

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Sogukta Şekil Verilmiş
İnce Cidarlı Hafif Çelik Tağ.

YÖKSEK LİSANS TEZİ

Bülent Bingöl

1991

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot	: R 150 256
Alındığı Yer	: Y.T.Ü
Tarih	: 29.8.1995
Fatura	: -
Fiyatı	: 35.000 TL?
Ayniyat No	: 1-16
Kayıt No	: 51557
UDC	:
Ek	:

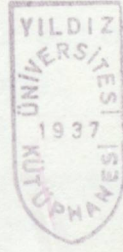
Y. T. Ü.

KÜTÜPHANE DOK. DAİ. BAŞKANLIĞI

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ
İNCE CİDARLI HAFİF ÇELİK TAŞIYICILAR



YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞ. MÜH. BÜLENT BİNGÖL'e teşekkür ederim.

İSTANBUL 1991

İÇİNDEKİLER

SÖZKİTİ ÇEKİL VERİLMİŞ İÇER GİDERLİ, KAPIT ÇEKİL TAŞIYICILAR

SÖZKİTİ	111
SÖZKİTİ	iv
1. GİRİŞ	1
1.1 Sözkıta Çekıl Verılerek Üretilen Profiller	1
1.1.1 İnce Taşıyıcı Eleman	2
1.1.2 Çatı ve Yan Duvar Kaplaması	2
1.2 Prefabrikte Endüstri ve Konut Yapıları	2
1.3 Sözkıta Çekıl Verılerek Üretilen Taşıyıcı Elemanların Boyutlandırılması	2
1.3.1 İnce Cıdarlı Basınç Elemanlarında Yerel Burkulma ve Yerel Burkulma-Üstel Yükl Taşıma Kapasiteleri	3
1.3.2 Burkulma Rijitliği	3
1.3.3 Et Kalınlığı Kısıtlaması	4
1.3.4 Plastik Teoriye Göre Boyutlama	4
1.3.5 Bükme Degerlerinin Hesabı	4
1.4 Birleşim Elemanları	6
1.4.1 Kaynaklı Birleşimler	6
1.4.2 Tözın yürütölmesinde çalışmalarına yardımcı olan değerli hocam Prof. A. Zafer OZTÜRK'e teşekkür ederim.	6
1.4.2.2 Kallarak Sıyrılma	8
1.4.2.3 Birleştirilen Levhaların Sayıl Kesitinde Yırtılma	8
1.4.2.4 Kulon Gövdesinde Kalkılma	9
1.4.3 Özel Saç Vidaları	10
2. C.İ.İ.İ.İ.İ. "Centre Technique Industriel de la Construction Metallique" KİTAPÇIĞI	12
3. DIN 4115 (AGUSTOS 1950) ALMİ KİTAPÇIĞI	47
4. A.İ.İ.İ.İ. "American Iron and Steel Institute" (1968 KİTAPÇIĞI) KİTAPÇIĞI	61
5. TS 3257/Visas 1979 "İçerı İlgili KİTAPÇIĞI"	93

İÇİNDEKİLER

SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ İNCE CİDARLI, HAFİF ÇELİK TAŞIYICILAR

ÖZET	iii
SUMMARY	iv
1. GİRİŞ	1
1.1 Soğukta Şekil Verilerek Üretilen Profiller	1
1.1.1 Ana Taşıyıcı Eleman	2
1.1.2 Çatı ve Yan Duvar Kaplaması	2
1.2 Prefabrike Endüstri ve Konut Yapıları	2
1.3 Soğukta Şekil Verilerek Üretilen Taşıyıcı Elemanların Boyutlandırılması	2
1.3.1 İnce Cidarlı Basing Elemanlarında Yerel Burkulma ve Yerel Burkulma-Ötesi Yük Taşıma Kapasiteleri	3
1.3.2 Burulma Rijidliği	3
1.3.3 Et Kalınlığı Kısıtlaması	4
1.3.4 Plastik Teoriye Göre Boyutlama	4
1.3.5 Enkesit Değerlerinin Hesabı	4
1.4 Birleşim Elemanları	6
1.4.1 Kaynaklı Birleşimler	6
1.4.2 Bulonlu Birleşimler	6
1.4.2.1 Boyuna Doğrultuda Yırtılma	7
1.4.2.2 Ezilerek Sıyrılma	8
1.4.2.3 Birleştirilen Levhanın Zayıf Kesitinde Yırtılma	8
1.4.2.4 Bulon Gövdesinde Makaslama	9
1.4.3 Özel Saç Vidaları	10
2. C.T.I.C.M. "Centre Technique Industriel de La Construction Metallique" FRANSIZ ŞARTNAMESİ	12
3. DIN 4115 (AGUSTOS 1950) ALMAN ŞARTNAMESİ	47
4. A.I.S.I. "American Iron and Steel Institute" (1968 Baskısı) AMERİKAN ŞARTNAMESİ	61
5. TS 3357/Nisan 1979 'deki ilgili hükümler	93

6. UYGULAMALAR

- 6.1 Eğilmeye çalışan açık kesitli elemanla etkin genişlik hesabı. 97
- 6.2 Üniform basınç gerilmesine maruz tüp kesitli elemanda etkin genişlik hesabı 101
- 6.3 Eğilmeye çalışan I kesitli elemanla izin verilen sınır gerilme hesabı 105
- 6.4 Flanşları rijidleştirilmiş açık kesitin emniyetle taşıyabileceği max. eğilme momenti hesabı 108
- 6.5 Flanşları rijidleştirilmemiş I kesitli elemanın taşıyabileceği max. eğilme momenti 115
- 6.6 I kesitli elemanın kesme kuvveti taşıma kapasitesi hesabı. 120
- 6.7 Sistemleri yanıl harekete karşı tutan bağlantı aralığı hesabı 123
- 6.8 Yanıl burkulmaya karşı tutulmuş kirişin taşıyabileceği max. q yükü 125
- 6.9 Kare enkesitli tüpün emniyetle taşıyabileceği max. eksenel basınç kuvveti 130
- 6.10 Kare enkesitli tüpün eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkisi altında tahkiki 136
- 6.11 I kesite sahip, eksenel basınca maruz elemanın tahkiki 139
- 6.12 Tek simetri eksenli, eğilmeli-burkulma etkisine maruz kalan flanşları rijidleştirilmemiş ($\square$ profil) eğilme elemanı hesabı 148
- 6.13 Tek simetri eksenli, eğilmeli-burkulma etkisine maruz kalan elemanın yanıl bağlantı aralığı hesabı 152
- 6.14 Tek simetri eksenli, eğilmeli-burkulma etkisinde eksenel basınca maruz elemanın max. taşıma kapasitesi 154

7. SONUÇ

163

8. KAYNAKLAR

9. EK (Bazı kesitlerde kayma merkezinin yeri ve çarpılma sabiti)

10. ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Soğukta çekil verilmiş ince cıdarlı hafif çelik taşıyıcı elemanlar et kalınlıklarının ince olması ve soğukta çekillendirme sebebiyle boyutlandırmada halde profillerine nazaran farklılık gösterir. Tezimizin konusu ise bu değişim: hesap metolunu belirleyebilmek için hafif çelik taşıyıcıların boyutlandırma kurallarını veren A.I.S.I. (American Iron and Steel Institute), C.T.I.C.M. (Centre Technique Industriel de La Construction Metallique) ve DIN 4115 Alman şartnamesinin incelenmesidir.

Tezin giriş bölümünde soğukta çekil verilmiş ince cıdarlı hafif çelik taşıyıcılar hakkında genel bilgi verildi.

Giriş bölümünden sonra A.I.S.I. , C.T.I.C.M. ve DIN 4115 şartnameleri incelendi. A.I.S.I. ve C.T.I.C.M. şartnamelerinden yararlanarak uygulamalar yapıldı. DIN 4115'in son baskısı temin edilemediğinden alman şartnamesine göre çözüm yapılamadı.

Sonuç olarak; A.I.S.I. ve C.T.I.C.M. şartnameleri, yapılan uygulamaların çözüm şekline ve bulunan neticelerine göre karşılaştırıldı.

SUMMARY

Cold formed, thin wall light steel carrier elements differs from profiles in giving exact dimensions. My proposal is to find out different calculation methods by using A.I.S.I. "American Iron and Steel Institute", C.T.I.C.M. "Centre Technique Industriel de La Construction Metallique" and DIN 4115 German list of conditions which gives exact dimensions rules to light steel carriers.

At the beginning of the thesis, Much informations have been given about thin wall, light steel carriers.

After beginning A.I.S.I., C.T.I.C.M. and DIN 4115 list of conditions have been researched. Some applications have been done by using A.I.S.I. and C.T.I.C.M..

No solutions could be done by using German list of conditions which has not been found out last publication of DIN 4115.

Up to solution of methods and found results; A.I.S.I. and C.T.I.C.M. list of conditions have been compared.

4. Dışarıdan getirilerek, bunların monte edilerek yapılar.

5. Hızlı ve ucuz montaja olanak sağlar. İnşaat hava koşullarından etkilenmez.

6. İnşaat prefabrik elemanlar ile gerçekleştirildiğinden Uniform kalite mevcuttur.

7. Mimarî detayların oluşturulması kolaylaştırılır ve optimum taşıma kapasitesine sahip kesitler elde edilir.

1.1. Soğukta Şekil Verilerek Üretilen Profiller

Soğukta şekil verilmiş ince duvarlı çelik elemanlar iki amaçla kullanılır;

1. Ara taşıyıcı eleman

2. Çatı ve yan duvar kaplaması olarak

1-1. GİRİŞ

Çelik yapılarda iki çeşit çelik taşıyıcı eleman mevcuttur. Birincisi, hadde profilleri ve levhaların birbirleriyle kaynaklanması şeklinde üretilen profillerdir. İkincisi ise, soğukta şekil verilmiş profillerdir. Bu profillerin kalınlığı 0.5 mm ile 6 mm arasında değişir. Bunlar sürekli şekil verme veya presleyerek şekil verme suretiyle üretilirler.

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı taşıyıcı elemanların mühendislik tekniğine sağladığı yararlar:

1. Orta büyüklükte açıklıklar ve orta şiddette yükler için ekonomik boyutlamaya olanak verir.
2. Yük taşıma kapasitesi/ Ağırlık oranı oldukça yüksek optimum kesit şekillerinin ekonomik ve süratli olarak üretilmesi soğukta şekil vererek mümkündür.
3. Süratli bir şekilde yapı üretimi imkanı sağlar. Yapı sistemlerinin montaja hazır biçimde çok sayıda üretilip stoklanması mümkündür.
4. Elemanların hafif olması, bunların monte edilecek yere taşınmalarını ekonomik ve süratli kılar.
5. Hızlı ve ucuz montaja olanak sağlar. İmalat hava koşullarından etkilenmez.
6. İmalat prefabrik elemanlar ile gerçekleştirildiğinden Uniform kalite mevcuttur.
7. Mimari detayların çözümünü kolaylaştırır ve optimum taşıma kapasitesine sahip kesitler elde edilir.

1.1. Soğukta Şekil Verilerek Üretilen Profiller

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik elemanlar iki amaçla kullanılır;

1. Ana taşıyıcı eleman
2. Çatı ve yan duvar kaplaması olarak

1.1.1. Ana Taşıyıcı Eleman

Soğukta şekil verilmiş ince cıdarlı ana taşıyıcı elemanların yüksekliği, 50 mm ile 300 mm arasında; et kalınlıkları ise 2 mm ile 6 mm arasında değişir. Bu kesitler ile üç veya dört katlı yapıların ana taşıyıcı kısımları imal edilebilir.

1.1.2. Çatı ve Yan Duvar Kaplaması

Bu taşıyıcı elemanlar iki amaçla kullanılırlar:

a) Çatı kaplaması veya yan duvar kaplaması olarak aşık veya kuşaklar arasında, düzlemlerine dik etkiyen rüzgar veya kar yükü ve ölü yükleri; basit kiriş, sürekli kiriş gibi statik sistemlerde taşırlar ve yapının içini dış ortamdandırır.

b) Çatı ve yan duvar paneli olarak kendi düzlemleri içinde kesme kuvveti taşıyarak yan duvar çaprazı veya çatı düzlemi çaprazı vazifesini görürler.

1.2 Prefabrike Endüstri ve Konut Yapıları

Soğukta şekil verilmiş ince cıdarlı çelik elemanla imal edilen yapı türünü iki grupta toplayabiliriz.

1. Panalize sistemler

2. Modüler sistemler

Panalize sistemlerde, duvar, döşeme ve çatı panelleri fabrikada imal edildikten sonra, şantiyede monte edilirler.

Modüler sistemlerde ise, üç boyutlu yapı kısımları fabrikada imal edildikten sonra şantiyede biraraya getirilmek suretiyle yapı oluşturulur.

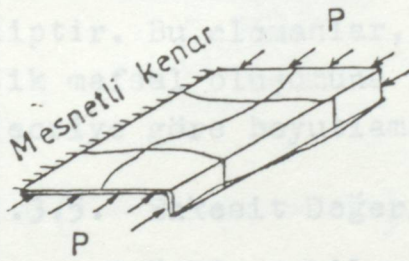
1.3 Soğukta Şekil Verilerek Üretilen Taşıyıcı Elemanların Boyutlandırılması

Soğukta şekil verilerek üretilen taşıyıcı elemanlar, et

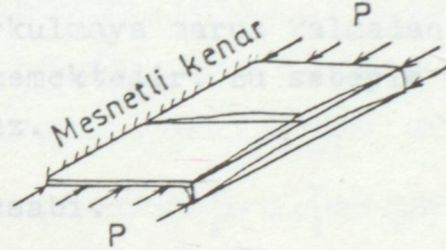
kalınlıklarının ince olması ve soğukta şekil verme sebebiyle, boyutlandırma işlemi halle ürünleri ile oluşturulan çelik yapılarlakinden farklıdır.

1.3.1. İnce Cırlarlı Basıncı Elemanlarında Yerel Burkulma ve Yerel Burkulma-Ötesi Yük Taşıma Kapasiteleri.

Soğukta şekil verilmiş elemanları oluşturan düzlemsel elemanların et kalınlıkları, genişliklerine göre oldukça incelikler. Bu nedenle, kendi düzlemlerinde etkiyen basınç, kayma ve eğilme gerilmeleriyle, ezilme gerilmeleri etkisi altında; akma gerilmesinin çok altındaki gerilme seviyelerinde Şekil 1.1 'de görüldüğü gibi yerel burkulmaya maruz kalırlar.



Uygun kenar büküm



Uygun olmayan kenar büküm

Şekil 1.1

Bu elemanlarda yerel burkulma meydana geldikten sonra, yük taşıma kapasiteleri tamamen ortalama kalkmıyor ve belirli bir miktar daha yük taşıyabiliyorlar. Bu duruma, elemanın yerel burkulma-ötesi yük taşıma kapasitesi adı verilir.

1.3.2. Burulma Rijidliği.

Açık enkesitlerin burulma rijidliği, et kalınlıklarının kübü ile orantılı oldukları; soğukta şekil verilmiş açık enkesitli taşıyıcı elemanların burulma rijidliği zayıftır. Bu sebeple, gövde düzlemi içinde etkiyen yanıl yüklere maruz U kesitli kiriş, kayma merkezi gövde düzlemi dışında kaldığından eğilme deformasyonları yanında burulma deformasyonları da yapar. Ayrıca, kayma merkezi ağırlık merkezi ile

çakışmayan, açık enkesitli ve ince cidarlı soğukta şekil verilmiş basıncı çubuklarında; zayıf burulma rijilliliği nedeniyle, eğilmeli-burulmalı burkulma boyutlandırılmalarda önem kazanır.

1.3.3 Et Kalınlığı Kısıtlaması.

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı elemanların et kalınlıkları 2 mm ile 6 mm arasında değişmektedir. Bu elemanların boyutlandırılmasında en önemli faktör genişlik/(kalınlık) oranıdır. Sadece et kalınlığı önemli değildir.

1.3.4 Plastik Teoriye Göre Boyutlama.

Soğukta şekil verilmiş kesit, plastik teori için gereken limitleri aşan Genişlik/(Et kalınlığı) oranlarına sahiptir. Bu elemanlar, yerel burkulmaya maruz kalmayan plastik mafsallı oluşumuna imkan vermemektedir. Bu sebeple plastik teoriye göre boyutlama yapılamaz.

