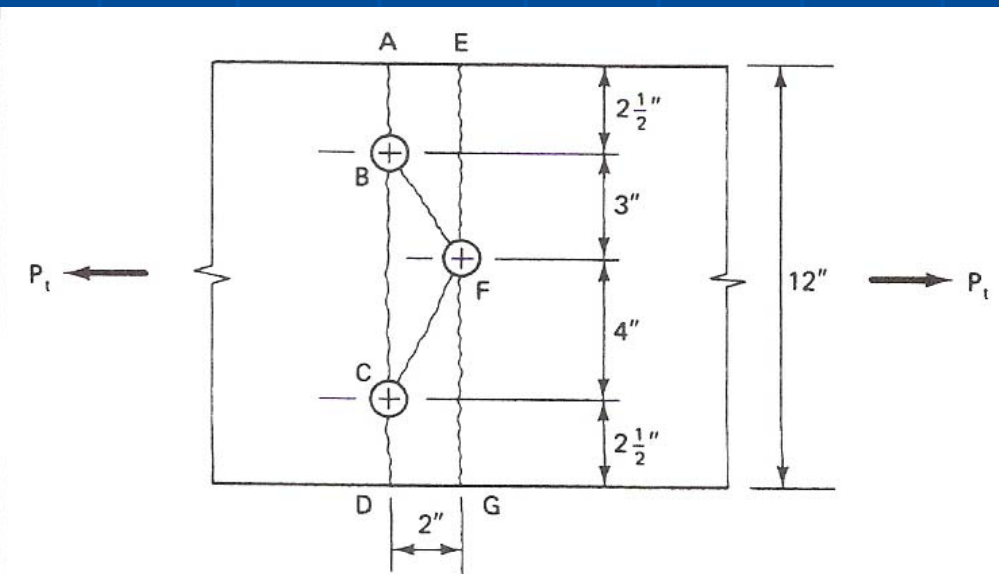
$$A_n = A - \sum d_1 t + \sum (s^2 / 4g) t$$

d_1 : Delik çapı t : Kalınlık



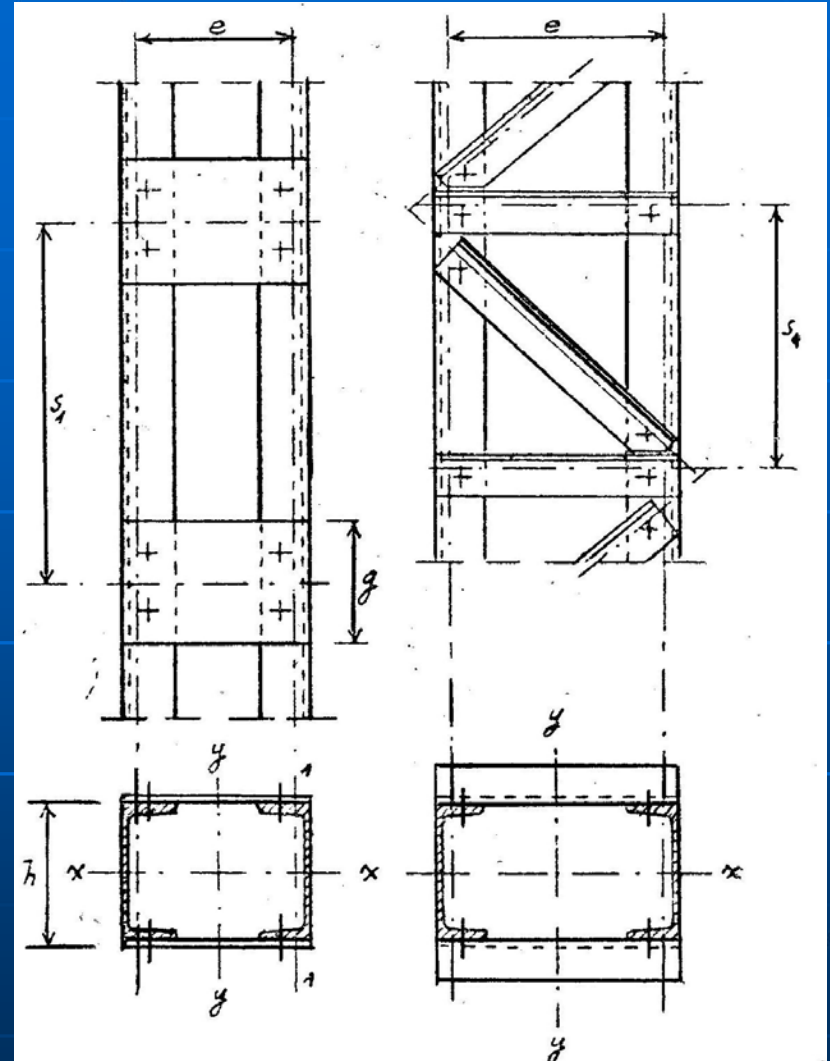
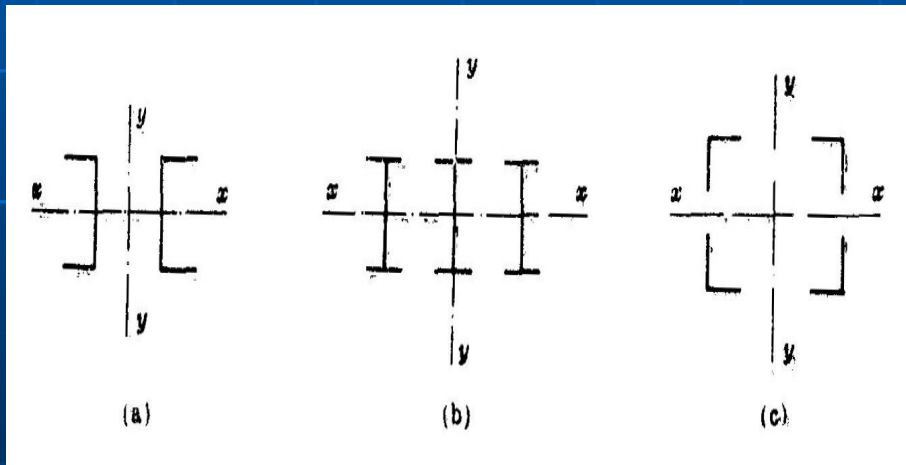
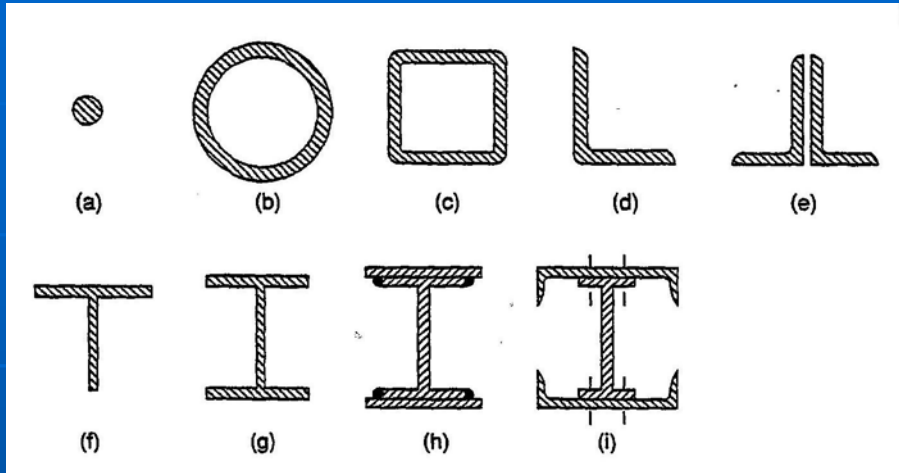
"s"nin büyük değerleri için : ABE,
"s"nin küçük değerleri için : ABCD

ABCD için net alan :
 $A_n = A - 2d_1 t + (s^2 / 4g) t$



Net alan,
ABCD, EFG, ABFG,
EFGD, ABFGD
kopma çizgilerinden küçük
olanından elde edilir.