1.3.5. Enkesit Değerlerinin Hesabı.

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı taşıyıcı elemanların enkesit değerlerinin hesabında; kesitin malzemesi, kesiti oluşturan düzlemsel veya eğrisel kısımların ortalama çizgileri boyunca konsantre olmuş, t et kalınlıklı bu kısımlar, doğrusal veya eğrisel çizgi elemanlarla yer değiştirir. Bu şekilde ele alınan kesit şeklinin enkesit değerleri t et kalınlığı ile çarpılarak gerçek kesitin enkesit değerlerine geçilebilir. American Iron and Steel Institute, cold formed steel manual'da çizgi enkesit elemanına ait enkesit değerleri verilmiştir. Tablo 1.1

1.4

BİRLEŞİM ELEMANLARI

TABLO 1.1

$$I_1 = \left[\frac{\cos^2 \theta}{12} \right] l^3 = \frac{l^3}{12}$$

$$I_2 = \left[\frac{\sin^2 \theta}{12} \right] l^3 = \frac{l^3}{12}$$

$$I_1 = \frac{l^3}{12}$$

$$I_2 = 0$$

$$I_1 = 0, \quad I_2 = \frac{l^3}{12}$$

$$I_{12} = \left[\frac{\sin \theta \cos \theta}{12} \right] l^3 = \frac{l^3 \sin 2\theta}{24}$$

$$\theta \text{ (radyan)} = 0,0174599 \text{ (derece)}$$

$$I_x = I_y = \frac{l^3}{12} = I \left(1 + \frac{l^2}{12} \right)$$

$$I_1 = I_x$$

$$I_2 = I_y = I \left(1 + \frac{l^2}{12} \right)$$

$$I = (\theta_2 - \theta_1) R$$

$$C_1 = \frac{\sin \theta_2 - \sin \theta_1}{\theta_2 - \theta_1} R, \quad C_2 = \frac{\cos \theta_1 - \cos \theta_2}{\theta_2 - \theta_1} R$$

$$I_1 = \left[\frac{\theta_2 - \theta_1 + \sin \theta_2 \cos \theta_2 - \sin \theta_1 \cos \theta_1}{2} - \frac{(\sin \theta_2 - \sin \theta_1)^2}{\theta_2 - \theta_1} \right] R^3$$

$$I_2 = \left[\frac{\theta_2 - \theta_1 - \sin \theta_2 \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \cos \theta_1}{2} - \frac{(\cos \theta_1 - \cos \theta_2)^2}{\theta_2 - \theta_1} \right] R^3$$

$$I_{12} = \left[\frac{\sin^2 \theta_2 - \sin^2 \theta_1}{2} + \frac{(\sin \theta_2 - \sin \theta_1)(\cos \theta_2 - \cos \theta_1)}{\theta_2 - \theta_1} \right] R^3$$

$$I_{12} = \left[\frac{\theta_2 - \theta_1 + \sin \theta_2 \cos \theta_2 - \sin \theta_1 \cos \theta_1}{2} \right] R^3, \quad I_1 = \left[\frac{\theta_2 - \theta_1 - \sin \theta_2 \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \cos \theta_1}{2} \right] R^3, \quad I_{11} = \left[\frac{\sin^2 \theta_2 - \sin^2 \theta_1}{2} \right] R^3$$

$$\text{HALL I: } \theta_1 = 0, \theta_2 = 90^\circ$$

$$\text{HALL II: } \theta_1 = 0, \theta_2 = \theta$$

$$I = \theta R$$

$$C_1 = \frac{R \sin \theta}{\theta}$$

$$C_2 = \frac{R (1 - \cos \theta)}{\theta}$$

$$C = 1,57 R, \quad c = 0,637 R$$

$$I = I_2 = 0,149 R^3$$

$$I_{12} = -0,137 R^3$$

$$I_1 = I_x = 0,785 R^3$$

$$I_{11} = 0,5 R^3$$

$$I_1 = \left[\frac{\theta - \sin \theta \cos \theta}{2} - \frac{\sin^2 \theta}{\theta} \right] R^3, \quad I_2 = \left[\frac{\theta - \sin \theta \cos \theta}{2} - \frac{\cos^2 \theta}{\theta} \right] R^3$$

$$I_{12} = \left[\frac{\sin^2 \theta}{2} + \frac{\sin \theta \cos \theta (1 - \cos \theta)}{\theta} \right] R^3$$

$$I_1 = \left[\frac{\theta + \sin \theta \cos \theta}{2} \right] R^3, \quad I_2 = \left[\frac{\theta - \sin \theta \cos \theta}{2} \right] R^3$$

$$I_{11} = \left[\frac{\sin^2 \theta}{2} \right] R^3$$

1.4 BİRLEŞİM ELEMANLARI

1.4.1 Kaynaklı Birleşimler

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik taşıyıcı elemanların birleşimlerinde kullanılan kaynak çeşitleri;

- a. Ergitme kaynakları
 - Küt kaynaklar
 - Köşe kaynakları

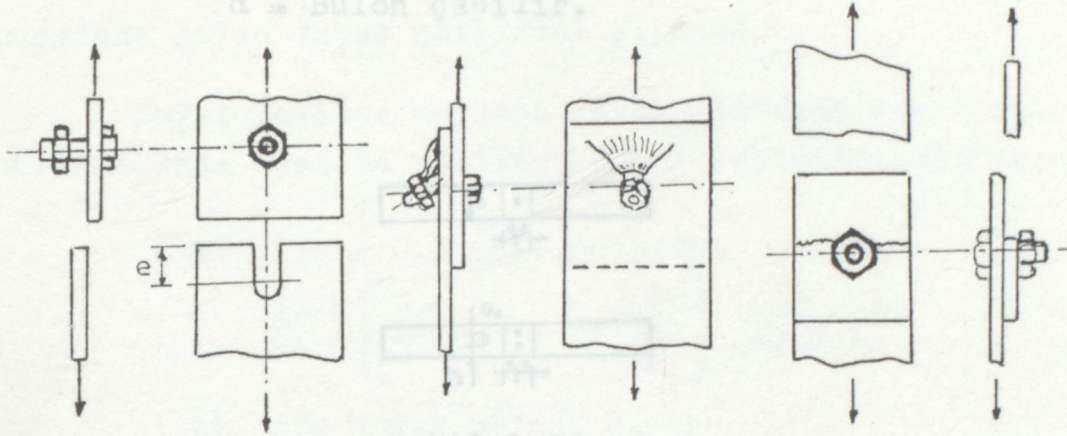
- b. Direnç kaynakları
 - Nokta kaynakları

1.4.2 Bulonlu Birleşimler

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı elemanların bulonlu birleşimleri, birleştirilen elemanların et kalınlığının bulon çapına oranı genellikle daha küçük olduğundan; sıcak hadde profillerinin bulonlu birleşimleri farklılık gösterir.

Bu birleşimlerin yük taşıma kapasitesi kaybı aşağıdaki şekilde gerçekleşir:

- a. Birleştirilen elemanlarda boyuna doğrultuda iki paralel çizgi boyunca oluşan yırtılma. (Şekil 1.2)
- b. Birleştirilen elemanların, bulonun önündeki bölgede ezilerek sıyrılma. (Şekil 1.2)
- c. Birleştirilen levhanın bulon deliği ihtiva eden zayıf kesitinde yırtılma. (Şekil 1.2)
- d. Bulon gövdesinde makaslama



Şekil 1.2

1.4.2.1 Boyuna Doğrultuda Yırtılma

Kenara mesafe nispeten küçükse birleşim, birleştirilen levhaların boyuna doğrultudaki iki paralel çizgi boyunca yırtılması sonucu yük taşıma kapasitesini kaybeder. (Şekil 1.2) Yapılmış olan deney sonuçları e/d oranı 3.5 değerini aşmalığı sürece yük taşıma kapasitesi kaybı $0.7 \sigma_y$ değerindeki kayma gerilmesine ulaşıldığı zaman meydana gelir. Yani

$$\tau_s = 0.7 \sigma_y \frac{P_u}{2te}$$

veya

$$e = \frac{P_u}{1.4t \sigma_y}$$

burada τ_s = Kayma gerilmesi

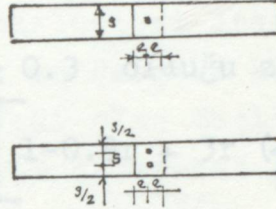
σ_y = Malzemenin akma gerilmesi

P_u = Kopma gerilmesi

t = Levha kalınlığı

e = Şekil 1.3 'de görüldüğü gibi kenara mesafe

d = Bulon çapıdır.



Şekil 1.3

1.4.2.2 Ezilerek Sıyrılma

Eğer kenara mesafe nispeten büyükse, birleştirilen levhanın bulonun önündeki bölgede ezilerek sıyrılması sonucu birleşim yük taşıma kapasitesini kaybeder. Yapılmış olan deneylerin sonuçları e/d oranını 3.5 değerine ulaşana kadar σ_b ezilme gerilmesi e/d oranıyla birlikte artar. Bu durumda aşağıda verilen yaklaşık lineer bağıntı elde edilir.

$$\sigma_b = 1.4 \frac{e}{d} \sigma_y \quad \text{veya} \quad \frac{\sigma_b}{\sigma_y} = 1.4 \frac{e}{d}$$

e/d oranı 3.5 değerine eşit veya büyükse, ezilme gerilmesi emniyetli tarafta kalınarak

$$\sigma_b = 4.9 \sigma_y \quad \text{veya} \quad \frac{\sigma_b}{\sigma_y} = 4.9$$

1.4.2.3 Birleştirilen Levhanın Zayıf Kesitinde Yırtılma

Bu tür yük taşıma kapasitesi kaybı, yani birleştirilen levhanın bulon deliği iativa eden kesitinde yırtılma (Şekil 1.2), aşağıda belirtilen nedenlerle oluşan gerilme yığılmalarına bağlıdır:

a) Yırtılmanın meydana geldiği kesitteki bulon deliği.

1.4.3 b) Birleştirilen levhalarla bulon gövdesi arasında meydana gelen temas gerilmesi yığılması.

Zayıf kesitte meydana gelen yırtılma gerilmesi için literatürde aşağıda verilen formül geliştirilmiştir:

a) $d/s < 0.3$ olduğu zaman

$$\sigma_n = \left[1 - 0.9r + 3r \left(\frac{d}{s} \right) \right] \sigma_u \leq \sigma_u$$

b) $d/s > 0.3$ olduğu zaman

$$\sigma_n = \sigma_u$$

burada,

σ_n = Zayıf enkesitteki yırtılma gerilmesi,

r = Kesitteki bulon veya bulonlarca aktarılan yükün, bu kesit tarafından aktarılan yüke oranı,

d = Bulon çapı

s = Gerilme doğrultusuna dik doğrultuda bulonlar arası mesafe

σ_u = Birleştirilen eleman malzemesinin kopma gerilmesi,

olarak tanımlanır.

1.4.2.4 Bulon Gövdesinde Makaslama

Bulon gövdesinde makaslama ile oluşan yük taşıma kapasitesi kayına ait mekanizma ve birleşim yerinde bir bulonun makaslamaya göre emniyetle taşıyabileceği yükün nesabı, alışılmış çelik yapılarla olduğu gibidir.



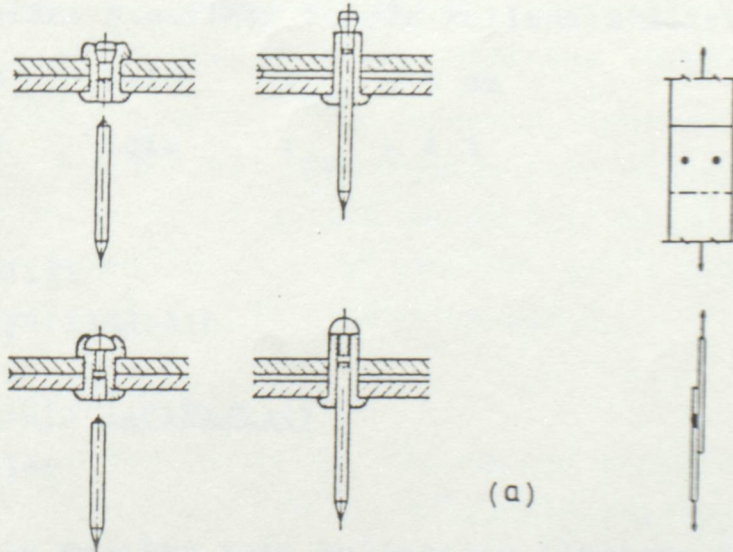
1.4.3 Özel Saç Vidaları.

Çatı ve yan duvar panelleri kendi düzlemleri içerisinde kesme kuvveti taşıyarak yan duvar paprazı veya çatı düzlemleri paprazı (Püzgâr bağlantısı) görevini görürler. Bunların aşıklerle çerçeve düzlemleri arasında oluşturdıkları mekanizma, kaplamanın aşık ve çerçeve kirişi elemanlarına kesme kuvveti taşıma kapasitesi olan özel saç vidaları ile üzerine etkileyen kesme kuvvetini aktaracak şekilde olmalıdır.

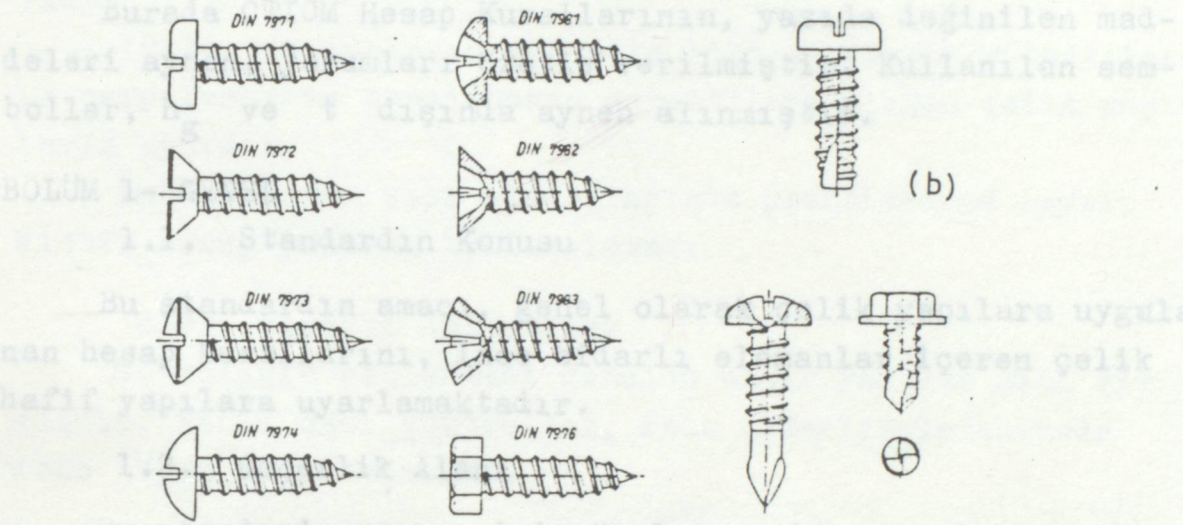
Bu birleşim araçları; kendi deliğini ve dişini kendi açan (Self-Drilling and Self Tapping Screws) veya kendi dişini açan (Self-Tapping Screws) olarak ikiye ayrılır.

Ülkemizde "Self-Tapping" türünde vida üretimi için TS 432 Türk Standartları ve buna uygun işletmeler mevcuttur. (Şekil 1.4 b)

Bu birleşim aracına alternatif olarak pop perçin (Şekil 1.4 a) veya nokta kaynağı kullanılabilir.



2. G.T.I.C.M. İNCE ÇİĞARLI ÇELİK YAPILARIN KURALLARI



Bu standard, yapımı için özel ayrı bir standardı gerektirenler dışında, soğukta veya sıcakta biçimlendirilmiş ve kaynakla teşkil edilmiş elemanlarla gerçekleştirilmiş hafif çelik yapılar için geçerlidir. Şekil 1.4

Yapının işletme açısından, basınç ve darbe etkileri gelebilecek bölümlerinde, oluşabilecek yerel şekil deformasyonları nedeniyle özel engellemeler gerekli olurlar.

1.3. Bükme iç Yarıçaplarının Sınırlandırılması.

(3.11 ve 3.12) alt bölümlerindeki kurallar izleyen bükme iç yarıçapları sınırları içinde kullanılabilirler.

$$t \leq 2 \text{ mm} \quad \text{için} \quad r_{\text{max}} = 8 \text{ mm}$$

$$t > 2 \text{ mm} \quad \text{için} \quad r_{\text{max}} = 4 t$$

Burada,

t = Saç kalınlığı

r_{max} = Bükme iç yarıçapıdır.

BÖLÜM 2- HESAPLARIN DAYANAKLARI

2.1. İlkeler

Genelle çelik yapılar için kullanılan ilkeler, ince çelikli elemanların hesabında da geçerli kalırlar. Ancak, biçim

2 - C.T.I.C.M. İNCE CİDARLI ÇELİK ELEMANLARDAN KURULU YAPILARIN HESAP KURALLARI

Burada CTICM Hesap Kurallarının, yazıda değinilen maddeleri aynen, yorumları özetle verilmiştir. Kullanılan semboller, h_g ve t dışında aynen alınmıştır.

BÖLÜM 1- GENEL

1.1. Standardın Konusu

Bu standardın amacı, genel olarak çelik yapılara uygulanan hesap kurallarını, ince cidarlı elemanlar içeren çelik hafif yapılara uyarlamaktadır.

1.2. Geçerlik Alanı

Bu standard, yapımı için özel ayrı bir standard gerektirenler dışında, soğukta veya sıcakta biçimlendirilmiş ve kaynakla teşkil edilmiş elemanlarla gerçekleştirilmiş hafif çelik yapılar için geçerlidir.

Yapının işletme açısından, basınç ve darbe tesirleri gelebilecek bölümlerinde, oluşabilecek yerel şekil değiştirmeler nedeniyle özel sağlamalar gerekli olurlar.

1.3. Bükme İç Yarıçaplarının Sınırlandırılması.

(3.11 ve 3.12) alt bölümlerindeki kurallar izleyen bükme iç yarıçapları sınırları içinde kullanılabilirler.

$$t \leq 2 \text{ mm} \quad \text{için} \quad r_{\max} = 8 \text{ mm}$$

$$t > 2 \text{ mm} \quad \text{için} \quad r_{\max} = 4 t$$

Burada,

t = Saç kalınlığı

$r_{\max}$ = Bükme iç yarıçapıdır.

BÖLÜM 2- HESAPLARIN DAYANAKLARI

2.1. İlkeler

Genelde çelik yapılar için kullanılan ilkeler, ince cidarlı elemanların hesabında da geçerli kalırlar. Ancak, biçim

kararsızlığı nedeniyle ortaya çıkan davranışın karmaşıklığından dolayı teorik bağıntıların, çoğunlukla deneysel bir incelemeden kaynaklanan katsayılarla düzeltilmesi zorunlu olur.