3.2 Basınç çubukları



- *İdeal bir kolon için Euler kritik yükü ve kritik gerilmesi*
İdeal kolon: İki ucu mafsallı, homojen, doğrusal, malzeme elastik, aksenal yüklü.

$$P_e = \pi^2 EI / L^2$$

$$F_e = P_e / A = \pi^2 E / (L/i)^2$$

- *Uygulamadaki bir kolon için Euler kritik yükü ve kritik gerilmesi*

$$P_e = \pi^2 EI / (KL)^2$$

$$F_e = P_e / A = \pi^2 E / (KL/i)^2$$

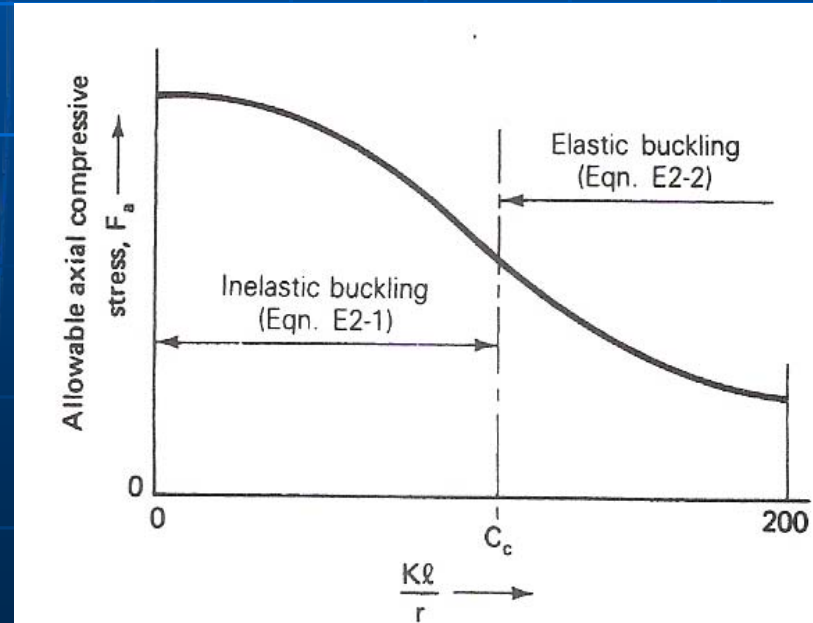
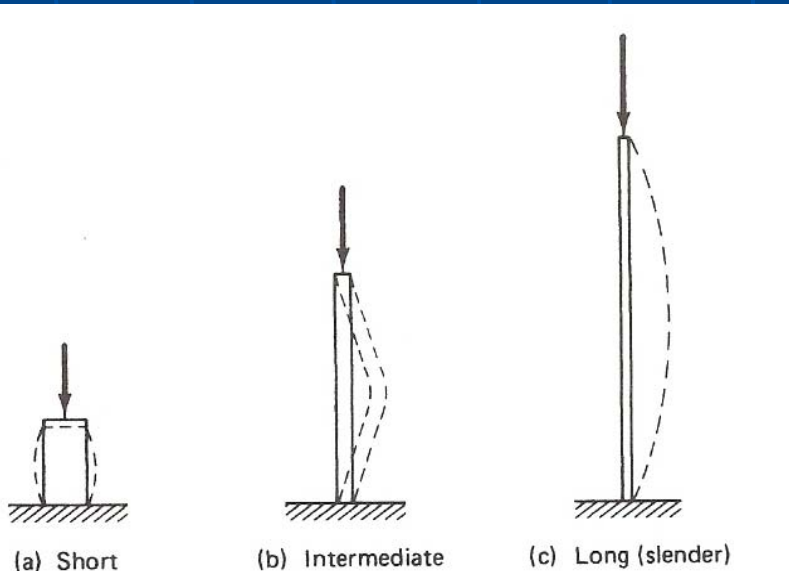
K: Kolon uçlarındaki mesnet koşullarından

- *Güvenli Euler basınç yükü ve gerilmesi*

$$P_a = P_e / \Omega$$

$$F_a = P_e / \Omega$$

Ω : Güvenlik katsayısı



TS 648'e göre

$$F_e = \pi^2 E / (KL/r)^2 \leq F_y / 2$$

$$\lambda_p = KL/r = \sqrt{(2\pi^2 E / F_y)}$$

$$\lambda = KL/r \quad (\lambda_{max})$$

$$\lambda \geq \lambda_p$$

$$F_{cr} = F_e = \pi^2 E / (KL/r)^2$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$F_{cr} = (1 - (1/2)(\lambda/\lambda_p)^2) F_y$$

$$f_c = P/A \leq P_a/A = F_{cr} / \Omega$$

$$\lambda \leq 20$$

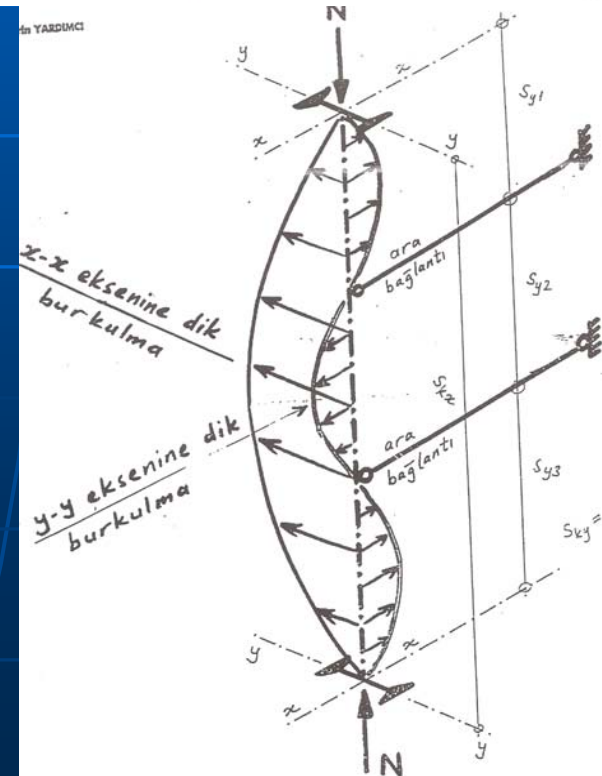
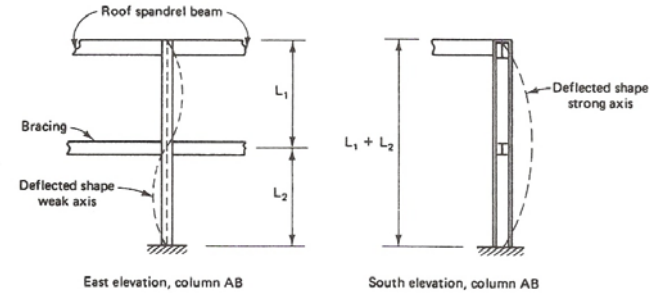
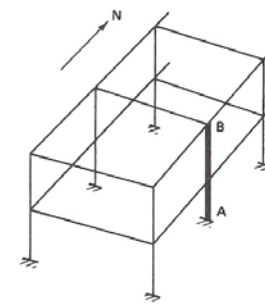
$$\Omega = 1.67$$

$$20 < \lambda < \lambda_p$$

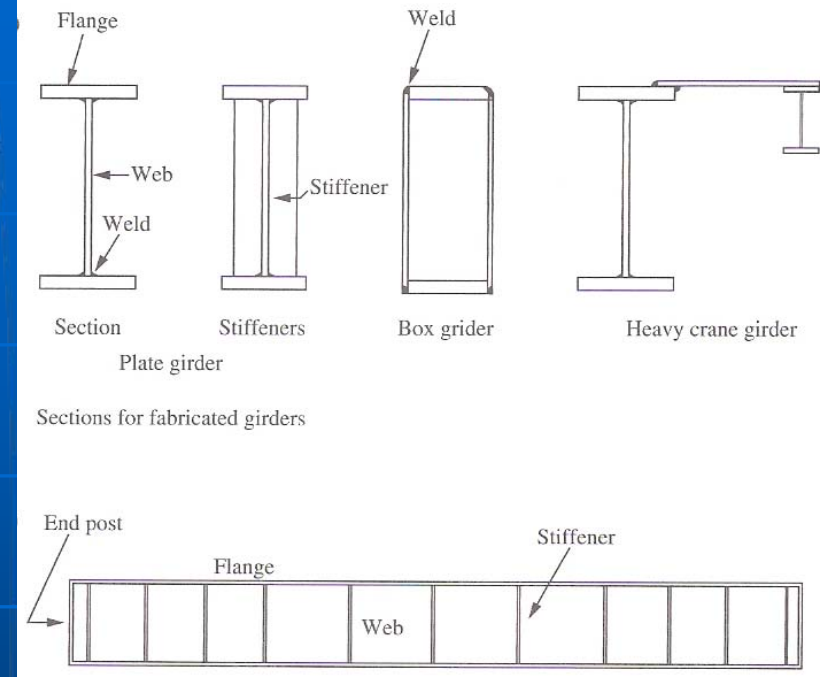
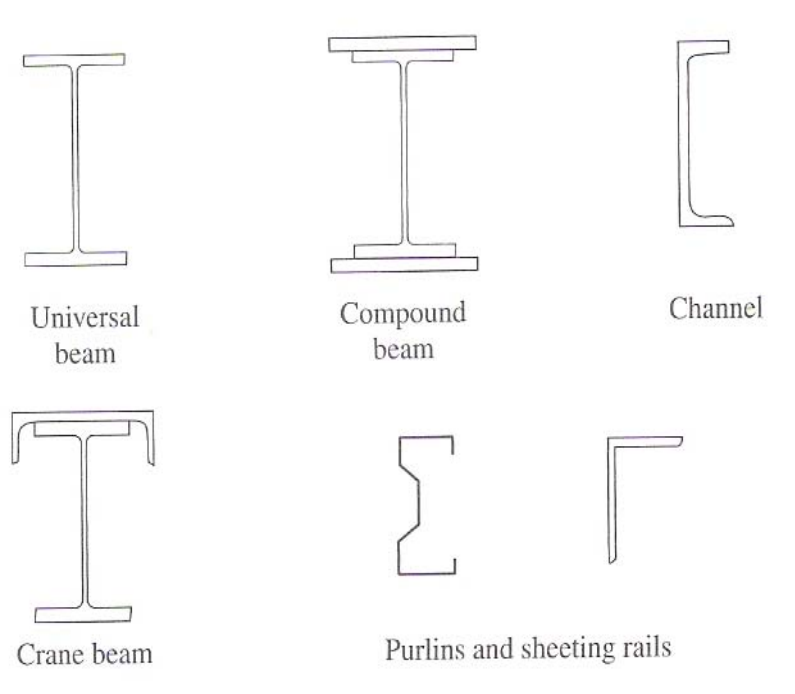
$$\Omega = 1.51 + 1.2(\lambda/\lambda_p) - 0.2 (\lambda/\lambda_p)^3$$

$$\lambda \geq \lambda_p$$

$$\Omega = 2.5$$



3.3 Eğilme çubukları



Basınç başlığı veya gövdenin yerel burkulması

λ = Elemanın (genişlik / kalınlık) oranı

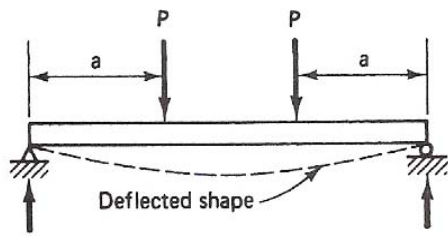
λ_p = kompakt eleman sınıfı için sınır değer