Yükler ve bunların güvenlik için ağırlıklı katsayılarla çarpılması ve genel hesap bağıntıları olağan çelik yapılarla aynıdır.

İnce cidarlı yapı elemanlarında plastisiteye dayalı hiçbir hesap yöntemi kullanılamaz.

2.2. Gerekli Kontroller

Güvenliğin sağlanması genelde diğer yapılar gibi ele alınır. Ancak bazı kontroller, ince cidarlı elemanlarda daha büyük önem taşırlar.

i- Tümsel Stabilité

İnce cidarlı elemanlardan kurulu yapının hafifliği nedeniyle, bir bütün olarak devrilme, kayma ve mesnet hareketlerine karşı hassaslığı daha fazladır. Daha özenle kontrol edilmelidir.

ii- Şekil-Değiştirmeler

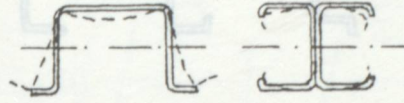
Şekil değiştirmelerin, hem yapının işletme fonksiyonunu yerine getirebilmesi için, hem de hesaplara dayanak teşkil eden varsayımların geçerliliklerini koruyabilmeleri için, kabul edilebilir sınırların altında kalmaları zorunludur.

İşletme fonksiyonlarının yerine getirilmesine ilişkin şekil değiştirme kontrollerinde doğrudan işletme yükleri kullanılabilir. Buna karşılık yapının stabilitesini ya da elemanlarının mukavemetlerini ilgilendiren şekil değiştirme hesaplarında ağırlıklı yükler kullanılmalıdır.

iii- Elemanların Mukavemeti

İnce cidarlı elemanlarda güvenliğin hem plastikleşmeye veya kopmaya göre kontrolü, hem de biçim kararsızlığından kaynaklanan burkulma, yanıl burkulma, buruşma gibi göçmeye ilişkin kontrolü gerekir.

Bazı durumlarda ikinci mertebelen zorların dikkate alınması gerekir. Şekil 1, eğilme durumunda enkesitin gösterebileceği enine deformasyon örnekleri verilmektedir.



Şekil 1.

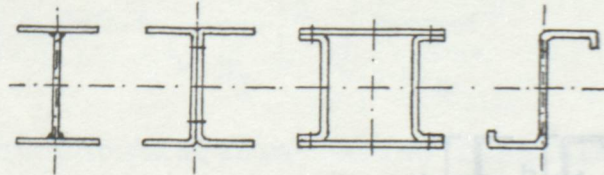
2.3 Özel Kontroller İstemeyen Elemanlar

Boyutlarla ilgili izleyen koşulları sağlayan elemanlarda, olağan çelik yapılar için gerekli kontrollerin yapılmasıyla yetinilebilir. Boyutlarla ilgili bağıntılarda b bir cildarin genişliğini t kalınlığını ve σ_e çeliğin elastiklik sınırını göstermektedir.

2.3.1 Basınç Çubukları

Burulma burkulmasının önlenmesi için izleyen şartlardan en az birinin sağlanması gerekir:

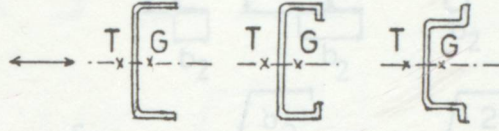
i- Kesitin ağırlık ve burulma merkezlerinin çakışması
(Birbirine dik çift simetri eksenli profiller)



Şekil 2.

ii- Kesitin boyutlarına göre, ağırlık merkezi ile burulma merkezi arasındaki uzaklığın küçük kalması ve burkulmanın

bu iki noktadan geçen düzlemde gerçekleşmesi (Ω , omega, gövdeleri düzleminde burkulan T profiller,.....)



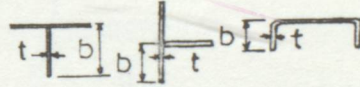
Şekil 3.

iii- Yapının diğer kısımlarına bağlantı nedeniyle burulmanın önlenmesi.

A- Narinliğin ≤ 75 olması durumunda kalınlığa ilişkin koşullar σ_e (t/cm^2)

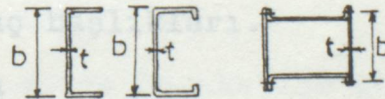
i- Boşta ucu bulunan cidarlarda

$$\frac{b}{t} \leq 15 \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}}$$

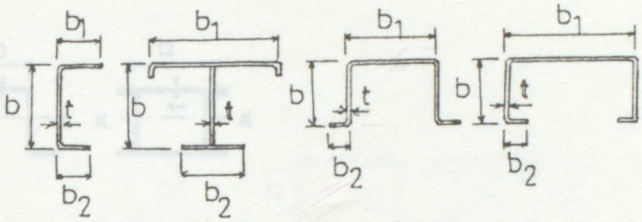


ii- Her iki kenarı eşit rijidlenmiş cidarlarda

$$\frac{b}{t} \leq 45 \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}}$$



iii- Her iki kenarı farklı rijid cidarlarda



$$\frac{b}{t} \leq \left[15 + 30 \sqrt{\frac{b_2}{b_1}} \right] \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}}$$

B- Narinliğin 75'i aşması durumunda kalınlığa ilişkin koşullar.

i- Boşta ucu bulunan cidarlarda

$$\frac{b}{t} \leq 0.2\lambda \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}}$$

ii- Her iki kenarı eşit rijidlikte cidarlarda

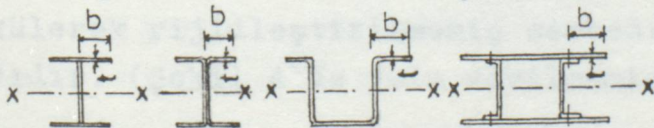
$$\frac{b}{t} \leq 0.6\lambda \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}}$$

iii- Her iki kenarı farklı rijidlikte cidarlarda

$$\frac{b}{t} \leq \left[0.2 + 0.4 \sqrt{\frac{b_2}{b_1}} \right] \lambda \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}}$$

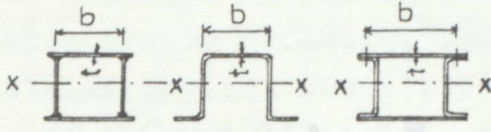
2.3.2. Eğilme Çubuklarının Basiñ Başlıkları.

i- Boşta ucu bulunan başlıklarda



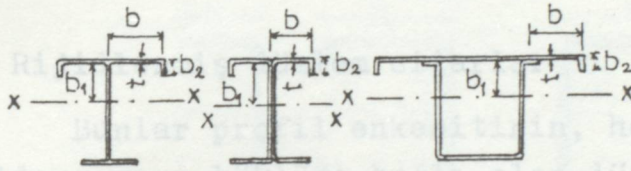
$$\frac{b}{t} \leq 15 \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}}$$

ii- İki gövdeyi birleştiren başlıklarda



$$\frac{b}{t} \leq 45 \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}}$$

iii- Gövde ve rijidlenmiş bir uç arasındaki başlık kısımlarında.



$$\frac{b}{t} \leq \left[15 + 30 \cdot \sqrt{\frac{b_2}{b_1}} \right] \cdot \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}}$$

BÖLÜM 3. YEREL BURUŞMA

3.1. Basınca Çalışan Düzlem Cidarların Hesabı.

Basınca çalışan düzlem cidarlar adı altında, tümüyle basınca çalışan profiller ile eğilmeye çalışan profillerin basınç başlıklarının düzlem kısımları gösterilmektedir. Buruşma hesabı açısından izleyen terimler kullanılmaktadır.

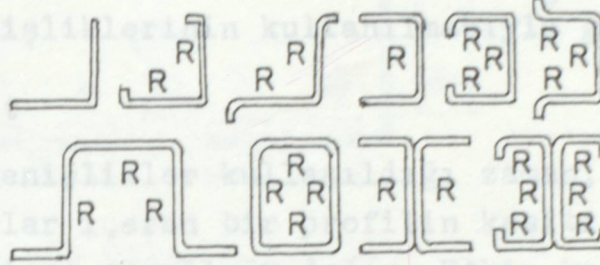
— Rijidleştirilmemiş düzlem cidarlar

Bunlar profilin enkesitinin enine hareketine göre bükülerek rijidleştirilmemiş serbest uçları bulunan cidarlardır. (Şekil 4'de isim verilmemiş düzlem kısımlar.)

Bunların enkesitinin enine hareketine göre bükülmesi ile kıyaslanmasın diye, bir σ_e buruşma katsayısı ile çarpılır.

- Etkin genişlik

Buruşma olayı, rijidleştirilmiş düzlem cidarları şekli değiştirmeye zorladığı zaman, bunların profilin mukavemetine katkısı azalır. Hesaplarla bu durum, b_0 ve b_0' yerine etkin b_e ve b_e' genişlikleri ile kabul edilir.



- Etkin kesit

Etkin genişlik, bir rijidleştirilmiş düzlem cidarın, basınca çalınan düzlem cidarları ile aynı mukavemeti sağlamak için de etkin bir kesite girme zorunluluğuna dogar. Etkin kesitte, rijidleyicilerin A_r alanı da A_{re} ya indirgenir. (Şekil 5.) A_{re} rijidleyicinin ağırlık momenti kabul edilir.

Şekil 4.

- Rijidlenmiş düzlem cidarlar

Bunlar profil enkesitinin, her iki uçları başka bir cidara veya bükümüne bağlı olan düzlem cidarlarıdır. (Şekil 4'de R işaretli.)

- Ara rijidlendirilmiş düzlem cidarlar

Rijidlenmiş bir düzlem cidar, kuvvet doğrultusunda ara rijidleyicilere de sahip olabilir. Böyle ara rijidlendirilmiş cidarların rijidleyiciler arasında kalan parçalarına ara cidarlar adı verilir.

- Genişlik-Kalınlık oranı

Genişlik-Kalınlık oranı, düzlem bir cidarın profil eksenine dik ve eğri kısımlar dışında tam düzlem olan b_0 genişliğinin t kalınlığa oranıdır. Ara cidarlarda genişlik b_0' ile oran da b_0'/t ile gösterilir.

- Buruşma katsayısı.

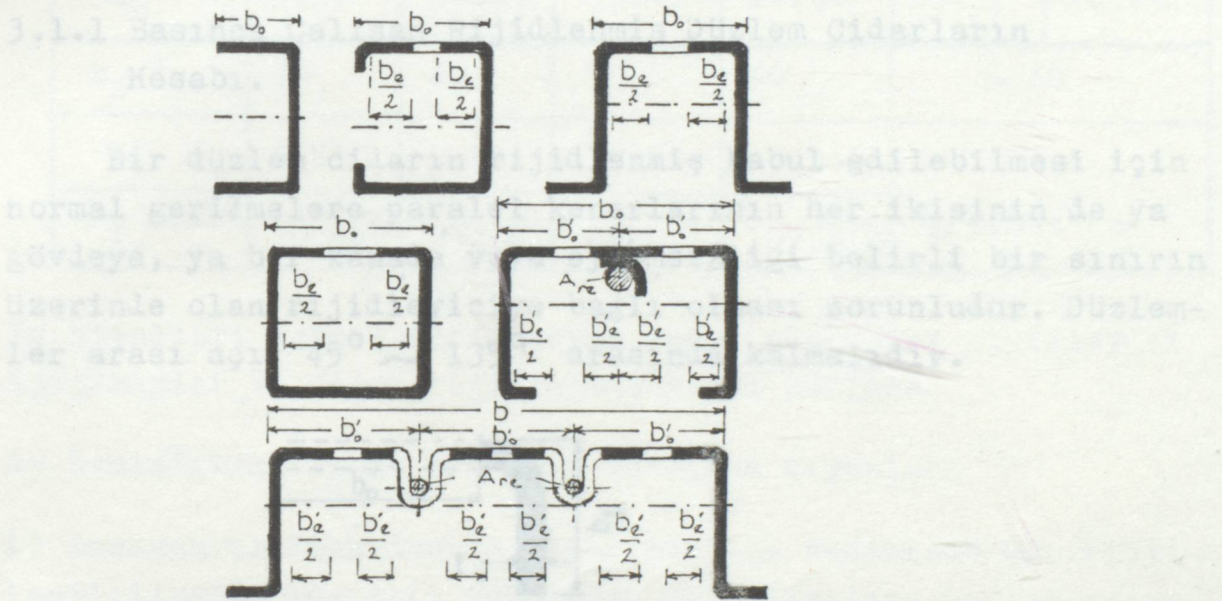
Rijidleştirilmemiş düzlem cidarların tahkikinde, ağırlıklı basınç gerilmesi ortalama değeri, σ_e elastiklik sınırı gerilmesi ile kıyaslanmadan önce, bir k_v buruşma katsayısı ile çarpılır.

- Etkin genişlik

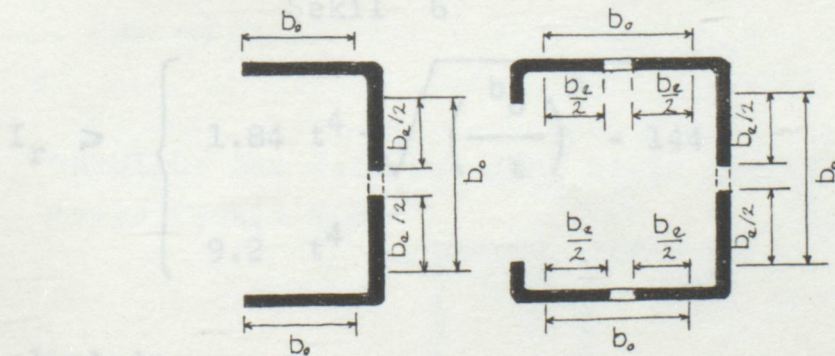
Buruşma olayı, rijidlendirilmiş düzlem cidarları şekil değiştirmeye zorladığı zaman, bunların profilin mukavemetine katkısı azalır. Hesaplarda bu durum, b_o ve b_o' yerine etkin b_e ve b_e' genişliklerinin kullanılmasıyla gözönüne alınır.

- Etkin kesit

Etkin genişlikler kullanıldığı zaman, basınca çalışan düzlem cidarlar içeren bir profilin kesiti için de etkin bir kesite gitme zorunluluğu doğar. Etkin kesitte, rijidleyicilerin A_r alanı da A_{re} ye indirgenir. (Şekil 5.) A_{re} rijidleyicinin ağırlık merkezinde kabul edilir.



Eğilmeye çalışan profil (basınç kenarı üstte)



olmalıdır. Rijidleyicilerden biri veya her ikisi de rijidleştirilmediği takdirde bu hesapların geçerliliği en az

$$b_t \geq \begin{cases} 2.8 \cdot t \cdot \sqrt{\left(\frac{b_o}{t}\right)^2 - 144} \\ 4.8 \cdot t \end{cases}$$

kadar olmalıdır. (Şekil 6.) Koşullar bir tabloda toplanabilir.

rijidleştirilmemiş Tablo 1. lara, veya bükülmüş cidarlara bağlanıyorsa

b_o/t	13	14	16	18	20	25
b_t	4.8t	5.4t	6.2t	6.7t	7.1t	7.8t
I_r	9.2t ⁴	13.2t ⁴	19.4t ⁴	24.6t ⁴	29.3t ⁴	40.2t ⁴
b_o/t	30	40	50	60	> 60	
b_t	8.5t	9.4t	10.2t	10.9t	$\approx 1.83t^3 b_o$	
I_r	50.5t ⁴	69.9t ⁴	89.0t ⁴	107.6t ⁴		

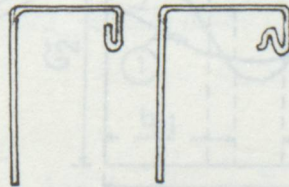
Bu koşulları gerçekleştiremeyen kenar elemanlar rijidleyici sayılmazlar ve cidar rijidlenmiş kabul edilmez.

A- Genişlik/Kalınlık oranının maksimum değerleri

i) Basınca çalışan düzlem cidar her iki kenarında da, rijidleştirilmemiş kaynaklı veya bükülmüş cidarlara bağlanıyorsa

$$\frac{b_o}{t} \leq 60$$

Bükülmüş bir kenardan daha etkin bir rijidleyiciye bağlanıyorsa (Şekil 7.)



Şekil 7.

$$\frac{b_o}{t} \leq 90$$

ii) Basınca çalışan düzlem cidar, bir tarafından rijidlenmiş bir cidara bağlı iken diğer taraftan

_ rijidleştirilmemiş bir cidara, veya bükümüne dayanıyorsa

$$\frac{b_o}{t} \leq 60$$

_ daha etkili bir rijidleyiciye bağlı ise

$$\frac{b_o}{t} \leq 90$$

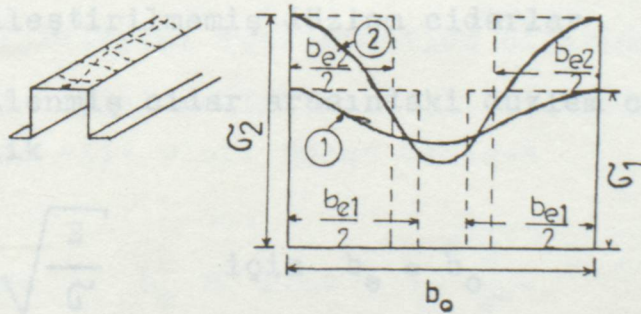
_ rijidlenmiş bir düzlem cidara bağlanıyorsa

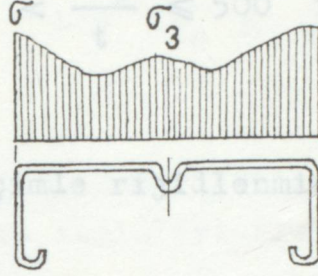
$$\frac{b_o}{t} \leq 500$$

alınmalıdır.

B- Kıyaslama Gerilmesi

Rijidlenmiş bir düzlem cidara etkiyen basınç zorları belirli bir değeri aştıklarında, buruşmadan ileri gelen şekil değiştirmeler kayda değer bir duruma gelirler. Cidar düzlemligini kaybeder ve uzunluğu yeterli ise alternatif bombelikler gösteren kare panolar ağına dönüşür. (Şekil 8a)





Şekil 8.

Basınç zoruna paralel her bir lif burkulma eğilimine girer ancak enine lifler tarafından, rijidlenmiş kenarlara yakın olduğu ölçüde tutulur. Cidara etkiyen toplam basınç zoru elastik olarak tutulan boyuna liflere gösterebilecekleri dirence göre dağılır. Rijidlenmiş kenarlar yanındaki gerilmeler daha yüksek olur.

Basitleştirme amacı ile, kenarlarda $b_e < b_o$ genişliğine düzgün yayılı σ gerilmeleri ile çalışılır. Ancak, b_e etkin genişlikleride gerilmeye bağlı olarak değiştiklerinden (Şekil 8b: $\sigma_2 > \sigma_1$), genelde ardışık bir hesaplama gerekirse, izleyen alt bölümlerde, ara rijidleyici alanının azaltılmasına (A_r yerine $A_{re} = A_r \sigma_3 / \sigma$) dayanan basitleştirilmiş yaklaşık yöntemler verilecektir.

Mukavemet hesaplarına ağırlıklı gerilme olarak alınır. Şekil değiştirmelerde ise ağırlıksız kullanılır.

Ara rijidleyicilerin varlığı, gerilme yayılışını etkiler (Şekil 8c.) Ancak ara rijidleyici hizasındaki gerilme değeri kenar gerilmesininkinden küçüktür.

C- Ara rijidleştirilmemiş düzlem cidarlar

i- İki rijidlenmiş cidar arasındaki düzlem cidarlarda, eşdeğer genişlik

$$\frac{b_o}{t} \leq 1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \quad \text{için} \quad b_e = b_o$$

$$1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} < \frac{b_o}{t} \leq 500 \quad \text{için} \quad b_e = 1.64 t \sqrt{\frac{E}{\sigma}}$$

alınır.

ii- Başka biçimde rijidlenmiş düzlem cidarlarla eşdeğer genişlik

$$\frac{b_o}{t} \leq 1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \quad \text{için} \quad b_e = b_o$$

$$1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} < \frac{b_o}{t} \leq 60 \quad \text{için} \quad b_e = 1.64 t \sqrt{\frac{E}{\sigma}}$$

$$60 < \frac{b_o}{t} \leq 90 \quad \text{için} \quad b_e = \left(1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} - \frac{b_o}{10t} + 6 \right) \cdot t$$

alınır.

$b_o/t \leq 60$ ise kenar rijidleyicilerin alanı tamamen gözönüne alınır: ($A_{re} = A_r$).

$$60 < \frac{b_o}{t} \leq 90 \quad \text{ise}$$

$$\frac{A_{re}}{A_r} = 1 - \left(\frac{b_o}{30t} - 2 \right) \left(1 - \frac{b_e}{b_o} \right)$$

alınmalıdır.

D- Sık ara rijidleyici içeren düzlem cidarlar

Ara rijidleyici aralıkları eşit olmalıdır. Böylece b'_o genişlikleride eşit olur. Bunun dışı

$$\frac{b'_o}{t} \leq 60 \quad \text{ise} \quad b'_o \leq 1.64 t \sqrt{\frac{E}{\sigma}}$$

$$\frac{b_o}{t} > 60 \quad \text{ise} \quad b_o \leq \left(1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} - \frac{b_o}{10t} + 6 \right) \cdot t$$

olmalıdır.

Kendi ağırlık merkezinden geçen ve cidara paralel eksene göre, ara rijidleyicilerin eylemsizlik momenti

$$I_r \geq \begin{cases} 3.66 t^4 \sqrt{\left(\frac{b_o}{t}\right)^2 - 144} \\ 18.4 t^4 \end{cases}$$

olmalıdır.

Bu durumda, ara rijidleyici yokmuş gibi, toplam cıdaların b_o genişliği ile (3.1.1-C) gibi çalışılır; ancak gerçek t kalınlığı yerine t_e etkin kalınlığı kullanılır.

$$t_e = t \sqrt[3]{\frac{b_o}{2a} + \sqrt{\frac{3I_s}{at^3}}}$$

burada:

a = cidarın iki kenarı arasında açılım uzunluğu.

I_s = cidarın ara rijidleyiciler dahil toplam ataleti.

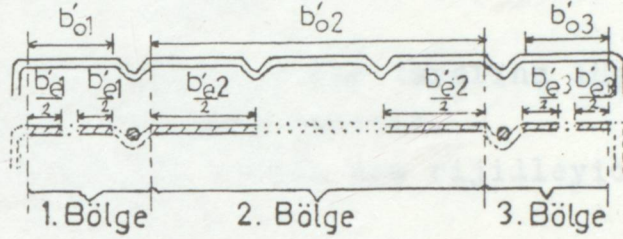
Ara rijidleyicileriyle cidar genişliğini b_o yerine b_e alarak, ancak t kalınlığı korunmak koşuluyla ve b_e nin konumunu ana eylemsizlik ekseninde kabul ederek de hesap yapılabilir.

E- Seyrek ara rijidleyiciler içeren düzlem cıdarlar.

Bu durumda,

$$\frac{b_o}{t} \leq 60 \quad \text{ise} \quad \max b_o > 1.64 t \sqrt{\frac{E}{\sigma}}$$

ii- İki rijidlenmiş cidar arasındaki cidarda iki etkin ara rijidleyici varsa (Şekil 9.)



Şekil 9.

$$(b'_{o1} = b'_{o3})$$

Herbir ara cidar için etkin b'_e genişlikleri belirlenir,

$$1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} < \frac{b'_{oi}}{t} \leq 60 \quad \text{ise} \quad b'_{ei} = 1.64 t \sqrt{\frac{E}{\sigma}}$$

$$\frac{b'_{oi}}{t} > 60 \quad \text{ise} \quad b'_{ei} = \left(1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} - \frac{b'_{oi}}{10t} + 6 \right) \cdot t$$

alınır. Ara rijidleyicilerin etkin alanları ise

$$\frac{b'_{o1}}{t} = \frac{b'_{o3}}{t} \leq 60 \quad \text{ise} \quad \frac{A_{re}}{A_r} = 1$$

$$60 < \frac{b'_{o1}}{t} \leq 90 \quad \text{ise} \quad \frac{A_{re}}{A_r} = 1 - \left(\frac{b'_{o1}}{30t} - 2 \right) \cdot \left(1 - \frac{b'_{e1}}{b'_{o1}} \right)$$

$$\frac{b'_{o1}}{t} > 90 \quad \text{ise} \quad \frac{A_{re}}{A_r} = \frac{b'_{e1}}{b'_{o1}}$$

bağıntılarından belirlenir.

iii- Bir rijidlenmiş cidar ve bir uç rijidleyici arasındaki cidarlar.

Genelde iki rijidlenmiş cidar arasında kalan cidar gibi hareket edilir. Ancak:

- Yalnız, rijidlenmiş cidar tarafına düşen tek bir ara rijidleyiciye etkinlik tanınır.
- Uç rijidleyicisi kesiti ara rijidleyici yokmuş gibi saplanır. (3.1.1-C ii)

3.1.2. Basınca Çalışan Rijidleştirilmemiş Düzlem Cidarların Hesabı.

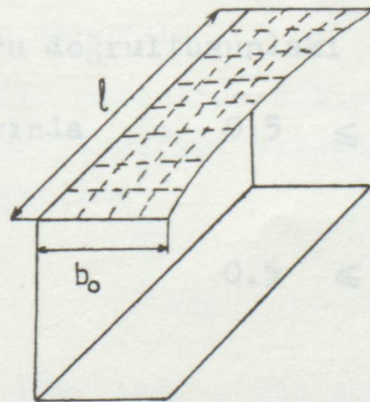
Burada verilen bağıntılar,

$$\frac{b_0}{t} \leq 60$$

kaldıkça geçerlidirler.

A- Kontrol işleminin dayanağı

Kendi düzleminde etkiyen bir basınç zoru altındaki rijidleştirilmemiş bir düzlem cidar, buruşur yani şekil değiştirirken düzlemden ayrılır. Basınç zoruna paralel her boyuna lif burkulmaya zorlanır, ancak enine lifler tarafından da engellenirler. Burkulma serbest kenardan uzaklaştıkça kısıtlanır. (Şekil 10.)



Şekil 10

Açıklanan nedenle, rijidleştirilmemiş bir cidara etkiyen basınç zoru belirli bir değeri aşınca buruşmaya ilişkin şekil değiştirmeler kayda değer ölçüde artarlar. Cidar yük taşıma olanağını kaybetmezse de, aşırı şekil değiştirmelerden kaçınmak gerekir. Bu nedenle ağırlıklı ortalama basınç gerilmesi bir k_v buruşma katsayısıyla çarpıldıktan sonra elastik sınır ile kıyaslanır.

$$k_v \cdot \sigma \leq \sigma_e$$

B- Buruşma katsayısının değeri.

i. Buruşma sakıncasının olmaması durumu

$$\frac{b_o}{t} \leq \frac{25.50}{\sigma_e} \quad \text{ise} \quad k_v = 1$$

alınabilir. (σ_e birimi t/cm^2)

ii. Köşebent kolları ve benzerleri: (bir kenarlarından rijidleştirilmemiş bir veya birkaç diğer cidara bağlı cidarlar)

$$k_v = 1 - \frac{0.88 + \sigma_e}{981} \left(\frac{b_o}{t} - \frac{25.50}{\sigma_e} \right)^2$$

iii. Basınç zoru doğrultusundaki l boyları kısa elemanlar

$$\text{köşebent kollarında} \quad 0.5 \leq \frac{l}{b_o} \leq 4.45$$

$$\text{başlıklarda} \quad 0.5 \leq \frac{l}{b_o} \leq 1.48$$

$$\text{ise} \quad k_v = 1 + \frac{0.88 + \sigma_e}{883 + 1942 \frac{b_o^2}{l^2}} \left(\frac{b_o}{t} - \frac{25.5}{\sigma_e} \right)^2 \quad \text{alınır.}$$

3.1.3. Basınca Çalışan Silindirik Elemanlar.

Burada yalnız doğrultmanları basınç zoruna paralel silindirik elemanlar gözönüne alınacaklardır. (Şekil 11.)



Şekil.11

R eğrilik yarıçapı olmak üzere

$$\frac{R}{t} \leq \frac{118}{\sigma_e}$$

kaldıkça hiçbir önlem alınmasına gerek yoktur.

Bu koşul sağlanmıyorsa k_v buruşma katsayısı kullanılır.

$$k_v = \frac{R}{t} \frac{\sigma_e}{330} + \frac{212t}{R \sigma_e + 212t}$$

Eğer uygulanan yükler altında kesit şekli bozuluyorsa, R için en büyük eğrilik yarıçapı alınmalıdır. (4.3.1 örnekleri).

BÖLÜM 4. EĞİLME ELEMANLARINDA KONTROLLER

4.1. Başlıkların Kontrolü

I eylemsizlik momentine sahip bir kesit bir M eğilme momentine maruzsa, tarafsız eksen den y uzaklığındaki bir noktada normal gerilme

$$\sigma_f = \frac{M}{I} y$$

ile belirlenir. Eğer kesit, basınca çalışan buruşabilecek rijidleştirilmiş düzlem cidarlar içeriyorsa, tarafsız eksen ve I eylemsizlik momenti eşleğer kesitine eş alınır.

B- Kontrolde birçok olayın gözönüne alınmaları gerekebilir:

-plastikleşme

-buruşma

-yanal burkulma

-serbest cidarların burkulması

-kısa kirişlerin özel davranışı

4.1.1. Plastikleşmeme Kontrolu

σ_f ağırlıklı eğilme gerilmesi, kesitin hiçbir noktasında σ_e değerini aşmamalıdır.

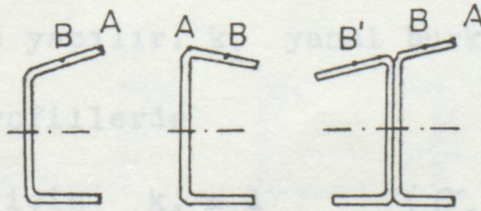
4.1.2. Basınç Başlığının Buruşmama Kontrolu

A- Başlıklar rijidleştirilmemiş düzlem cidarlardan birleşikse, her başlık kanadının k_v buruşma katsayısı (3.1.2.) ye göre belirlenir ve en çok zorlanan lif için hesaplanan σ_f gerilmesinin

$$k_v \cdot \sigma_f \leq \sigma_e$$

koşulunu sağladığı gösterilir.

Basınç başlığı (Şekil 12) deki gibi bir eğrilik gösteriyorsa, yukarıdaki bağıntı, düzlem kanatların B ve B' orta noktalarında kontrol edilmelidir. Bu durumda (4.1.1)'e uygun olarak A noktalarında $\sigma_f < \sigma_e$ kontrolu da yapılmalıdır.



Şekil 12.

B- Başlıklar rijitlenmiş düzlem cırlarlardan bileşikse.

i. Genel yöntem:

(3.1.1)'de açıklanan şekilde σ_f parametresine bağlı eşdeğer bir başlık alanı bulunur. Buna göre belirlenen kesit karakteristikleriyle hesaba, aralık yaklaşımlarla devam edilir.

ii. Basitleştirilmiş yöntem:

Eşdeğer kesitin karakteristikleri, basınç başlığındaki gerilme σ_e ye eşitmiş gibi hesaplanır. Sonra bu kesite göre basınç ve çekme başlıklarındaki σ_f değerleri hesaplanarak σ_e den küçük kaldıkları gösterilir. Basitleştirilmiş yöntem güvenlik tarafında %5 mertebesinden küçük bir yaklaşıklığa sahiptir.

4.1.3. Yanal Burkulma Kontrolu.

A- Yanal burkulma kontrolu yapılmasının gerekmediği durumlar

- Eğer I_x eylemsizlik momenti I_y eylemsizlik momentinden küçükse,

- Eğer çubuk, aynı λ_y narinlik derecesi ile, A. σ_f değerindeki bir basınç kuvvetini taşıyabiliyorsa yanal burkulma kontrolu gereksizdir.

B- Tek gövdeli profillerde kontrol.

I, U ve Z genel biçimli bükme profillerde, yanal burkulma kontrolu, k_d yanal burkulma katsayısı olmak üzere

$$k_d \cdot \sigma_f \leq \sigma_e$$

bağıntısı ile yapılır. k_d yanal burkulma katsayısı

i. I ve U profillerde

$$\lambda_y \leq \frac{107}{\sqrt{\sigma_e}} \quad \text{için} \quad k_d = 1 \quad (\sigma_e : t/cm^2)$$

$$\lambda_y > \frac{107}{\sqrt{\sigma_e}} \quad \text{için} \quad k_d = \left(0.5 - \frac{2511}{\sigma_e \lambda_y^2} \right) \left(\frac{31880}{\sigma_e \lambda_y^2} - 0.5 \right) + \frac{\sigma_e \cdot \lambda_y^2}{31880}$$

ii. Z profillerinde

$$\lambda_y \leq \frac{75.8}{\sigma_e} \text{ için } k_d = 1 \quad (\sigma_e : t/cm^2)$$

$$\lambda_y > \frac{75.8}{\sigma_e} \text{ için } k_d = \left(0.5 - \frac{1256}{\sigma_e \cdot \lambda^2}\right) \cdot \left(\frac{15940}{\sigma_e \cdot \lambda^2} - 0.5\right) + \frac{\sigma_e \cdot \lambda^2}{15940}$$

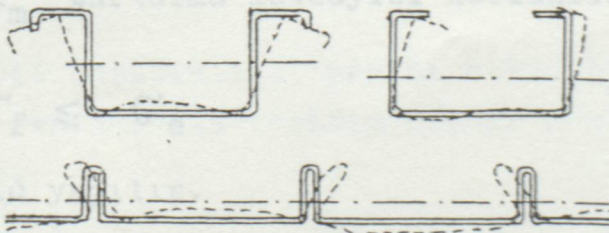
değerinde alınır.

C- Çok gövdeli profillerde kontrol

Çok gövdeli sözü birbirinden ayrık durumda iki gövdeyi ifade eder. Bu tür profiller için kesin kurallar yoktur ve deneysel bir yaklaşım gerekebilir. Ancak pratikte birçok halde $I_x < I_y$ durumuyla karşılaşılır.

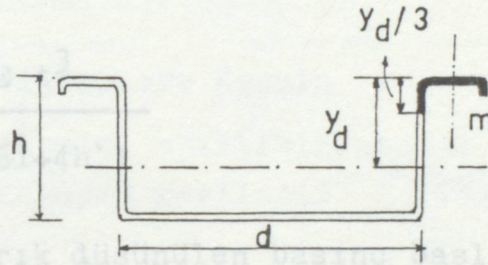
4.1.4. Yanal Bağlantısız Basınç Başlığı Durumunda Burkulma.