λ_r = kompakt olmayan eleman sınıfı için sınır değer

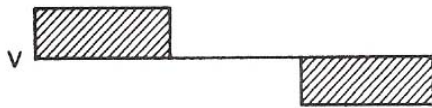
$\lambda \leq \lambda_p$: Kompakt eleman

$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$: Kompakt olmayan eleman

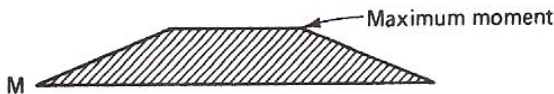
$\lambda > \lambda_r$: Narin eleman



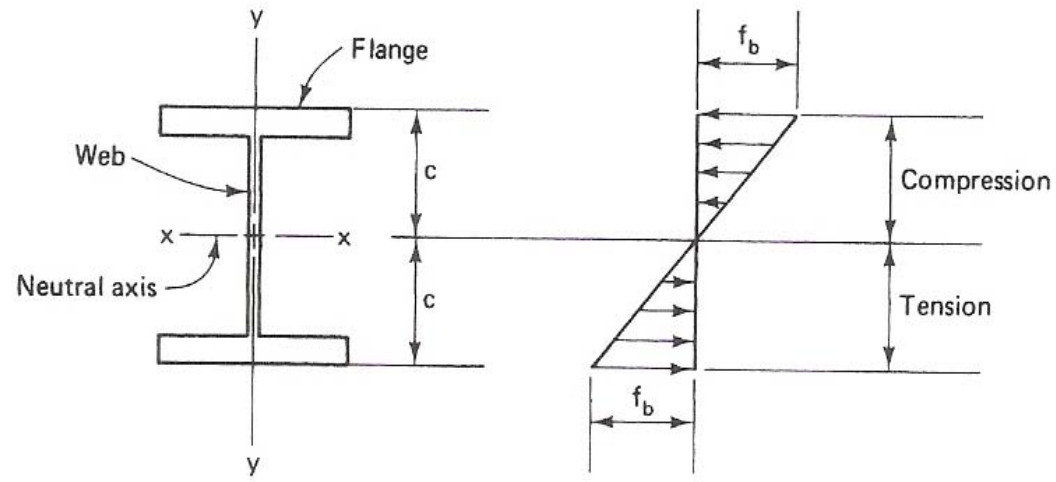
(a)



(b)



(c)



(a) Cross section

(b) Stress diagram

Maksimum eğilme gerilmesi : $f_b = M/W \leq F_b = F_v / \Omega \quad \Omega = 1.67$

Maksimum kayma gerilmesi : $f_v = V.S / (I.b) \leq F_v$

Maksimum sehim : $f \leq f_{lim}$

Eğilme gerilmesi + Kesme kuvveti:

$$f_b = Mc/I \quad f_v = V/A_w \quad f = \sqrt{f_b^2 + 3f_v^2} \leq \begin{cases} 0.75 F_y (H) \\ 0.80 F_v (HZ) \end{cases}$$

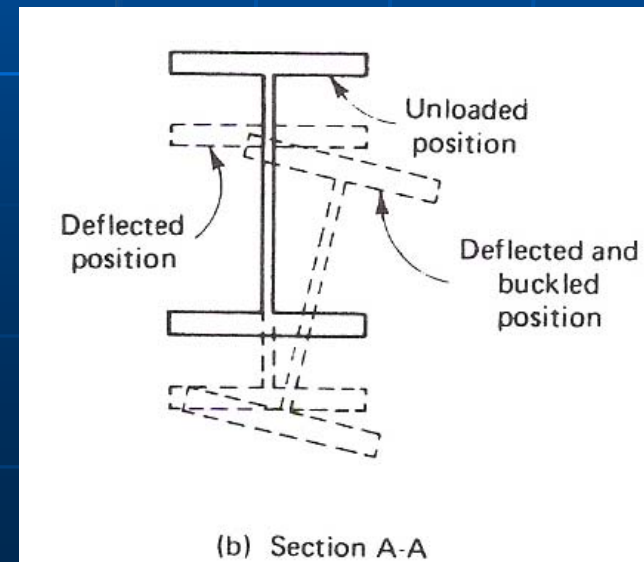
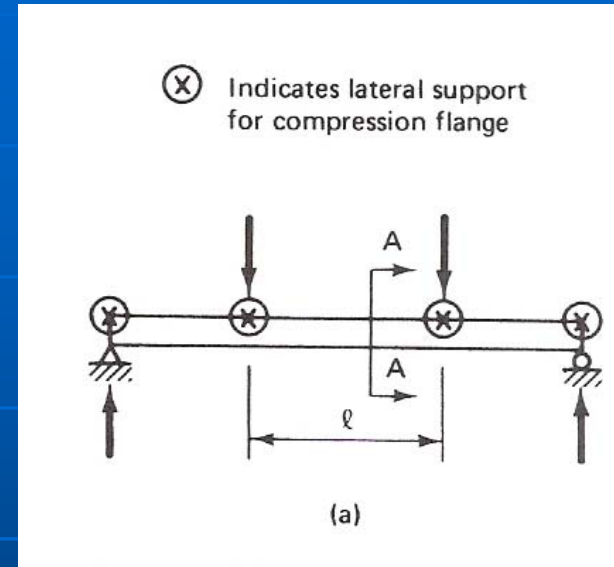
$$L_b / r_y \leq \sqrt{\frac{3(10)^7 C_b}{F_y}} \Rightarrow F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y (L_b / r_y)^2}{9.10^7 C_b} \right] F_y \leq 0.60 F_y$$

$$L_b / r_y \geq \sqrt{\frac{3(10)^7 C_b}{F_y}} \Rightarrow F_b = \frac{(10)^7 C_b}{(L_b / r_y)^2} \leq 0.60 F_y$$

Her iki durumda da

$$F_b = \frac{84.10^4 \cdot C_b}{L_b \cdot d / A_f} \leq 0.60 F_y \quad \text{olmalı.}$$

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3$$



3.4 Eğilmeli basınç çubukları

$$F'_e = \frac{1}{2.5} \frac{\pi^2 E}{(K.L/i)}$$

$$f_c / F_c < 0.15$$

$$\frac{f_c}{F_c} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

$$f_c / F_c > 0.15$$

$$\frac{f_c}{F_c} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_c}{F'_{ex}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_c}{F'_{ey}}\right) F_{by}} \leq 1.0$$