Çok gövdeli eğilme çubuklarında, gövdelerin birbirleriyle bağlantısının yalnız bir tarafta olması durumuyla sık karşılaşılır: Omega ve yatık $\square$ kesitler gibi. Eğer söz konusu bağlantı çekme tarafında ise, yanal bağlantısız basınç başlıkları yanal burkulabilirler. Ancak bu durum tüm kesitin deformasyonunu işin içine sokar ve ortamda burkulma sorununa götürür. (Şekil 13)



Şekil 13

Bu durumdaki bir kesitin stabilitesinin belirlenmesi oldukça karmaşık olup genelde deneylerle çözümlenir. Bununla birlikte çift gövdeli ve eğilme düzlemine göre simetrik kesitler için basitleştirilmiş bir yöntem uygulanabilir. y_d basınç kenarının kesitin tarafsız eksenine uzaklığı olmak üzere, başlık basınç kenarından $y_d/3$ uzaklıktan kesilmiş farzedilir. (Şekil 14) m eksen bu parçanın ağırlık merkezinden gövveye paralel olarak geçen eksen olmak üzere: A_m , I_m ve bunlardan i_m hesaplanır.



Şekil 14

Eğer basınç başlıkları yok farzedilir ve gövdeler bu başlıkların burulma merkezine kadar uzatılarak çubukun birim boyu için bu uzatılmış gövde uçlarının birim yanal deformasyon yapması için bu noktalara uygulanması gereken zıt yönlü kuvvetlere β elastik sabiti adı verilirse

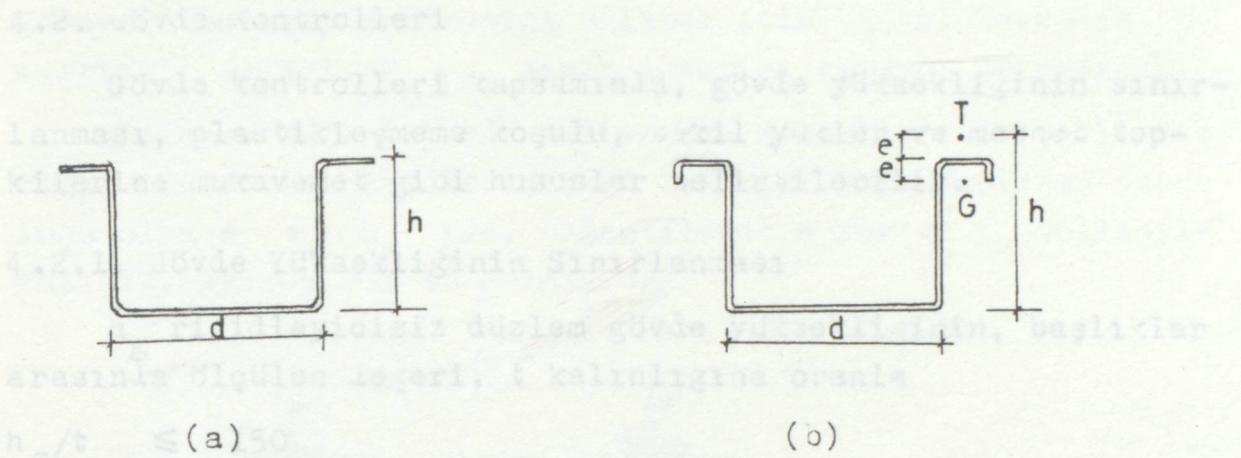
$$\lambda_m = \frac{\pi}{i_m} \sqrt{\frac{E I_m}{4 \beta}}$$

narınlık derecesi bulunur. Buradan basınç çubuklarına ilişkin k_m burkulma katsayısı kullanılarak

$$k_m \cdot \sigma_f \leq \sigma_e$$

kontrolü yapılır.

Birbirlerinden d uzaklıklı iki gövdeli ve t et kalınlıklı düz cıvarlı bir kesitte (Şekil 15a ve 15b).



Şekil 15

$$\beta = \frac{E t^3}{h'^2 (6d + 4h')}$$

olur. T ayırık düşünülen basınç başlığının burulma merkezidir. Gövdeleri bağlayan çekme alt başlığı bükümler içeriyorsa d açılmış uzunluk olarak alınmalıdır.

4.1.5. Tekil Yüklü Kısa Kirişlerdeki Kontroller

l = basit kirişte açıklık, sürekli kirişte moment sıfır noktaları arasındaki uzaklık ve konsol kirişte konsol uzunluğunun 2 katı alınmak,

b' = çok gövdeli bir eğilme elemanında aralıklık iki gövdenin birbirinden uzaklığının yarısı, tek gövdeli eğilme elemanında başlık açılımlı genişliği alınmak üzere

$$\frac{l}{b'} \leq 30$$

ise kesit hesabında b' yerine etkin b_e değeri kullanılmalı ve σ_f bu durumda kesitin hiçbir noktasında σ_e yi aşmamalıdır.

$$b_e = \frac{1}{0.8 + 6 \frac{b'}{l}} b'$$

4.2. Gövde Kontrolleri

Gövde kontrolleri kapsamında, gövde yüksekliğinin sınırlanması, plastikleşme koşulu, tekil yükler ve mesnet tepkilerine mukavemet gibi hususlar belirtilebilir.

4.2.1. Gövde Yüksekliğinin Sınırlanması

h_g rijidleyicisiz düzlem gövde yüksekliğinin, başlıklar arasında ölçülen değeri, t kalınlığına oranla

$$h_g/t \leq 150$$

sınırını aşmamalıdır.

4.2.2. Plastikleşme Koşulu

Her noktada, ağırlıklı normal gerilme $\sigma \leq \sigma_e$ ve ağırlıklı kayma gerilmesi $1.54\tau \leq \sigma_e$ koşulunu sağlamalıdır.

İki başlık ve tek gövdeleli profillerde, en küçük başlık alanı toplam alanın %15'ini aşıyorsa, A_g gövde alanı olmak üzere

$\tau = T/A_g$ alınabilir.

4.2.3. Buruşmama Koşulu

Eğer gövde kiriş eksenine dik enine rijidleştiriciler içermiyorsa, her dik enkesitte ağırlıklı normal gerilmenin σ değeri ile ağırlıklı kayma gerilmesinin τ değeri

$$\left(\frac{\sigma}{4.5}\right)^2 + \tau^2 \leq 23.33 \cdot 10^2 \left(\frac{t}{h_g}\right)^4$$

eşitsizliğini sağlamalıdır.

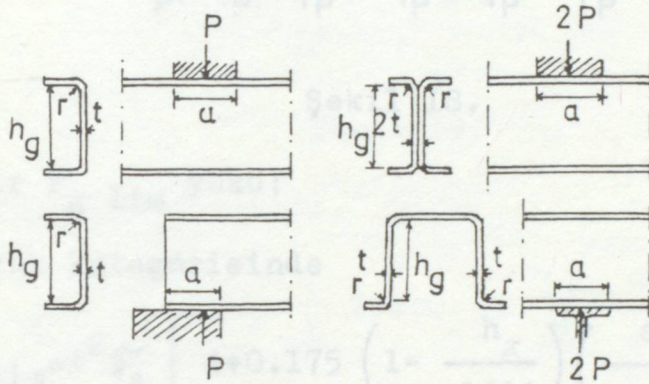
Eğer gövdele enine rijidleştiriciler varsa, gövde stabilitesi ve rijidleştiriciler için olağan çelik yapılar gibi davranılır.

4.2.4. Tekil Kuvvetlere mukavemet.

Bir tekil yük ya da mesnet tepkisi hizasında, düzlem

gövdenin buruşup ezilmesini önlemek için, tekil kuvvetin ağırlıklı değeri, P_g lim sınır değerini aşmamak zorunludur.

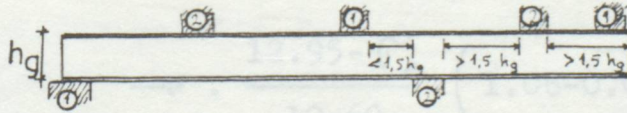
İzleyen bağıntılarda kullanılan semboller bir şekil üzerinde gösterilmişlerdir. (Şekil 16) Eğer yük uygulanma uzunluğu olan $a > h_g$ ise, bağıntılarda a yerine h_g kullanılmalıdır. Ayrıca $r \leq 4t$ olmalıdır.



Şekil 16.

Yükler genelde iki kategoride ele alınırlar:

1. kategoride: kirişlerin uç mesnet tepkileri, konsol ucundaki tekil kuvvetler ile bir mesnet veya konsol ucuna uzaklıkları $\leq 1.5 h_g$ olan tekil yükler yer alır (Şekil 17). Bunların gövdeye etkisi daha elverişsizdir.

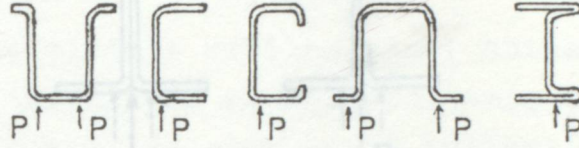


Şekil 17.

2. kategoride: ara mesnetlerin tepkileri ile, bir mesnet veya konsol ucuna uzaklıkları $> 1.5 h_g$ olan tekil yükler girer (Şekil 17).

A- Gövdenin yüke göre dışmerkez olması durumu.

Bu durumla U ve omega profillerde karşılaşılır (Şekil 18). Tekil yük gövdeye göre dışmerkez konumdadır.



Şekil 18.

Sınır P_g lim yükü:

1. yük kategorisinde

$$P_g \text{ lim} = t^2 \sigma_e \left[4 + 0.175 \left(1 - \frac{h_g}{191t} \right) \left(\frac{a}{t} + 0.5 \right) \right] \cdot \frac{9.42 - \sigma_e}{7.06} \dots$$
$$\rightarrow \cdot \left(1.15 - 0.15 \frac{r}{t} \right)$$

2. yük kategorisinde

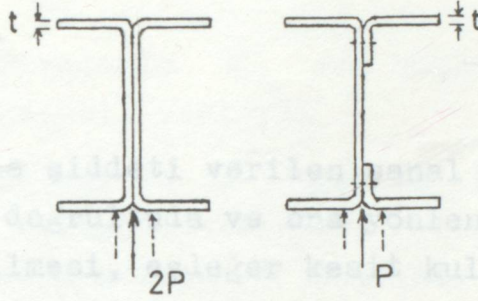
$$P_g \text{ lim} = t^2 \sigma_e \left[7.4 + 0.096 \left(1 - \frac{h_g}{256t} \right) \left(\frac{a}{t} + 55.5 \right) \right]$$
$$\rightarrow \cdot \frac{12.95 - \sigma_e}{10.60} \left(1.06 - 0.06 \frac{r}{t} \right)$$

bağıntılarıyla elde edilir.

$$\left(\sigma_e \rightarrow t/\text{cm}^2 ; t \rightarrow \text{cm} ; P \rightarrow t \right)$$

B- Gövdenin yükle çakışması durumu

Bu durumla çift U profiller ve benzerlerinde karşılaşılır (Şekil 19). Sınır P_g lim yükü:



Şekil 19.

1. yük kategorisinde:

$$P_g \text{ lim} = t^2 \cdot \sigma_e \left(7.4 + 0.93 \sqrt{\frac{a}{t}} \right)$$

2. yük kategorisinde:

$$P_g \text{ lim} = t^2 \cdot \sigma_e \left(11.1 + 2.41 \sqrt{\frac{a}{t}} \right)$$

bağıntılarıyla elde edilir.

4.3. Eğilme Elemanlarının Şekil Değiştirmeleri.

Rijidleştirilmiş düzlem basınç cidarlarında eşdeğer kesit karakteristiklerinin kullanılması koşuluyla, mukavemetin olağan yöntemleri şekil değiştirme hesabında kullanılabilir.

Eşdeğer kesitin gerilme değerlerine bağlı olması nedeniyle hesabın karmaşıklığını önlemek için, güvenlik tarafında kalan bir yaklaşımla maksimum momente tekabül eden gerilme değeri kullanılabilir.

4.3.1. Eğilmeden İleri Gelen Kesit Bozulmaları

Bir çubukun eğilmesi kesitte enine gerilmeler ve dolaşısıyla şekil değiştirmeler de oluşturur. İnce cidarlı çubukların dışında etkileri önemsiz olan bu şekil değiştirmeler, burada incelenmek zorundadır.

eğer profil cidarları yerel burkulma olmayan σ_e değerinde bir basınç gerilmesi taşıyabiliyorsa

$$k_r \cdot \sigma \leq \sigma_e$$

herhangibir nedenle σ_e den küçük bir σ_r basınç gerilmesi taşıyabiliyorlarsa

- ya k bağıntısında σ_e yerine σ_r koyarak duruma uygun bir k_r burkulma katsayısı kullanılır.

- ya da aynı uyarılama λ üzerinde yapılır.

$$\lambda_r = \lambda \cdot \sqrt{\frac{\sigma_r}{\sigma_e}} \rightarrow k_r$$

ve

$$k_r \cdot \sigma \leq \sigma_r$$

kontrolü yapılır.

5.3. Yalnız Rijidlenmiş Cidarlardan Bileşik Profiller.

Herbir rijidleştirilmiş düzlem cidar için eşdeğer genişlik ve gerekli ise, gerilme değeri σ_e ye eşit alınarak azaltma katsayısı belirlenir (3.1.1).

Böylece profilin tamamı için eşdeğer bir kesit belirlenerek (3.1)'e göre A_e alanı I_e eylemsizlik momenti ve bunlardan $i_e = \sqrt{I_e/A_e}$ eylemsizlik yarıçapı saptanır.

$$\lambda_e = l / i_e$$

eşdeğer narinlik derecesi bulunarak buradan (5.2) de verilen bağıntı ile k_e eşdeğer burkulma katsayısı hesaplanır.

$$\sigma = N/A_e$$

olmak üzere

$$k_e \cdot \sigma \leq \sigma_e$$

kontrolü yapılır.

5.4. Rijidleştirilmemiş Cidarları ve/veya Serbest Parçaları Olan Profiller.

En büyük b_o/t oranı olan düzlem cidar ele alınır ve k_v buruşma katsayısı (3.1.2) uyarınca bulunur. Serbest bağlı parçalar durumunda (4.1.4) uyarınca k_m katsayısı da bulunur ve $k_m > k_v$ ise, izleyen bağıntılarda k_v yerine k_m kullanılır.

Herbir rijidleştirilmiş düzlem cidar için eşdeğer genişlik ve gerektiğinde rijidleştirici alanını azaltıcı azaltma katsayısı, (3.1.1.) uyarınca ve σ_e / k_v değerinde bir gerilme için hesaplanır.

Bu şekilde profilin tamamı için belirlenen eşdeğer kesitin (3.1.) uyarınca A_e alanı ve I_e eylemsizlik momentleri ve bunlardan i_e eylemsizlik yarıçapı bulunur.

$$\lambda_r = \frac{l}{i_e} \sqrt{\frac{1}{k_v}}$$

azaltılmış narinliği ile (5.2) deki bağıntıdan k_r burkulma katsayısı bulunur ve

$$\sigma = \frac{N}{A_e}$$

olmak üzere

$$k_v \cdot k_r \cdot \sigma \leq \sigma_e$$

kontrolü yapılır.

5.5. Maksimum Eylemsizlik Doğrultusunda Burkulma.

Çubuğun dış bağlantı düzeni nedeni ile, minimum eylemsizlik doğrultusunda belirli bir burkulma boyu ile kontrolü yapılırken, maksimum eylemsizlik doğrultusunda da başka bir burkulma boyu ile tahkiki gerekebilir.

Maksimum eylemsizlik doğrultusundaki burkulmada yanıl burkulma da söz konusu olabileceğinden (4.1.3.) uyarınca k_d katsayısı belirlenir.

(5.3) ve (5.4) de belirtilen kontrollere ek olarak, yalnız rijidleştirilmiş cidarlar varsa

$$k_d \cdot k_e \cdot \sigma \leq \sigma_e$$

ya da rijidleştirilmemiş cidarlar veya serbest parçalar varsa

$$k_v \cdot k_d \cdot k_r \sigma \leq \sigma_e$$

kontrolü yapılmalıdır. Bu durumda k_d , σ_e/k_v ye göre hesaplanır.

Burada k_d katsayısı hesabı için gözönüne alınan l boyunun her zaman burkulma boyuna eşit olmadığını belirtmek gerekir. l boyu kesitin dönmeye engel olan dış bağlar arasındaki uzaklıktır.

5.6. Eşit Kollu Köşebentler Özel Durumu.

Aşırı olmayan narinlik derecelerinde, köşebentlerin burkulması daima burulma ile karışıktır. Burada deney sonuçlarına dayanan bir yöntem verilmektedir.

5.6.1. Minimum Eylemsizlik Doğrultusunda Burkulma.

Kolların k_v burkulma katsayısı (3.1.2-B ii) uyarınca belirlenir. Ayrıca köşebentin

$$i_v = (b-t)/4.9$$

minimum eylemsizlik yarıçapı kullanılarak (5.2) uyarınca k burkulma katsayısı hesaplanır. σ ağırlıklı ve burkulmasız basit basınç normal gerilmesi kullanılarak

$$k_v \left(1 + \frac{\lambda}{90} \right) \cdot \sigma \leq \sigma_e$$

ve

$$k \cdot \sigma \leq \sigma_e$$

kontrolleri yapılır.