ve

$$\frac{f_c}{0.60 F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

Yanal hareketi serbest çerçeve kolonları: $C_m = 0.85$

Yanal hareketi tutulu çerçeve kolonları

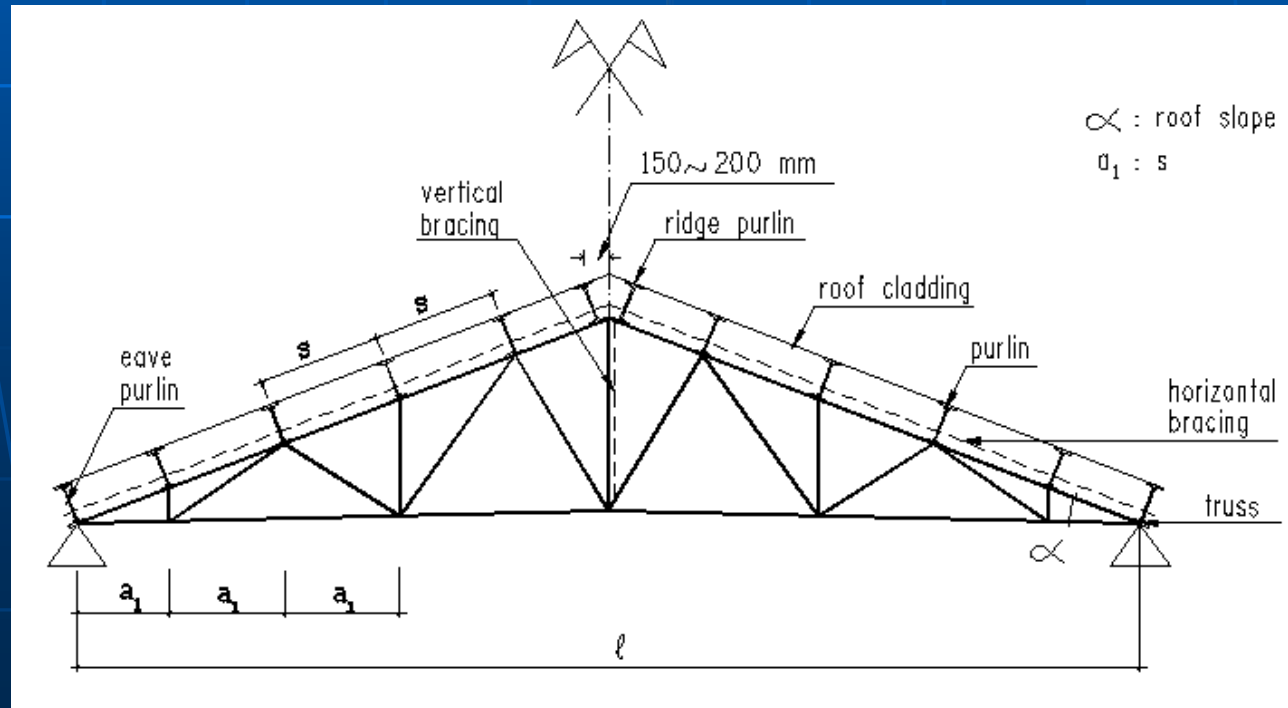
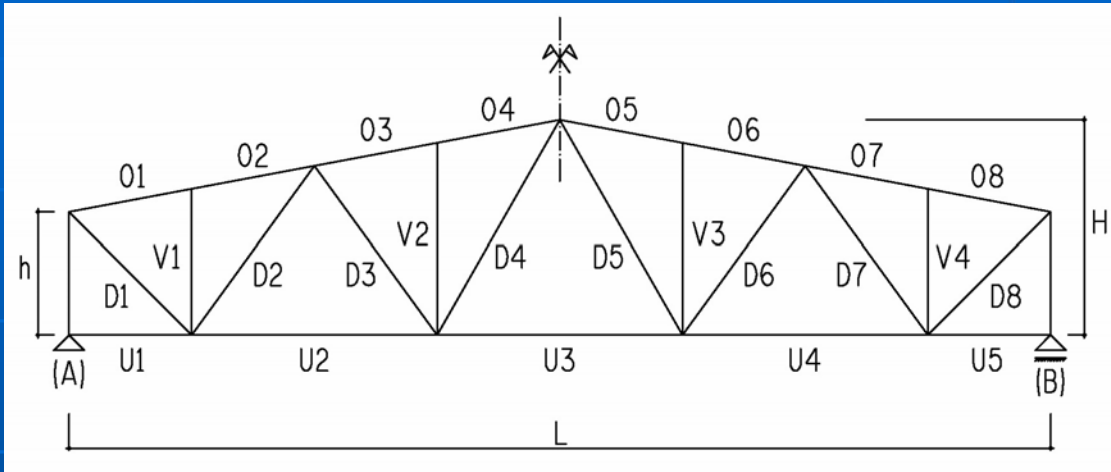
Yalnız uç momentleri var: $C_m = 0.6 - 0.4(M_1 / M_2) \leq 0.4$