5.6.2. Bir Kol Doğrultusunda Burkulma.

Minimum eylemsizlik doğrultusunda burkulma engellenmişse söz konusudur. k_v benzer şekilde belirlenir. Ayrıca köşebentin

$$i_x = (b-0.4t)/3.1$$

kolları paralel eylemsizlik yarıçapı kullanılarak (5.2) uyarınca k burkulma katsayısı hesaplanır. σ ağırlıklı basit basınç gerilmesi olmak üzere

$$k_v \cdot \left(1 + \frac{\lambda}{360}\right) \cdot \sigma \leq \sigma_e$$

$$k \cdot \sigma \leq \sigma_e$$

kontrolleri yapılır.

BÖLÜM 6. EĞİLMEYE VE BASINCA ÇALIŞAN ÇUBUKLAR

6.1. Geçerlik Alanı

Bu bölümde verilen yöntemler (5.1) de tanımlanan profiller için geçerlidir.

6.2. Ön Kontroller

Önce çubuğun

- Eğilme olmaksızın yalnız basınç (5)
 - Basınç olmaksızın yalnız eğilme (4)
- altında stabilitesi araştırılır.

6.3. Kontrol Genel Bağıntısı

Kesitin her noktasında

$$\sigma + \sigma_{fx} + \sigma_{fy} \leq \frac{\sigma_e}{k_v}$$

$$k_r \cdot \sigma + k_d k_{fx} \cdot \sigma_{fx} + k_{fy} \cdot \sigma_{fy} \leq \frac{\sigma_e}{k_v}$$

kontrolleri yapılır. Düz eğilme ve aynı düzlemde burkulma durumunda

$$k_r \cdot \sigma + \sigma_f \leq \frac{\sigma_e}{k_v}$$

kontrolü yeterlidir.

Eğik eğilme için de, daha basitleştirilmiş olarak

- Eğer $k_{rx} > k_{ry}$ ise

$$k_{rx} \cdot \sigma + k_d \cdot \sigma_{fx} + \frac{1 + (k_{ry} - 1) k_v \cdot \sigma / \sigma_e}{1 + (k_{rx} - 1) k_v \cdot \sigma / \sigma_e} \cdot \sigma_{fy} \leq \frac{\sigma_e}{k_v}$$

- Eğer $k_{ry} > k_{rx}$ ise

$$k_{ry} \cdot \sigma + \sigma_{fy} + \frac{1 - (k_{rx} - 1) k_v \cdot \sigma / \sigma_e}{1 - (k_{ry} - 1) k_v \cdot \sigma / \sigma_e} k_d \cdot \sigma_{fx} \leq \frac{\sigma_e}{k_v}$$

kontrolleri kullanılabilir.

Bu bağıntılarda:

σ = Ağırlıklı basit basınç gerilmesi: N/A veya N/A_e

σ_f = Eğilmeden ileri gelen ağırlıklı basınç gerilmesinin en büyük değeri

σ_{fx} = Büyük eylemsizlik eksenine göre eğilmeye ilişkin gerilme.

σ_{fy} = Küçük eylemsizlik eksenine göre eğilmeye ilişkin gerilme.

k_v = (5.4) uyarınca belirlenen buruşma katsayısı. Serbest parçalar durumunda $k_m > k_v$ ise k_v yerine k_m kullanılır.

k_d = (4.1.3) uyarınca belirlenen yanal burkulma katsayısı.

k_r = λ_{rx} ve λ_{ry} narinliklerinden büyüğüne ilişkin azaltılmış burkulma katsayısı (Eğer ele alınan nokta, rijidleştirilmemiş bir cidar ya da serbest hareketli bir cidar üzerinde bulunmuyorsa λ_x ve λ_y).

k_f = Eğilme gerilmesine ilişkin katsayı.

$$k_f = \frac{C_m}{1 - \frac{\sigma}{\sigma_K}}$$

$$\sigma_K = \frac{\pi^2 E}{\lambda_r^2}$$

C_m = Düğüm noktaları hareketli sistemlerde;
 $C_m = 0.85$ (çubuk çift eğrilikli eğiliyorsa)
 $C_m = 1$ (çubuk tek eğrilikli eğiliyorsa)

C_m = Düğüm noktaları sabit sistemlerde;
 $C_m = 1$ çubuk enine doğrultuda yüklü ise

$$C_m = \sqrt{0.3(1 + \gamma^2) + 0.4\gamma} \quad \text{aksi halde}$$

γ : çubuğun iki ucundaki eğilme momentlerinin oranı
($-1 < \gamma < 1$)

6.4. Sabit Düğüm Noktalı Sistemlerde Enine Doğrultuda Yüklü Çubukların Kontrolü.

Eğilme momenti, çubuğun uçlarından birinde mutlak değerce maksimum değerde ise (6.3) te verilen bağıntılar yerine izleyenler kullanılabilirler.

$$\sigma + \sigma_{fx} + \sigma_{fy} \leq \frac{\sigma_e}{k_v}$$

$$k_r \cdot \sigma + k_d \left(\frac{C_{mx} \cdot \sigma_{flx} + \sigma_{ox}}{1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Kx}}} \right) + \frac{C_{my} \cdot \sigma_{fly} + \sigma_{oy}}{1 - \frac{\sigma}{\sigma_{Ky}}} \leq \frac{\sigma_e}{k_v}$$

Burada: k_r , k_v , k_d , σ , σ_K (6.3) te tanımlanan büyüklükler olup,

$$C_m = \sqrt{0.3(1 + \gamma^2) + 0.4\gamma}$$

σ_{f1} = Çubuğun bir ucunda eğilme momentinden ileri gelen maksimum basınç gerilmesi.

σ_0 = Uçlarından basit mesnetlenmiş kabul edilen çubuğun enine yüklerden ileri gelen eğilmesinden doğan maksimum basınç gerilmesi. σ_{f1} ve σ_0 gerilmelerini veren momentler zıt yönlü iseler $\sigma_0 = 0$ alınır.

3. YÜKSEK YAPIDA ÇELİK HAFİF İNŞAAT VE ÇELİK BORU İNŞAAT

DIN 4115 Çeliğin minimum kalınlığı
(AĞUSTOS 1950) ne (kapalı ya da açık

İÇİNDEKİLER:

1. Tarif
2. Kullanım alanı
3. İmalat atölyelerinin uygunluğu
4. Uygulama
- 4.1 Pasdan koruma
- 4.2 Emniyet gerilmeleri
- 4.3 Basınca maruz yapı kısımları
- 4.4 Birleşimler
- 4.5 Boru yapı kısımları
- 4.6 Bağlantılar ve yapısal teşkil
5. Teslim alma
6. Montaj

1. Tarif

Çelik hafif yapı kısımları çelik malzemesinden tasarruf etmek amacıyla DIN 1050 (Sayfa 1) "Zeminüstü inşada çelik" ve DIN 4110 "Kaynaklanmış olan çelik zeminüstü inşaatı"nın 1.1 ile 1.3' ün aşağıdaki bölümlerinin birinde ya da birden çoğunda sapan ve aşınmaya karşı alışlagelmiş olan çelik zeminüstü inşaatı nazaran daha titizlikle korunması gereken inşaat kısımlarıdır. Eğer aşağıda buna karşı bir husus bir hükme bağlanmamışsa, hafif çelik inşası için de DIN 1050 (föy 1) ve DIN 4100 geçerli olacaktır.

1.1

Taşıyıcı yapı elemanlarının kalınlığı en az 1.5 mm'dir.

1.2

Münferit parçaların birleştirilmesi için yeni vasıtalar ya da metodlar, meselâ nokta kaynağı kullanılır.

1.3

Daha yüksek dayanıklılıktaki normlandırılmamış olan yapı çeliği de kullanılır.

2. Kullanım alanı

2.1

Çelik hafif yapının kullanım alanı çeligin minimum kalınlığına, paslan korunmaya, kesit teşkiline (kapalı ya da açık kesit) ve ortalama emniyet şartlarına (cetvel 1) bağılıdır.

2.2

Çelik hafif yapı kısımları, beton, döşemeler, duvarlar ve çatılarda 4.16 ve 4.17 bölümlerindeki şartname hükümlerinin nazarı itibare alınması altında o şekilde içe monte edilebilir ki onlara artık ulaşılamasın.

2.3

Sadece özellikle hareketsiz yük altında olan yapı kısımları güçlük çekmeden çelik hafif yapı olarak inşa edilebilir.

Boru taşıyıcı kısımları DIN 120' deki 1 ve 11 guruplara uygun olan kren ve kren yolları için de kullanılırlar. Çelik hafif yapı ve çelik boru yapıların diğer yapı elamanların da kullanılması için genel bir müsaade gereklidir.

Diğer durumlarda, atölyenin bulunduğu ülkenin en üst kontrol makamının özel izinleri lazımlıdır.

3. İmalat Atölyelerinin Uygunluğunun Kontrolü

3.1

Taşıyıcı çelik hafif yapı kısımları ve boru taşıyıcılar sadece taşıyıcı kısımları belirli tarzlarının imalinin uygunluğu atölyenin bulunduğu ülkenin en üst kontrol makamı tarafından yapılan teftiş ve belirli incelemelere dayanarak tasvip ettiği atölyeler tarafından imal edilebilirler.

Atölye teftişleri ve incelemeleri, atölyenin bulunduğu ülkenin en üst kontrol makamı tarafından kabul edilmiş olmalıdır. Bu kabul için şart, atölyenin şimdiye kadarki faaliyetine dayanılarak onun bu işe mesleki uygunluğu ve bu özel imalat için gerekli makinelerle yeterli derecede donatılmış olmasıdır. Atölye çelik hafif yapıların projelendirilmesi, konstrüksiyon, hesaplanması, imalatı ve montajı için elverişli uzmanlara sahip olmalı ve fabrikada usulüne uygun imalat için sorumluluk taşıyacak bir uzman mühendis belirlemelidir. Bu uzman mühendis statik, çelik yapı, kay-

Cetvel 1.

1	2	3	4
Çelik hafif yapı kısımlarının uygulanışı.	En kesitlerin asgari kalınlığı. (t)	En kesitlerin teşkili.	Paslan koruma tarzı. (Bölüm 4.1'e bakınız.)
A Normal paslanma şartlarıyla kapalı binaların içlerinde.	1.5 mm	a) Açık enkesitler. b) Kapalı enkesitler(Bölüm 4.16'ya göre).	Paslan koruma II
B Açık havada ve kapalı olmayan binalarda(mesela trübünlerde)	3.0 mm	a) Açık enkesitler b) Kapalı enkesitler(Bölüm 4.16'ya göre).	Paslan koruma I Paslan koruma II
C Anormal derecede gayri müsait paslanma şartları altındaki kapalı binaların içinde(mesela, kimya fabrikalarında),konstrüksiyonun garanti-li olarak içine girebilmesi durumunda.	3.0 mm	Bölüm 4.16'ya göre kapalı enkesitler	Paslan koruma, kimyasal etkinin türüne göre,mesela uygun malzemelerle sarılmış, fakat en azından paslan koruma I

nak tekniği ve ham malîe mekaniğinin esaslı bilgilere ve pratik tecrübelerine sahip olmalı ve çelik hafif yapının imalat tekniğinin özelliklerine hâkim olmalıdır.

Çelik hafif yapıların imalının uygunluğu, atölyenin bulunduğu ülkenin en üst kontrol makamı tarafından atölyeye yazılı olarak bildirilir. Bu tasdiknameye uzman mühendisin adı da kaydedilir. Uzman mühendisin her değiştirilmesi en üst kontrol makamına derhal bildirilmelidir.

3.2

Eğer hafif çelik yapıların imalinde kaynak yapılacaksa, bu takdirde ilâveten DIN 4100'de ve buna ait 3 Ağustos 1944 tarihli uygulama müsaadesinde imalatçı fabrikanın elverişliliği için tesbit edilmiş olan şartlar yerine getirilmelidir.

3.3

Yeni tip yapı tarzlarında ve birleştirme vâsıtalarında, şüpheli hallerde kontrol makamı denemeler talep edebilir. Çelik hafif yapıların seri imalatında, bir tip muayenesi tavsiye edilir.

4. Uygulama.

4.1 Pasdan koruma

4.1.1

Pasdan koruma, çelik hafif yapı kısımlarında özellikle önem taşır. Bunun için iki kademe ayırd edilir: Birinci dereceden pasdan koruma I en azından şunlardan oluşur:

- a) Galvenizleme 300 g/m^2 üst yüzeyi
- b) Galvenik kurşunla kaplama 500 g/m^2 üst yüzey
- c) Çelik yapı atölyelerinin pasdan korunmasına ait (Ro St) teknik şartnamelerde bulunan ve çelik demiryolu köprülerinin pasdan korunması için birinci derecedeki kalitesine uygun olarak, sülyenli iki kat astar boya ve iki üst boya.

İkinci derecede pasdan koruma II en azından şunlardan oluşur:

- a) Püskürtmeli galvenizleme 1000 g/m^2 üst yüzey
- b) Galvenik çinko ile kaplama 150 g/m^2 üst yüzey
- c) Çelik yapı atölyelerinin pasdan korunmasına ait (Ro St)

teknik şartnamelerde bulunan ve çelik demiryolu köprü-
lerinin paslan korunması için birinci derecedeki kali-
tesine uygun olarak, sülyenli iki kat astar boya ve iki
üst boya.

- d) iki kat cila boyasıyla fosfatlaştırma
- e) Ro St'ye göre bitüm eriyikli ya da asfalt eriyikli iki
eşdeğer boyama

Her iki sınıf dahilindeki sıra, bir derecelenme anlamına gelmez.

4.1.2

Çelik hafif yapı kısımlarının imal edildiği yapı çeliği
depolamada ve imalat esnasında pasa karşı yeterli derecede
korunmalıdır, mesela kapalı hacimlerde depolandırılarak.

4.1.3

Çelik hafif yapı kısımlarının yapısal teşkilinde özel-
likle dikkat edilmesi gereken bir husus, boyanmaya elverişli
olmayan, ya da paslanmaya müsait yüzeylerin oluşturulmasından
kaçınılmasıdır. Muhtemelen ortaya çıkacak terleme suyu iyi
bir şekilde dışarıya akabilmelidir, su keselerinin oluşması
engellenmelidir.

4.1.4

Çelik hafif yapı kısımları atölyeyi terketmeden önce,
şantiyede 4.1.7 bölümü uyarınca beton içinde kalacak kısım-
lar haricinde pasa karşı yeterli bir korumaya sahip olmalı-
dırlar.

4.1.5

Pasa karşı korumanın sağlanmasından önce yapı kısımları
uygun vasıtalarla paslan ve gevşek olarak yapışık olan çapak-
tan arıtılmalıdır.

4.1.6

Bilhassa, daha sonra ulaşılamayacak yapı kısımlarında
pasa karşı korumada titizlik gösterilmelidir. Bunun için
yalnız paslan koruma I kullanılabilir.

Kapalı kesitli yapı kısımlarının iç boşlukları bütün
boyuna dikişlerin, ek yerlerinin ve deliklerin titizlikle
kaynaklanmasıyla mümkün mertebe hava geçirmez olarak kapa-
tılmalıdır. Punto ve nokta kaynaklamaları burada söz konusu
olamaz.

4.1.7 Paslı ve Paslı Yapı Kısımları

Pasa karşı korumasız yapı kısımları en azından 15 mm'lik bir betonla kaplamaya tâbi tutulmalıdır, ki bu beton kaplama geniş yüzeylerde özel tedbirlerle meselâ dökülmeye karşı tel-den örgülerle emniyete alınmalıdır. Çelik hafif yapı kısımları alçı ve mağnezyum klorid ihtiva eden yapı malzemeleriyle (meselâ mağnezyum oksid ve mağnezyum klorid ihtiva eden destere döküntülerinden oluşturulan zemin kaplama maddesi Steinholz) Kömür ya da kok kömürü külleri ya da kok cürufu ile temasa gelmemelidir. Rütubetli hacımlar altındaki çelik hafif yapı kısımlarıyla oluşturulan döşemelerde kaplamalar su geçirmemelidir. ve çelik hafif yapı kısımları paslan koruma I durumunda olmalıdır.

4.2 İzin verilen gerilmeler (σ_{em})

Müsaade edilen gerilmeler için DIN 1050 (Bölüm 1) geçerlidir. Eğer DIN 1050 sözkonusu çelik hakkında hiçbir açıklama ihtiva etmiyorsa, bu taktirde onun emniyet gerilmelerinin tesbitinde akma sınırının yerine DIN 1605 uyarınca elde edilen minimum çekme mukavemetide esas olarak alınabilir. Sözkonusu çeliğin emniyet gerilmesi bu taktirde, sözkonusu çeliğin minimum çekme mukavemetinin normal yapı çeliği St 37'ninkine oranı ile aranılan gerilmenin yine normal yapı çeliği St 37'ninkine eşit almasından istifade ile belirlenir. Soğuk şekillendirilen çelikte emniyet gerilmesinin tesbitine çıkış malzemesinin minimum çekme mukavemeti σ_B esas alınmalıdır, yani soğuk olarak şekillendirmede meydana gelen pekleşme dikkate alınmamalıdır. $\sigma_B > 5200 \text{ kg/cm}^2$ olan çelikler için St 52 için tesbit olunanlara nazaran daha yüksek emniyet gerilmelerinin uygulanması için, bunların genel bir mesaadeye tâbi tutulması gereklidir.

Çeliğin garantili kalite değerlerine uygunluğu haldehane tarafından devamlı olarak kontrol altında bulundurulmalıdır ve belgelenmelidir. Bu belge (atölye raporu) o mahalin yetkili inşaat zabıtasına, inşaatın tesliminden önce ibraz edilmelidir.

Çeliğin kalınlığı 15 mm'den daha büyük; 141 tekil parçanın kalınlığı 15 mm'den daha büyük; 142 tekil parçanın kalınlığı 15 mm'den daha büyük olmalıdır.

4.3 Basınca Maruz Yapı Kısımları

4.3.1

Basınç çubukları DIN 1050 uyarınca (Bölüm 1) boyutlandırılmalıdır. 200'den daha büyük narinlik dereceli çubuklardan çelik hafif ve çelik boru yapılarda kaçınılmalıdır.

4.3.2

Buruşmaya, burulma burkulmasına ve sair istikrarsızlıklara karşı yeterli emniyete çelik hafif yapıda özellikle dikkat edilmelidir; Bunlar şüpheli hallerde bütün taşıyıcı deneyler vasıtasıyla kontrol edilmelidir. Deney elemanları ve onların mesnet şartları, amaçlanan işe tam olarak uygun olmalıdır. Deneylerin sonucu sadece tahkik edilen hal için ama buna benzer diğer haller (meselâ büyük açıklıklar için değil) emniyet tahkiki olarak kabul edilebilir.

4.3.3

Birbirinden açık duran kollar, şayet kalınlığın genişliğe oranı 1:15'den daha küçükse serbest kenara birleştirilmelidir. Yanaklama, paralel boyuna mesnetlemenin (gövde veya nokta kaynak sırası) t levha kalınlığının 25 katından daha büyük uzaklıkta olmamalıdır. Şayet genişlik yukarıda zikredilen oranlardan daha büyük olarak tesbit edilmişse özel bir stabilite kontrolünün yapılması lazımdır. Diğer taşıyıcı kısımlarda da bir stabilite kontrolü önemli olabilir, meselâ birlikte çalışan genişlikte.

4.4 Birleştirmeler

4.4.1

Şayet birleştirilecek kısımların asgari kalınlığı en az 2 mm ise ark kaynağına izin verilir. Taşıyıcı kaynak dikişlerinin asgari kalınlığı (a) 2 mm olmalıdır, bunun dışındaki durumlarda, kaynak dikişlerinin emniyet gerilmeleri için esas tutulan DIN 4100 geçerlidir. (istisnaları için bölüm 4.5.1 ve 4.5.2'yi karşılaştırınız.)

Nokta kaynağı eğer üçten daha fazla parça kaynak noktalarıyla birleştirilmeyecekse, kuvvet ve tesbit bağlantıları için emniyetlidir. Bağlanacak olan parçaların toplam kalınlığı 15 mm'den daha büyük; iki tekil parçanın bağlanmasında, bir parçanın kalınlığı 5 mm'den daha büyük olmamalıdır.

Üç tekil parçada dışta bulunan parçadan hiçbirisi 5 mm'den daha kalın olmamalıdır. Bu hükümlen ancak, sadece nokta kaynaklamasının taşıma kabiliyeti özel deneylerle kontrol edilmişse, kaçınılabılır. Kaynaklamadan önce çelik, bu birleşim yerlerinde pasından arıtılmalı ve çapağından kurtarılmalıdır.

4.4.2

Nokta kaynaklamada mukavemet hesabında basitleştirmek için tıpkı perçinlerde olduğu gibi, kesme ve delik yüzeyindeki gerilmeler kontrol edilmelidir. Bunun için kaynak noktalarının (d) çapı ön deneylerle tesbit edilmelidir.

Hesapta $0.5\sqrt{t}$ 'den daha büyük olarak konulamaz. Bu formülde t bağlanacak kısımların en küçük levha kalınlığıdır. Delik yüzeyindeki gerilme tek tesirli birleşimlerde $1.8 \sigma_{em}$, çift tesirli birleşimlerde $2.5 \sigma_{em}$ ve kesme gerilmesi $0.65 \sigma_{em}$ 'i aşmamalıdır. Kuvvet yönünde 2'den az ve 5'den daha çok kaynak noktaları birbiri arkasına konulmamalıdır. Kuvvet doğrultusunda kaynak noktalarının birbirleri arasındaki e_1 , kenarlara e_2 ve kuvvet doğrultusuna dik kenarlara e_3 mesafeleri için aşağıdaki bağıntılar geçerlidir:

$$e_1 = 3.0 d \quad \text{ile} \quad 6.0 d$$

$$e_2 = 2.5 d \quad \text{ile} \quad 4.5 d$$

$$e_3 = 2.0 d \quad \text{ile} \quad 4.0 d$$

4.4.3

Şayet t dıştaki en ince parçanın kalınlığı ise, tesbit birleşimlerinde kaynak noktalarının e_H karşılıklı mesafeleri aşağıdaki şartı yerine getirmelidir

Yanağından birleştirilmiş dış parçaları olmayan basınca maruz yapı kısımları:

$$e_H \leq \begin{cases} 8.d \\ 20.t \end{cases}$$

Yanağından birleştirilmiş dış parçalı basınca maruz yapı kısımları:

$$e_H \leq \begin{cases} 12.d \\ 30.t \end{cases}$$

Yanağından birleştirilmiş dış parçaları olmayan çekme çubukları:

$$e_H \leq \begin{cases} 12.d \\ 30.t \end{cases}$$

Yanağından birleştirilmiş dış parçalı çekme çubukları:

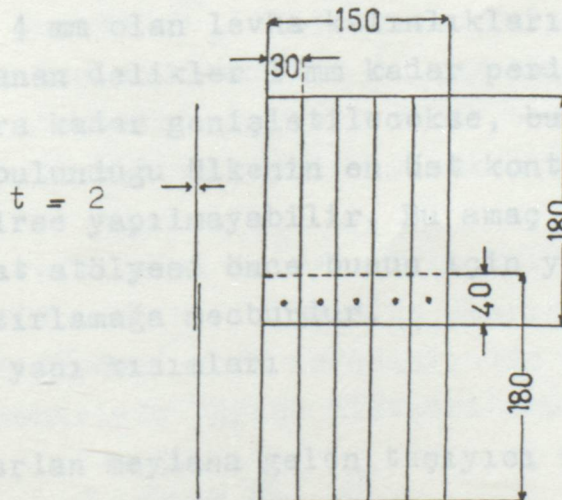
$$e_H \leq \begin{cases} 18.d \\ 45.t \end{cases}$$

Her iki değerden daha küçük olanı esas alınır. Kenar mesâfeler, tesbit birleşimlerinde verilen değerlerin yarısından daha büyük olmamalıdır.

4.4.4 Nokta kaynağı.

Uzman mühendis, imalatla kullanılan nokta kaynak makinelerinin her birinin, konstrüksiyona uygun olarak tesbit edilmiş nokta çaplarının kusursuz olarak sağlanması için en müsait kaynak şartlarını (akım şiddeti, pres basıncı, kaynaklama müddeti ve elektrodlar) tesbit etmek zorundadır. Bu sonuçlar bir muayene defterine kaydedilmelidir ve altı ayda bir kere yeniden gözden geçirilmelidir.

Nokta kaynağının muayenesi için özel olarak düzenli zaman aralıklarında Resim 1'e göre 3 kaynak numunesi hazırlanmalıdır. Kaynak noktalarının çapı 8 mm'den daha büyük olmalıdır.



Şekil 1. Nokta kaynakları için kaynak numunesi.

Bu muayenelerin uymaları gereken zaman aralıkları için ve onların bir muayene defterine kaydedilmesi için, DIN 4100 uyarınca bunlara tekabül eden açıklamalar geçerlidir. Her bir numune için kullanılan nokta kaynak makinesi uzman mühendis tarafından gözden geçirilişinin tarihi ile zikredilmelidir. Numuneler kaynaklamadan sonra 5'er şerit halinde bölünmelidir. 15 numuneden herbiri, noktanın gerçek kopma yüzeyine ait, $\sigma_{\text{kopma}} = 0.80 \sigma_B$ değerinde bir minimum mukavemete haiz olmalıdır. Burada σ_B 4.2'ye göre tesbit edilen emniyet gerilmesidir. Kaynak noktası levhadan koparsa, bu takdirde asgari mukavemet ispatlanmış demektir. Olağanüstü çelik türleri ek muayenelere ihtiyaç gösterirler.

Yapılardaki kaynak işlerini gözetmek için, bunun dışında çelik hafif yapılarda uzman mühendis tarafından gelişigüzel alınan numunelerin kontrolleri yapılmalıdır. Bunun için yapıda kullanılan çelikle 2 levhadan kaynak numuneleri imal edilir, ki onların bağlantısı birbirinin ardında duran 5 kaynak noktasından oluşur ve bunlar emniyetli nokta aralıklarına sahiptirler. Bundan sonra levhalar küskü ve el çekiciyle yeniden ayrılırlar ki burada az bir ayrılma direnci noktaya kaynaklamanın kusurlu olduğunu gösterir.

4.4.5 15 mm kalınlıkta levha için kaynak dikliği en az 10 mm ve daha küçük çaptaki perçinler soğuk olarak vurulabilir.

4.4.6

Taşıyıcı kısımlardaki deliklerin zımbalanarak açılmasına sadece $t < 4$ mm olan levha kalınlıklarında izin verilir. Şayet zımbalanan delikler 1 mm kadar perdelanarak hesaba esas olan çaplara kadar genişletilecekse, bu genişletme, şayet atölyenin bulunduğu ülkenin en üst kontrol makamı tarafından kabul edilirse yapılmayabilir. Bu amaç için muayene eden makamın imalat atölyesi önce bunun için yapılacak deneylerin plânını hazırlamaya mecburdur.

4.5 Boru yapı kısımları perçinlerinden üstü gerilme kesilir.

4.5.1

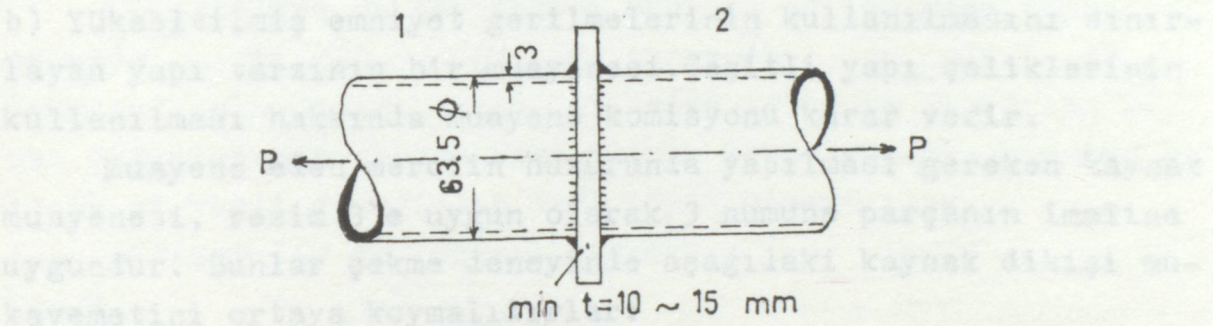
Borulardan meydana gelen taşıyıcı sistemlerdeki kaynak

dikişlerinin hesaplanması için, aynı şekilde DIN 4100'de tesbit edilen emniyet gerilmeleri geçerlidirler. Borular düğüm levhaları veya diğer yapı elamanlarıyla birleştirilmişler, aksine doğrudan doğruya birbirlerine kaynak edilmişlerse bu takdirde hesaba esas teşkil eden kaynak dikişinin kopma yüzeyi, borunun en küçük kesit yüzeyinden daha büyük olmamalı ve kaynak dikişinin buna âit emniyet gerilmesi hiçbir halde $0.65 \sigma_{em}$ 'i aşmamalıdır.

4.5.2

Boru kaynaklaması için DIN 4100, ek f6y 1 ile 3'ün kasettiği anlamda kaynak numuneleri hazırlanmalıdır.

a) ilave bir kaynak muayenesi



Resim 2. Alın kaynak dikiş i numunesi

10 ile 15 mm kalınlıkta levha alın kaynak dikiş i numunesinde tesbit edilen kopma gerilmesi:

$$\rho = \frac{P}{a \cdot l} \geq 0.75 \sigma_B$$

Olmalıdır. Burada σ_B kullanılan çeligin bölüm 4.2 uyarınca asgari çekme mukavemeti, l kaynak dikişinin kopma kesitinin orta çizgisinin çevresi ve a borunun cidar kalınlığından daha büyük olarak yapılamıyacak olan kaynak dikiş i kalınlığıdır.

Kopma ve kırılma deneyleriyle küt dikişlerin muayenesi için DIN 4100, ek f6y 1 ile 3'ün uyarınca küt kaynaklanan 4 mm kalınlığındaki boru parçalarından dört şerit kesilir. Koparma denemesinde kaynak dikişinin mukavemeti

$$\rho = \frac{P}{a \cdot l} \geq \sigma_B$$

olmalıdır; burada a borunun cidar kalınlığından daha büyük olarak yapılmamalı ve ℓ tek tek şeritlerin kaynak dikiş uzunluğudur.

4.5.3

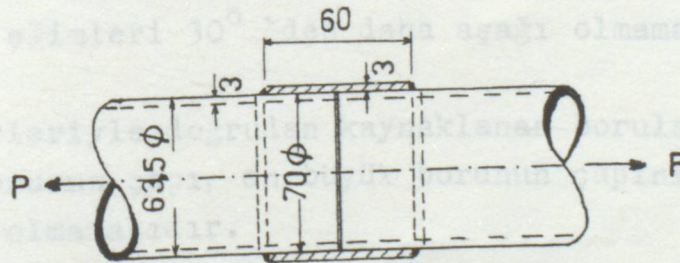
Ülkenin en üst kontrol makamı bunun için genel bir izin verirse, doğrudan doğruya birbiriyle kaynaklanmış olan boruların taşıyıcı kısımlar 4.5.2 bölümünde olduğundan daha yüksek gerilmelerle boyutlandırılabilir. Bu izinden önce bunun için adı geçen en üst kontrol makamı tarafından kabul edilen bir merci tarafından özel bir muayenenin yapılması gereklidir.

- a) ilave bir kaynak muayenesi
- b) Yükseltilmiş emniyet gerilmelerinin kullanılmasını sınırlandıran yapı tarzının bir muayenesi. Çeşitli yapı çeliklerinin kullanılması hakkında muayene komisyonu karar verir.

Muayene eden merciin huzurunda yapılması gereken kaynak muayenesi, resim 3'e uygun olarak 3 numune parçanın imaline uygundur. Bunlar çekme deneyinde aşağıdaki kaynak dikişi mukavemetini ortaya koymalıdır:

$$\beta = \frac{P}{a \cdot \ell} \geq 0.9 \sigma_B$$

Burada kaynak dikişinin a kalınlığı, $t=3\text{mm}$ cidar kalınlığından daha büyük olamaz, ℓ kaynak dikişinin kopma en kesitinin orta çizgisinin çevresidir.



Resim 3. Kaynak muayenesi için numune parçası

Bu ek genel iznin verilmesinden sonra bu kaynak muayenesi DIN 4100 ek f6y 1 ile 3 mucibince, her bir yapı 7eliği t6r6 i7in sadece bir prova par7asıyla d6zenli aralarla tekrarlanmalıdır.

Yapı tarzının elverişliliği, y6kseltilmiş emniyet gerilmelerinin kullanılması i7in tipik olan bir taşıyıcı sistemdeki bir kopma deneyi vasıtasıyla kontrol edilmelidir. Deney plânı deney elemanının imalinden 6nce, muayene edecek olan merciğe muvafakat almak amacıyla ibraz edilmelidir. Bu merci taşıyıcı kısmın, imali i7in 6n g6r6len yapı 7eliği t6r6leri i7in muayene edilip edilmeyeceğine de karar verir. Kopma deneyinde $\rho \geq 0.90 \sigma_B$ olmalıdır.

Y6kseltilen bu gerilmeler muayene edilen yapı tarzı i7in 7ekmede $\rho_{em} \leq 0.90 \sigma_{em}$ ve basın7ta $\rho_{em} \leq 1.0 \sigma_{em}$ değerinde olmalıdır. Burada da halka şeklinde kapatılan kaynak dikişlerinin nesaba esas alınan kopma y6zeyi, borunun en k676k en kesit y6zeyinden daha b6y6k olmamalıdır.

4.6 Bağlantılar ve Yapısal Teşkil.

4.6.1

Bağlantılar yeterli sayıda ve boyutta d6zenlenmeli ve mesnet noktalarına kadar yapılmalıdır. Burada DIN 1050 (B6l6m 1) ve buna ait olan uygulama m6saadesine dikkat edilmelidir.

4.6.2

Boruların doğrudan doğruya bağlanması kaynak dikişlerinin kusursuz olarak yapılmasını sağlamak i7in, onların karşılıklı eğimleri 30° 'den daha aşağı olmamalıdır.

4.6.3

Birbirleriyle doğrulan kaynaklanan borulardan daha k676k olan borunun 7apı, en b6y6k borunun 7apının $1/4$ '6nden daha k676k olmamalıdır.

4.6.4

Kapalı en kesitlerle, meselâ kuvvetli ve hızlı ısı değişimlerine, meselâ a7ık yerlerde kalan borular, onların i7lerinde suyun toplanabileceği hesaba katılmalıdır. İ7lerinde bu suyun donduğu ve b6ylece boru cidarlarının par7alanabildiği yapı kısımlarında 6yle delikler tertip edilmelidir ki

içerdeki su her zaman dışarıya akabilsin. Bunun dışında burada da imalat kalitesi için Bölüm 4.1.6 geçerlidir.