Eğilme düzleminde eksene dik yük var

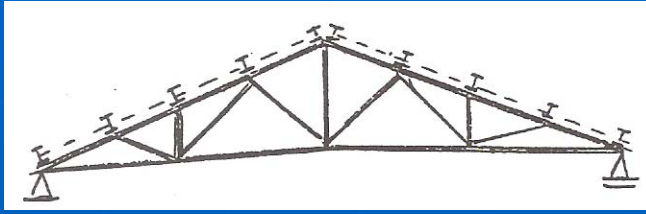
Uç dönmeler önlenmiş: $C_m = 0.85$

Uç dönmeler önlenmemiş: $C_m = 1.0$

3.5 Kafes kirişler



Aşıklarda gergiler

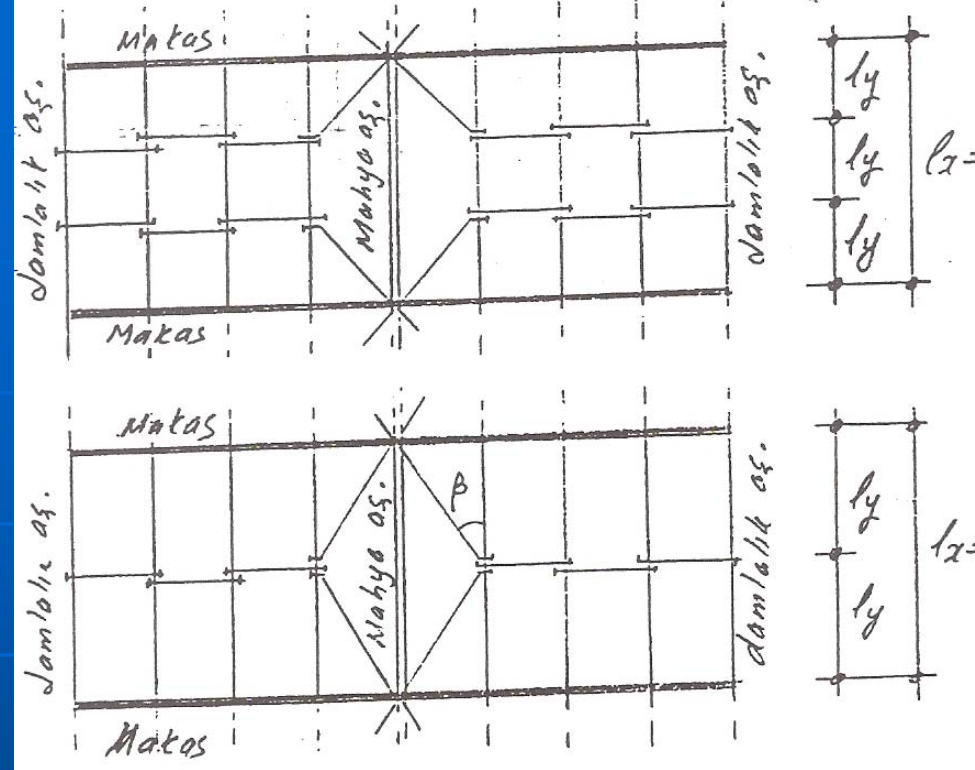


$$\frac{M_x}{\Omega} + \frac{M_y}{\Omega} \leq 1.00$$

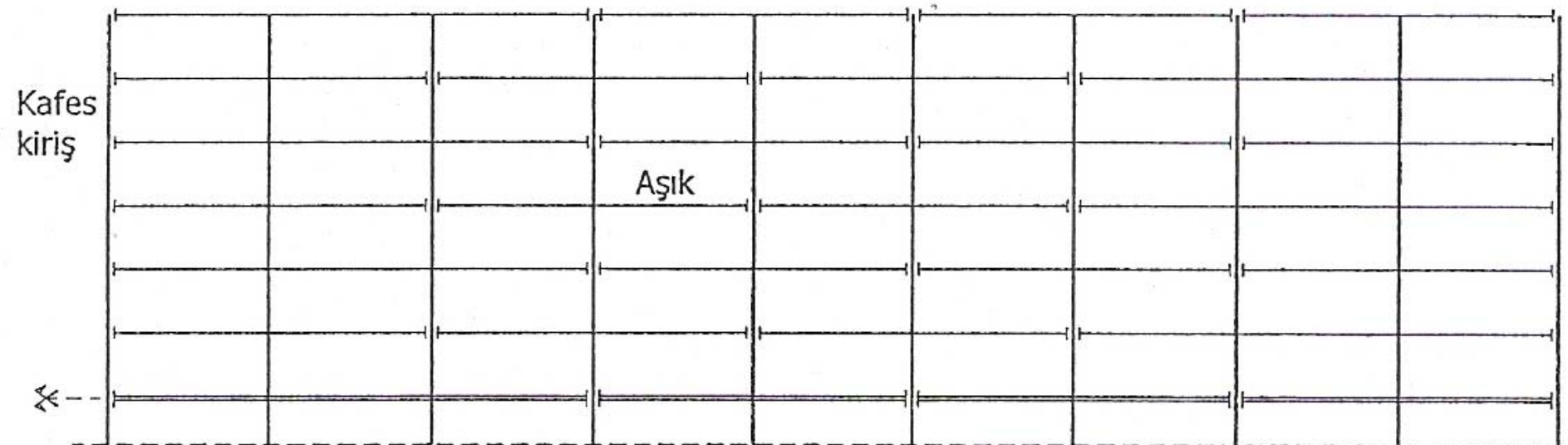
$$\Omega = 1.67$$

$$M_{ex} = W_x \cdot F_y$$

$$M_{ey} = W_y \cdot F_x$$



Aşıkların yerleşimi



4. YATAY YÜKLERİN TAŞINMASI VE KARARLILIK



Çerçeveseler

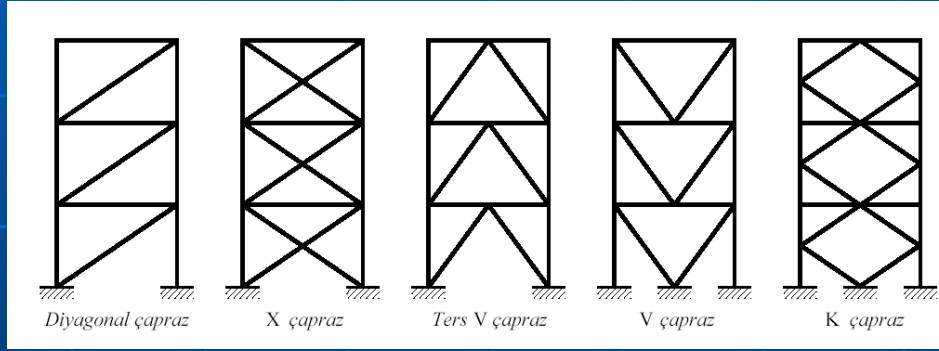


Çaprazlar

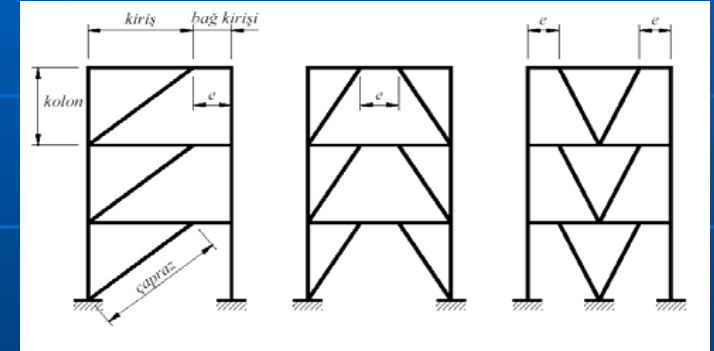
06.04.2004

Stabilite çaprazları (Kararlılık bağlantıları),

- Yapı elemanlarının düzlemlerine dik gelen yanıl etkileri almak;
- Elemanların hesaplarına temel olan başlangıç konumlarını korumalarını sağlamak;
- Montaj süresince devrilmeyi önlemek ve
- Elemanların basınç başlıklarının yanıl burkulma boylarını azaltmak amacıyla düzenlenen sistemlerdir.



Merkezi çaprazlar

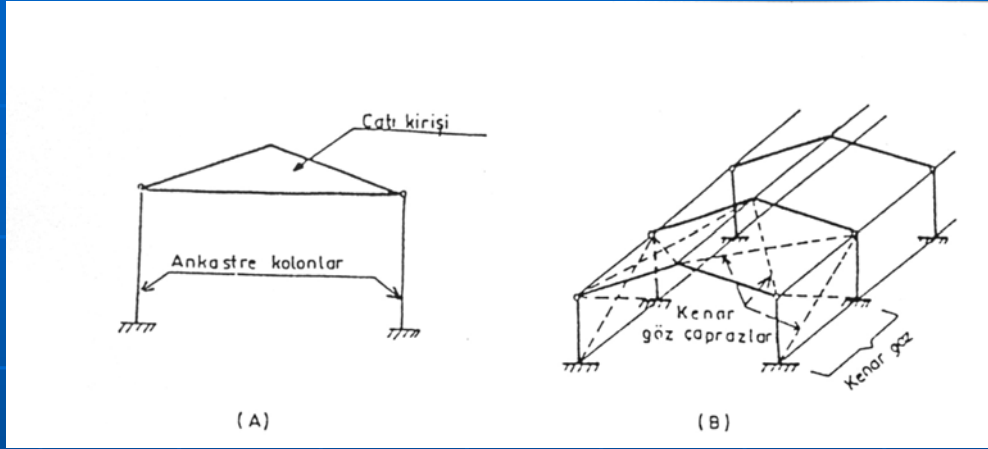


Dış merkez çaprazlar

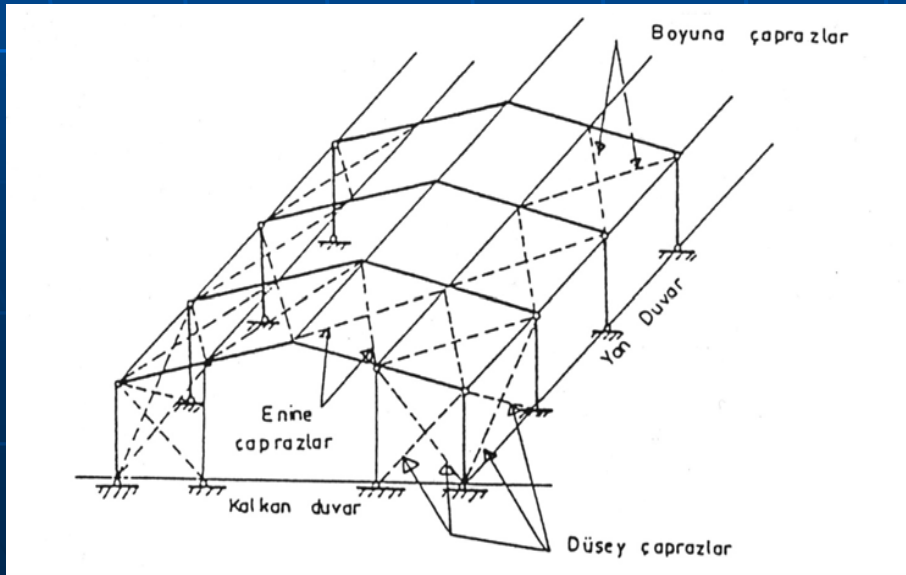


4.1 Tek katlı yapılarda stabilite çaprazları

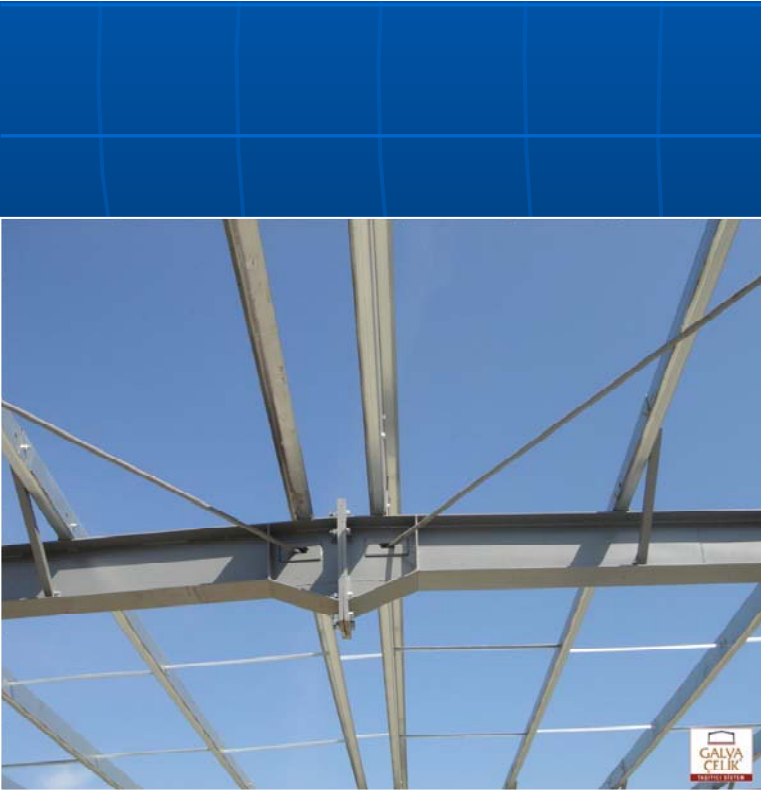
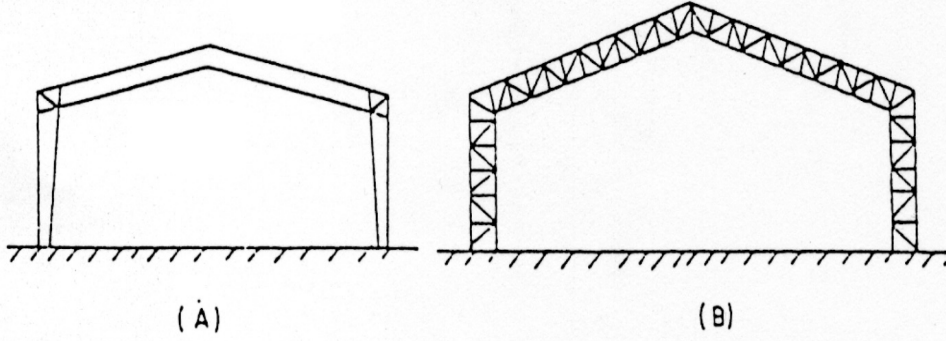
Birinci grup



İkinci grup



Üçüncü grup



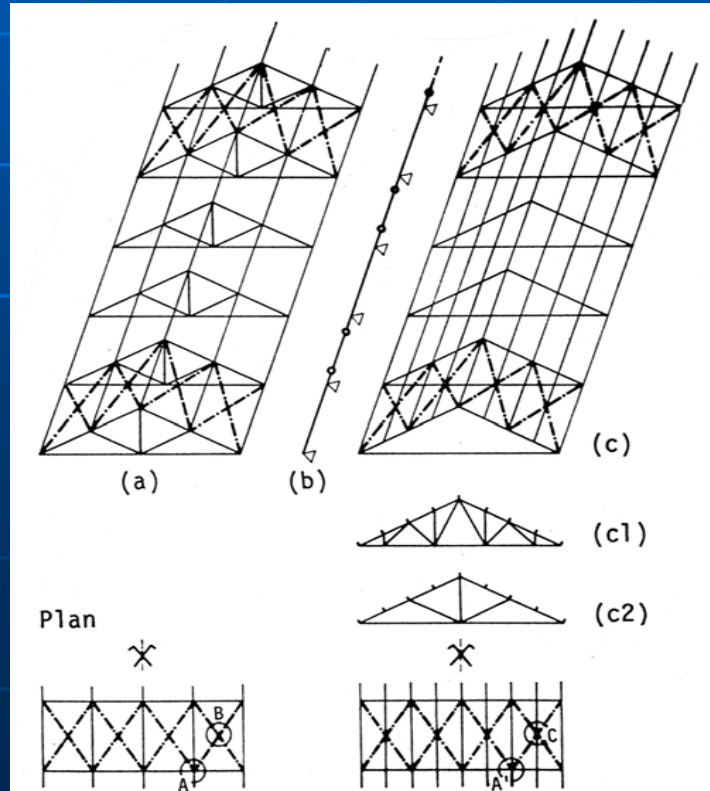
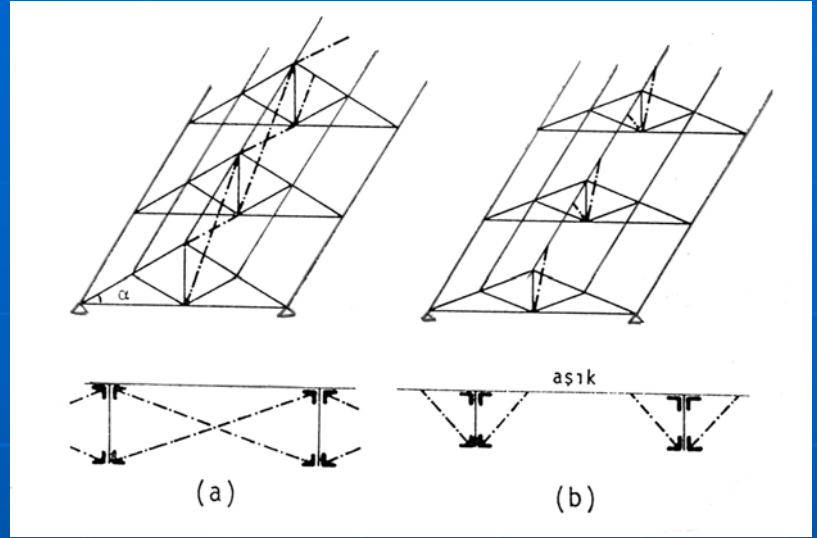
4.1.1 Çatılarda kararlılık bağları

Düşey düzlemde

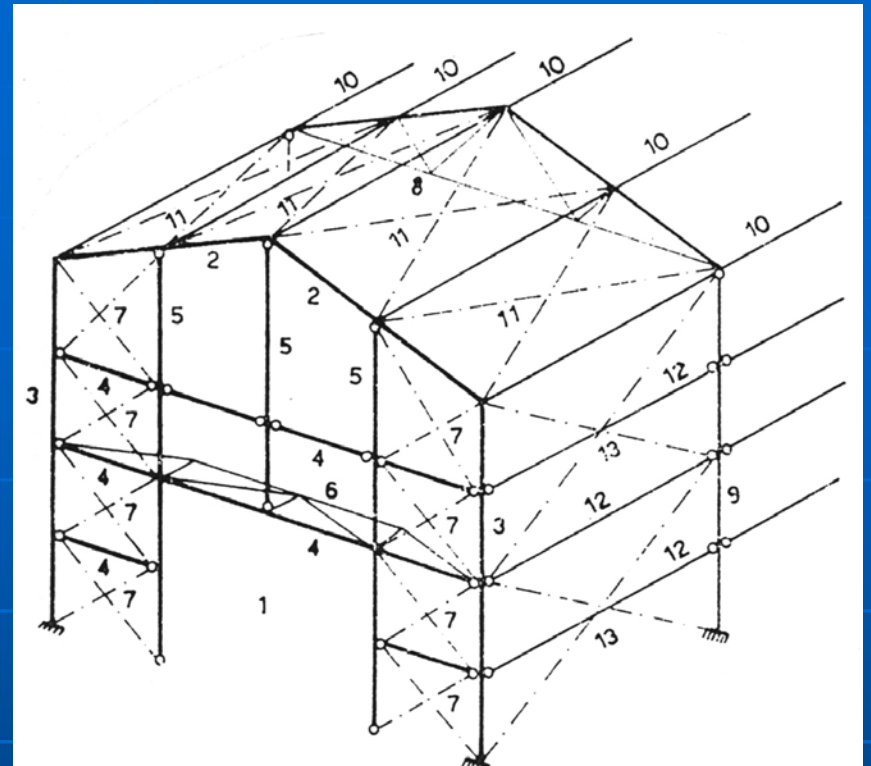
- Çatıyı hesap düzleminde tutmak.
- Alt başlık çubuklarının düzlem dışı burkulma boyunu azaltmak.

Çatı düzleminde

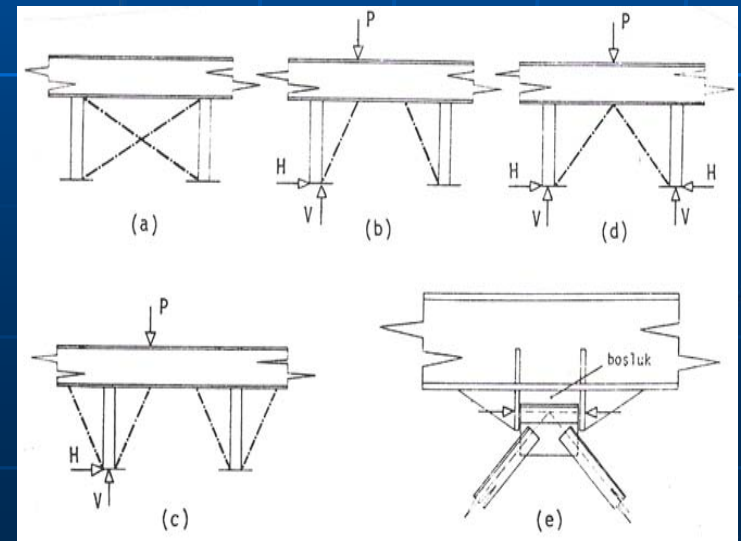
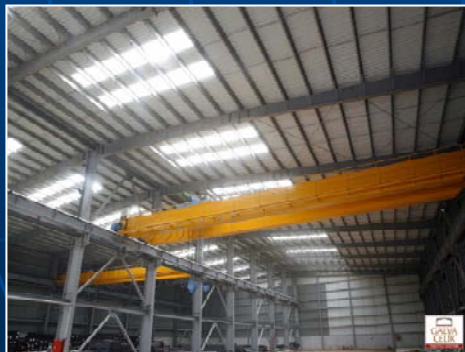
- Yatay etkileri yan duvarlara iletmek.
- Üst başlık çubuklarının düzlem dışı burkulma boyunu kısaltmak.
- Devrilmeyi önlemek.



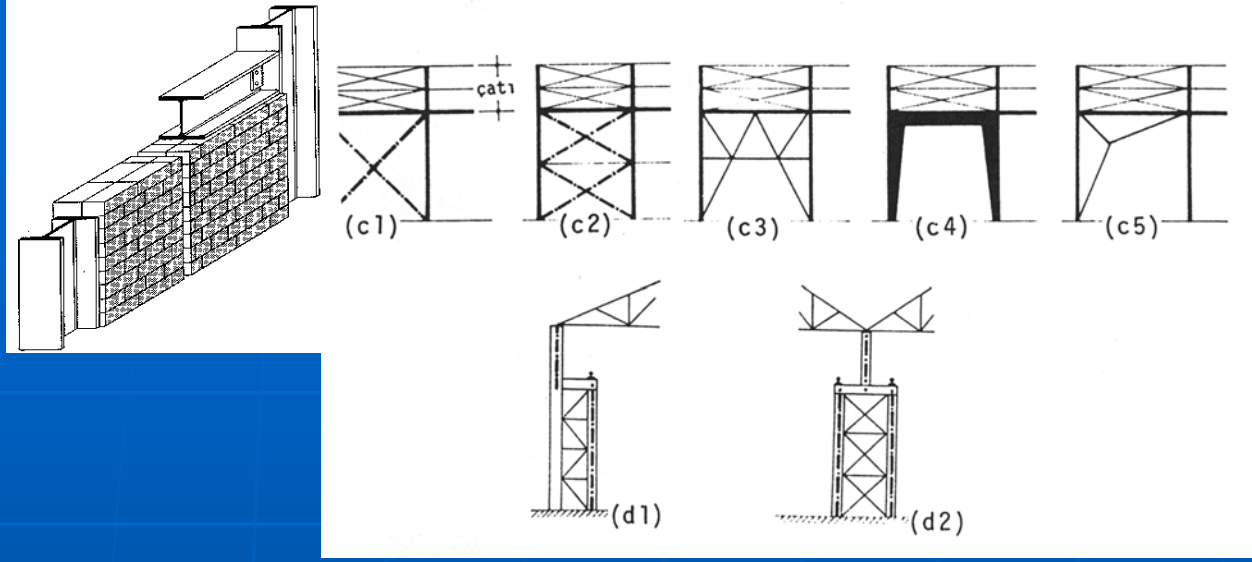
4.1.2 Kalkan duvar



4.1.3 Kren yollarının stabilitesi



4.1.4 Boyuna doğrultuda stabilite bağları

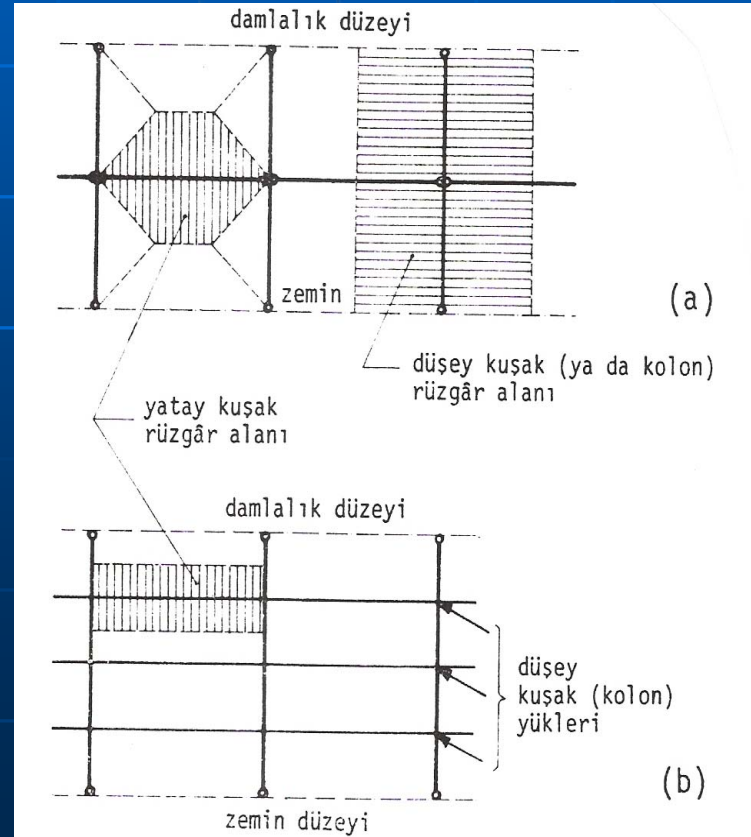


4.1.5 Yan duvar teşkili

Kargir türü duvar



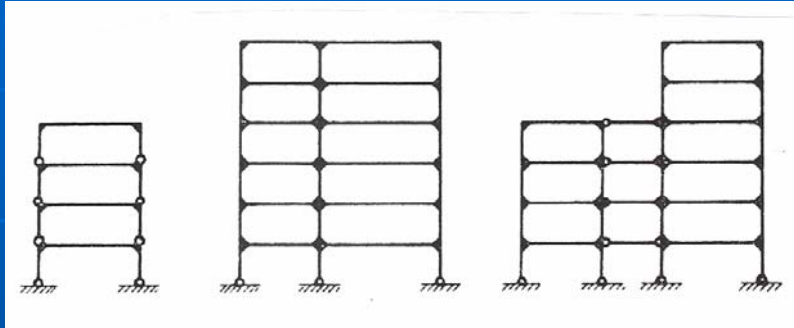
Örtü türü duvar



4.2 Çok katlı yapılarda stabilite çaprazları

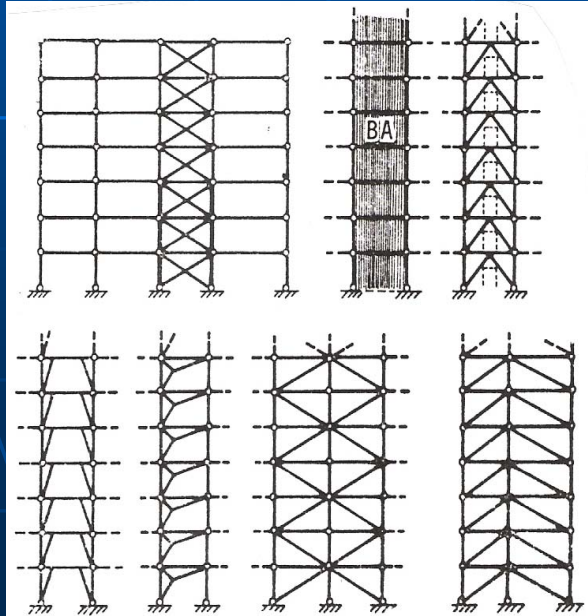
4.2.1 Rijit çerçeveseli sistemler

(10-15) kat. Kat sayısı arttıkça yatay yer eğştirmeler artar, kesitler büyür.



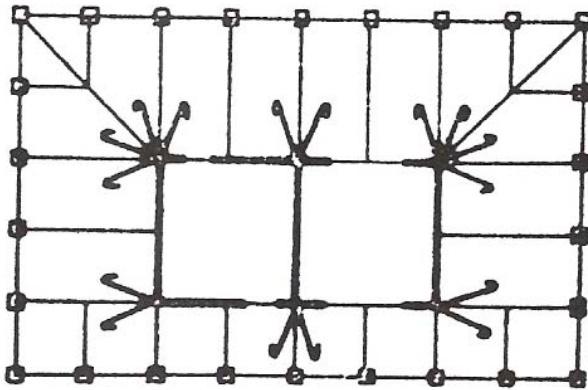
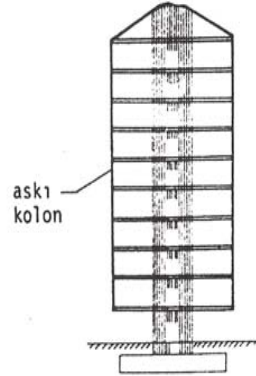
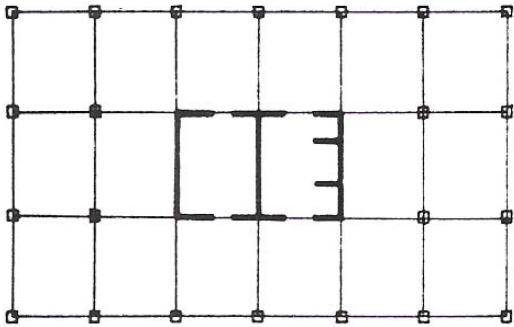
4.2.2 Düşey perdeli sistemler

BA veya çelik perde. 14 kata kadar. En az bir düşey perde.



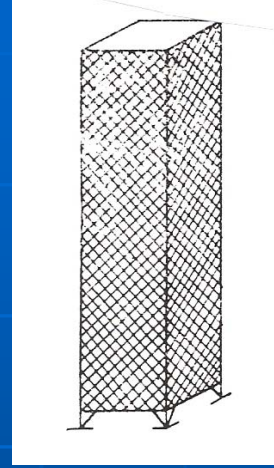
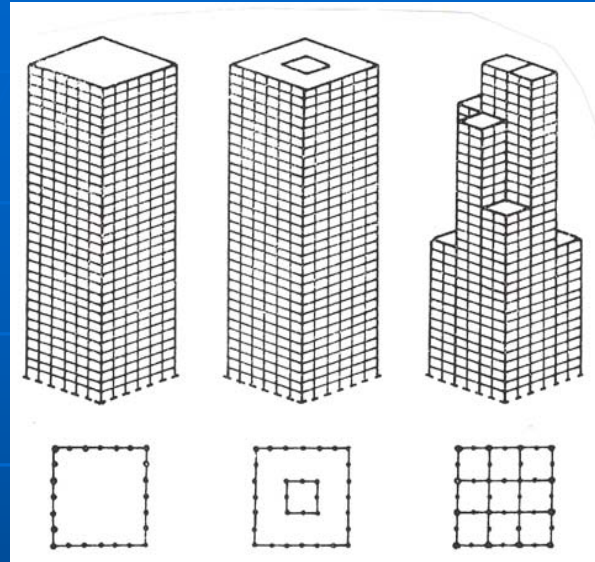
4.2.3 Çekirdekli sistemler

BA veya çelik çekirdek. 40 kata kadar. Düşey yükü kolonlar yatay yükü çekirdek taşır. Burulma oluşmamalı. Döşeme plağının kenetlenmesi önemli.



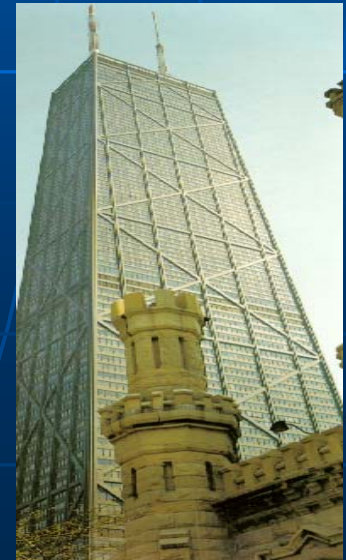
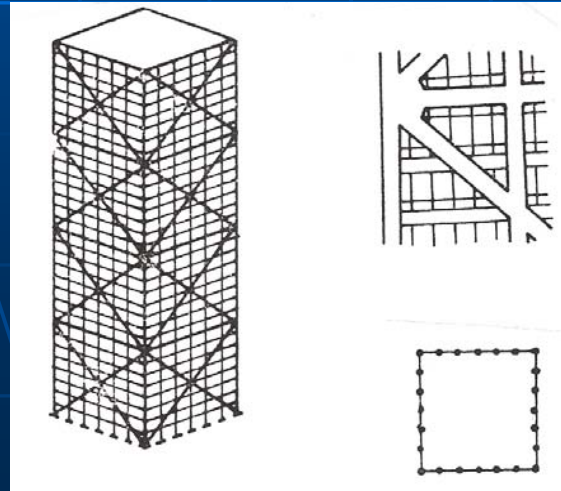
4.2.4 Çerçeveseli tüp sistemler

Kolonlar sık, sandık çalışması yapan tüpler oluşturulur. (a) 80 kat, (b) 90 kat, (c) 110 kat



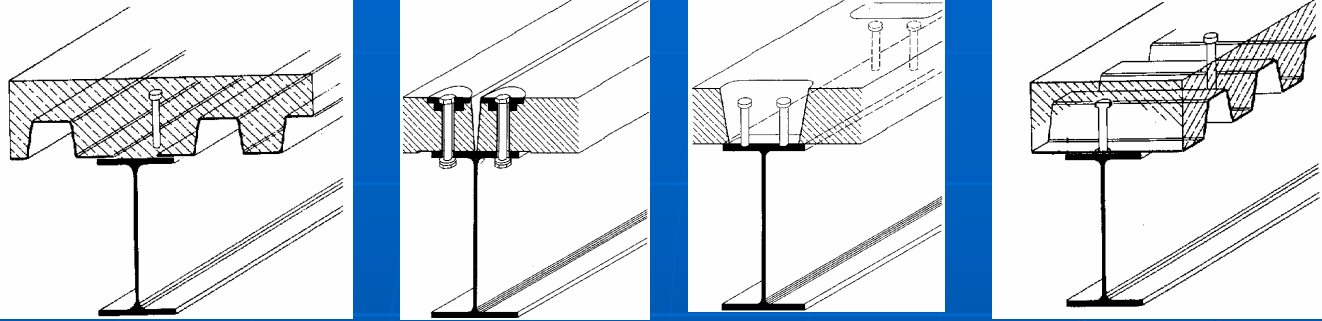
4.2.5 Kafes tüp sistemler

Kat sayısı 50'den fazla. İç kolonlu 100 kata, iç kolonsuz 140 kata kadar.

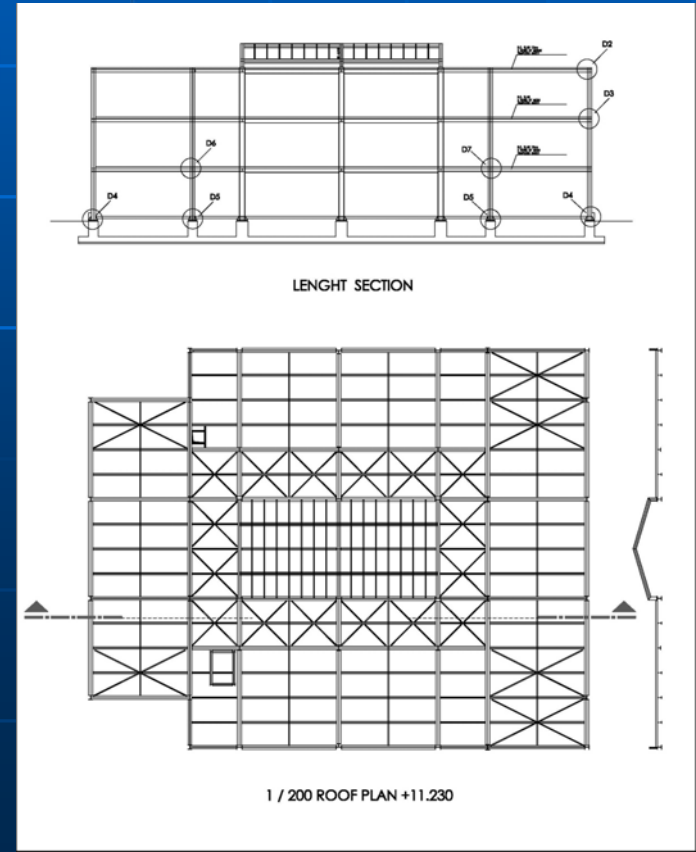
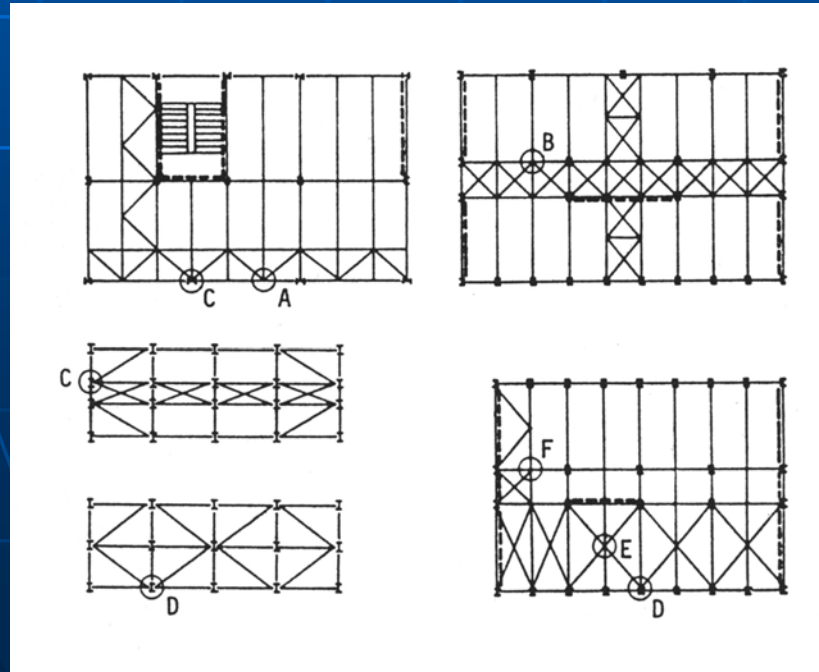


4.2.6 Döşemeler

Kompozit döşeme



Yatay çaprazlar



KAYNAKLAR

- F. Hart, W. Henn, H. Sontag, 1978. Multi-storey Buildings in Steel, Editor of English Edition: G. Bernard Godfrey, Granada Publishing, London.
- Arda, T.S., 1978. Çelik Çatı ve Binalarda Rüzgar Karşıt Düzenleri ve Stabilite Bağları, Sakarya Devlet Mühendislik-Mimarlık Akademisi Yayınları No.3, İstanbul.
- Odabaşı, Y., 1983. "Endüstri Yapıları ve Hal Konstrüksiyonları", I. Çelik Yapılar Semineri, Cilt I, İTÜ İnşaat Fakültesi.
- Odabaşı, Y., 1985. Çelik Endüstri Yapıları , II. Çelik Yapılar Semineri, Cilt II, İTÜ İnşaat Fakültesi.
- Martin L.H., Purkiss J. A., 1992. Structural Design of Steelwork, Edward Arnold, Hodder&Stoughton, London.
- Salmon Charles G., Johnson John E., 2009. Steel Structures, Harper&Row, Publishers, New York.
- Galambos T.V., Lin F. J., Johnston B. G., 1996. Basic Steel Design with LRFD, Prentice-Hall Inc., NJ.
- Spiegel L., Limbrunner G.F., 2002. Applied Structural Steel Design , Prentice Hall, 3rd Edition.
- Lam D., Ang T-H., Chiew S-P., 2006. Structural Steelwork, Elsevier, 3rd Edition.
- Mc Cormac J., 2008. Structural Steel Design, Prentice Hall, 4th Edition.
- Deren H., Uzgider E., Piroğlu F., 2005. Çelik Yapılar, Çağlayan Kitapevi, Beyoğlu-İstanbul.
- Coosje van Bruggen, 2005. Frank O. Gehry: Guggenheim Museum Bilbao, The Solomon Foundation, New York.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-DBYBHY-2007

Teşekkür

Arcelor Mittal

Corus

Galva Çelik

Tabosan

Türk Yapısal Çelik Derneği