5. Teslim Alma.

Her imal edilmiş parça, pas korumasının sağlanmasından önce, atölyenin uzman mühendisi tarafından da etraflı olarak muayene edilmeli ve ondan sonra teslim edilmelidir. Bu iş uzman mühendisin nezareti altında kontrolörler tarafından da yapılabilir. Ama uzman mühendis her halükârda bu muayenenin yapılması için sorumluluk taşır. Kusursuz kısımlar pas korumasının yapılmasından sonra belirgin olarak çıkmayan boya ile atölyenin işaretini ve uzman mühendisin onayını taşırlar,

6. Montaj

Şayet imal eden atölye hafif yapı kısımlarını bizzat monte etmezse, bu taktirde montaj işleminin eksiksiz bir tarifini ve mesnet kuvvetlerinin bir plânını birlikte vermeğe mecburdur.

4. RİJİTLEŞTİRİLMİŞ AISI, SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ ÇELİK

Bu elemanlar kendi düzlemleri içinde etki-

gerilmesi altındaki düzlemsel bir eleman

STANDARDI (1968 Baskısı)

Burada kullanılan bölüm numaraları ve notasyon, AISI (American Iron and Steel Institute) standardından değiştirilmeden alınmıştır.

BÖLÜM 1- GENEL

1.1. Kapsam

Bu standart, levha formundaki yapı çeliğinin soğukta şekillendirilmesi suretiyle üretilen elemanların, önemli oranda darbeli yüklere maruz kalmayan taşıyıcı sistemlerin taşıyıcı elemanı olarak kullanılmaları için boyutlandırılma kurallarını verir. Bu kurallar gerekli ek tahkikler yapılarak kapsam dışı bırakılan taşıyıcı sistemler içinde kullanılabilir.

1.2. Malzeme

Bu standart, ASTM'nin aşağıda belirtilen standartlarında kalitesi tanımlanan çelik cinsleri için hazırlanmıştır. ASTM A245, ASTM A374, ASTM A375, ASTM A446, ASTM A570 Yukarıda verilen liste dışındaki standartlara göre üretilmiş fakat kimyasal ve mekanik özellikler bakımından yukarıda verilen listede belirtilen çelik cinslerinin kalitesine uygun çelik cinsleride bu standarttan kapsamı içindedir.

BÖLÜM 2- BOYUTLAMA YÖNTEMİ

2.1. Yöntem

Kullanılacak boyutlama yöntemi aksi belirtilmedikçe normal çelik yapıda olduğu gibidir:

2.2. Tanımlar

Bu standartta rastlanacak olan bazı terimlerin tanımı aşağıda verildiği gibidir:

a) Rijitleştirilmiş Basınç Elemanı.

Rijitleştirilmiş basınç elemanı kendi düzlemleri içinde etkiyen uniform basınç gerilmesi altındaki düzlemsel bir eleman olup, gerilme doğrultusuna paralel kenarları bir gövde levhası, flanş, bir kenar rijitleştirici, bir ara rijitleştirici veya benzerince rijitleştirilmiştir.

b) Rijitleştirilmemiş Basınç Elemanı

Bu elemanlar kendi düzlemleri içinde etkiyen üniform basınç gerilmesi altındaki düzlemsel elemanlar olup, gerilme doğrultusuna paralel sadece bir kenarı (a) da belirtildiği gibi rijitleştirilmiştir.

c) Çok Rijitleştirilmiş Elemanlar

Bu tür elemanlar, kendi düzlemleri içinde etkiyen üniform basınç gerilmesi doğrultusuna paralel olmak üzere, iki kenarında mevcut gövde levhaları veya kenar rijitleştiricilere ek olarak, Bölüm 2.3.2.2 de belirtilen koşullara uyan ara rijitleştiricileri de olan elemanlardır.

d) Genişlik-Et Kalınlığı Oranı

Bu oran standart maddelerinde w/t olarak ifade edilecek olup, enkesitin r eğrilik yarıçaplı geçiş bölgeleri ile birbirine birleşen düzlem parçalarının genişliğinin et kalınlığına oranıdır.

e) Etkin Genişlik

Bölüm 2.3.1 ve 2.3.5 uyarınca yerel burkulma nedeniyle azaltılan w düzlemsel enkesit parçasının, b ile ifade edilecek olan azaltılmış değeridir.

2.3. Enkesit Değerleri

Enkesit değerleri (Enkesit alanı, atalet momenti, atalet yarıçapı) alışılmış yöntemlerle hesaplanacaktır. Bu enkesit değerleri, Bölüm 2.3.1 ve 2.3.5 'ün gerektirdiği haller dışında azaltılmamış enkesit esas alınarak hesaplanacaktır.

2.3.1. Rijitleştirilmiş Basınç Elemanları

Eğilmeye çalışan elemanların enkesit değerlerinin hesabında ve basınç çubuklarının Q değerinin (Bölüm 3.6.1) hesabında, basınç gerilmesine maruz rijitleştirilmiş düzlemsel enkesit parçalarının w genişliği; Genişlik/ Etkalınlığı (w/t) oranı, ileride tanımlanacak olan $(w/t)_{lim}$ değerinden büyükse, Bölüm 2.3.1.1 veya 2.3.1.2 den uygun olanı uyarınca azaltılarak, b veya b_e ile gösterilecek olan etkin genişlik hesaba katılır. Etkin genişliğin hesabında gerekiyorsa Bölüm 2.3.5 te verilen kısıtlamalara da uyulmalıdır. Etkin genişliğin

hesabı için, w eleman genişliğinden çıkarılması gereken kısmının, elemanın üzerinde simetrik bir şekilde yerleşmiş olduğu düşünülür.

2.3.1.1 Ara Rijidleştiricisi Olmayan Elemanlar.

Bu elemanlarda etkin genişlik izleyen ifadelerle hesaplanacaktır.

Gerilme hesabında:

Flanşlar w/t değeri

$$(w/t)_{\min} = 45.3 / \sqrt{f}$$

sınırını aşmadığı sürece tam olarak etkin kabul edilecektir. (b=w).

w/t değeri $(w/t)_{\lim}$ değerini aşan flanşlarda

$$\frac{b}{t} = \frac{67}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{14.66}{(w/t) \sqrt{f}} \right]$$

Farklı olarak, kare ve dikdörtgen enkesitli tüplerin flanşlarının w/t oranı $(w/t)_{\lim} = 49 / \sqrt{f}$ sınırını aşmadığı sürece tam olarak etkin kabul edilecektir. (b=w). w/t oranı $(w/t)_{\lim}$ değerini aşan flanşlarda

$$\frac{b}{t} = \frac{67}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{13.33}{(w/t) \sqrt{f}} \right]$$

ifadesiyle etkin genişlik hesaplanacaktır.

Bu tür elemanlar veya bunlardan oluşan kesitler rüzgar veya deprem etkisi nedeniyle oluşan gerilmelere maruz ise, b etkin genişliği, rüzgar veya deprem yükleri nedeniyle oluşan gerilmenin 0.75 katı gözönünde tutularak hesaplanacaktır. Öte yandan, Bölüm 3.1.2.1 veya 3.1.2.2 de izin verilen artırılmış sınır gerilmelerin kullanılması halinde b etkin genişliği, deprem veya rüzgar yükleri nedeniyle oluşan gerilmenin 0.75 katı ölü yükler nedeniyle oluşan gerilme ile toplanarak elde edilen değer gözönünde tutularak hesaplanır.

Deplasman hesabında:

Flanşlar w/t değeri

$$(w/t)_{\lim} = 58.58 / \sqrt{f}$$

sınırını aşmadığı sürece tam olarak etkin kabul edilecektir. (b=w).

w/t değeri $(w/t)_{lim}$ limitini aşan flanşlarda

$$\frac{b}{t} = \frac{86.4}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{18.9}{(w/t)\sqrt{f}} \right]$$

Ayrıca, kare ve dikdörtgen enkesitli tüplerin flanşlarının w/t oranı $(w/t)_{lim} = 62.8/\sqrt{f}$ sınırını aşmadığı takdirde tam olarak etkin kabul edilecektir. (b=w). w/t oranı $(w/t)_{lim}$ değerini aşan flanşlarda

$$\frac{b}{t} = \frac{86.4}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{17.2}{(w/t)\sqrt{f}} \right]$$

yukarıdaki ifadelerde

b= etkin genişlik (cm)

f= etkin genişlik esas alınarak hesaplanan kesit üzerindeki çalışan basınç gerilmesi olup, (t/cm^2) cinsinden yerine konacaktır.

2.3.1.2. Çok rijitleştirilmiş ve Kenar Rijitleştiricisi Olan Geniş Elemanlar

Çok rijitleştirilmiş bir elemanın ara rijitleştiricilerle bölünmüş bir düzlemsel kısmının Genişlik/Et kalınlığı (w/t) oranı veya ara rijitleştiricisiz olup sadece bir kenarından bir gövde levhasına bağlı elemanlarda Genişlik/Et kalınlığı (w/t) oranı 60 değerini aşmıyorsa, bu elemanların etkin genişliği, Bölüm 2.3.1.1 uyarınca saptanacaktır. (w/t) oranının 60 değerini aşması halinde, bu elemanların etkin genişliği b_e , aşağıdaki ifade ile hesaplanacaktır:

$$\frac{b_e}{t} = \frac{b}{t} - 0.1\left(\frac{w}{t} - 60\right)$$

burada,

b= Bölüm 2.3.1.1 uyarınca hesaplanan etkin genişliktir.

b_e = Boyutlamada kullanılacak etkin genişliktir.

Bu tür elemanları içeren kesitlerin etkin enkesit değerlerinin hesabında rijitleştiricinin (ara rijitleştirici veya ke-

nar rijitleştirici) etkin enkesit alanı:

w/t oranı 60 ile 90 arasında ise:

$$A_{ef} = \alpha A_{st}$$

burada,

$$\alpha = (3 - 2b_e/w) - \frac{1}{30} \left(1 - \frac{b_e}{w}\right) \left(\frac{w}{t}\right)$$

w/t oranı 90 dan büyük ise:

$$A_{ef} = (b_e/w) A_{st}$$

Yukarıdaki ifadelerde, A_{st} rijitleştiricinin enkesit alanıdır.

Rijitleştirici elemanın ağırlık merkezi, azaltılmamış rijitleştirici kesitin ağırlık merkezi üzerinde olduğu düşünülecektir. Ayrıca, rijitleştirici elemanın kendi tarafsız eksenine göre atalet momenti, azaltılmamış kesitine göre hesaplanacaktır.

2.3.2 Basınç Elemanlarının Rijitleştiricileri

2.3.2.1. Kenar Rijitleştiriciler

Kendi düzlemi içerisinde basınç gerilmesine maruz bir düzlemsel elemanın, Rijitleştirilmiş Basınç Elemanı sayılabilmesi için; gerilme doğrultusundaki her iki kenarından en az aşağıda verilen minimum atalet momentine sahip, bir gövde levhası, büküm veya diğer formlardaki rijitleştirici elemanla rijitleştirilmiş olması gerekir:

$$I_{min} = 1.83 t^4 \sqrt{(w/t)^2 - 281/F_y}$$

veya $9.2 t^4$ den küçük olmamalıdır.

Burada,

I_{min} = rijitleştirici elemanın, ağırlık merkezinden geçen ve rijitleştirilen elemana paralel olan eksenini göre sahip olması gereken minimum atalet momenti.

Rijitleştirici, rijitleştirdiği düzlemsel elemana dik olacak şekilde bükülerek oluşturulmuş düzlemsel bir parça ise, bunun minimum gerekli yüksekliği aşağıdaki ifade ile hesaplanacaktır:

$d_{min} = 2.8 t \sqrt{(w/t)^2 - 281/r_y}$
veya 4.8 t den küçük olmamalıdır. w/t oranı 60 dan büyük olan düzlemsel elemanlar için bu tür rijitleştiriciler kullanılmamalıdır.

2.3.2.2. Ara Rijitleştiriciler

Kendi düzlemi içerisinde basınç gerilmesine maruz bir düzlemsel elemanın çok rijitleştirilmiş basınç elemanı sayılabilmesi için; gövde levhaları veya bir gövde levhası ve bir kenar rijitleştirici arasında, gerilme doğrultusuna paralel olarak ara rijitleştiricilerle rijitleştirilmiş olması gerekir. Bu ara rijitleştiricilerinin her birinin atalet momenti, Bölüm 2.3.2.1 de kenar rijitleştiriciler için öngörülen minimum müsaade edilen atalet momentinin iki katından daha az olmamalıdır. Bu amaçla Bölüm 2.3.2.1 den kenar rijitleştirici minimum atalet momenti hesaplanırken w olarak ara rijitleştiriciler arasında kalan düzlemsel eleman genişliği kullanılacaktır. Ayrıca aşağıdaki kısıtlamalarda sözkonusudur:

a) Eğer iki gövde levhası arasında kalan ara rijitleştiricilerin aralıkları, bunlar arasında kalan düzlemsel kesit parçalarının w/t oranı Bölüm 2.3.1 de verilen $(w/t)_{lim}$ değerinden büyük olacak şekilde ise, gövde levhalarını enyakın iki ara rijitleştirici etkin sayılacaktır.

b) Eğer bir gövde levhası ve bir kenar rijitleştirici arasında kalan ara rijitleştiricilerin aralıkları, bunlar arasında kalan düzlemsel kesit parçalarının w/t oranı Bölüm 2.3.1 de verilen $(w/t)_{lim}$ değerinden büyük olacak şekilde ise, sadece bir ara rijitleştirici etkin sayılacaktır.

c) Eğer ara rijitleştiriciler, bunlar arasında kalan düzlemsel kesit parçalarının w/t oranı Bölüm 2.3.1 de verilen $(w/t)_{lim}$ değerinden büyük olmayacak kadar sık ise, bütün rijitleştiriciler etkin sayılacaktır. Sadece, gövde levhaları arasında kalan veya bir gövde levhası ve bir kenar rijitleştirici arasında kalan ara rijitleştiricili düzlemsel kesit parçasının, ara rijitleştiriciler gözönünde tutulmaksızın w/t oranını hesaplamak amacıyla, bu düzlemsel kesit parçası

aşağıda verilen ifadeyle hesaplanacak olan t_s kalınlığında ara rijitleştiricisiz bir elemanla değiştirildiği düşünülecektir.

$$t_s = \sqrt[3]{\frac{12I_s}{W_s}}$$

burada I_s = ara rijitleştiricili kesit parçasının, ara rijitleştiriciler hesaba katılarak, kendi asal eksenini etrafında hesaplanan atalet momentidir.

2.3.3. Maksimum İzin Verilen Genişlik/Et Kalınlığı Oranı.

Ara rijitleştiricileri hesaba katmaksızın, t olarak elemanın gerçek kalınlığı alınarak hesaplanan w/t oranı için maksimum izin verilen değerler aşağıda verildiği gibidir:

a) Bir kenarından gövde levhası veya bir flanşa bağlı diğerinden aşağıda belirtilenlerle rijitleştirilmiş, kendi düzlemi içinde basınç gerilmesi etkisinde olan elemanlar da:

Basit bir düzlem büküm halinde.....60

Diğer formda rijitleştiriciler.....90

b) Her iki kenarından diğer rijitleştirilmiş elemanlara bağlı, kendi düzlemi içinde basınç gerilmesi etkisinde olan elemanlarda:

2.3.4. Maksimum İzin Verilen Gövde Yüksekliği.....500

c) Rijitleştirilmemiş ve kendi düzlemi içerisinde basınç gerilmesi etkisinde olan elemanlarda:

a) Gövde levhaları rijitleştirilmemiş elemanlar için: 60

NOT: w/t oranı yaklaşık olarak 30 değerini aşan rijitleştirilmemiş ve w/t oranı yaklaşık olarak 250 değerini aşan rijitleştirilmiş elemanlarda, sınır gerilmelere eşit şiddette basınç gerilmeleri etkisi altında, elemanın yük taşıma kapasitesini etkilemeyen; fakat, hissedilir derecede deformasyonların meydana gelmesi muhtemeldir.

Öte yandan, w/t oranı 500 den büyük olan rijitleştirilmiş elemanlar, yük taşıma kapasiteleri açısından bir sa-

kinca yaratmamakla birlikte, önemli oranda deformasyon yapmaları, bu elemanlar için burada verilen standart maddelerinin geçersizliğine neden olur.

d) Alışılmışın dışında geniş flanşlar

Bu tür flanşlarda flanşın kesit düzlemi içinde, tarafsız eksenine doğru dönmesini sınırlamak gerekir. Bu amaçla, gerek basınç gerekse çekme başlığındaki; rijitleştirilmiş veya rijitleştirilmemiş flanşlar için aşağıdaki ifade kullanılır:

$$W_f = \sqrt{\frac{126.38td}{f_{av}}} \times \sqrt{\frac{100C_f}{d}}$$

burada,

W_f = flanşın gövde levhasından taşan kısmı (cm)

t = flanş et kalınlığı (cm)

d = giriş yüksekliği (cm)

C_f = flanş ucunun, flanş düzlemine dik olarak yaptığı deplasman (cm)*

f_{av} = yerel burkulma nedeniyle azaltılmamış flanş genişliği üzerindeki ortalama gerilme (Etkin genişlik esasına göre hesaplanan elemanlarda, ortalama gerilme, maksimum gerilmenin etkin genişlik oranı ile çarpımına eşittir.)

2.3.4. Maksimum İzin Verilen Gövde Yüksekliği.

Eğilmeye çalışan elemanların gövdelerinin h/t oranı, aşağıda verilen limitleri aşmayacaktır:

a) Gövde levhaları rijitleştirilmemiş elemanlar için:

$$(h/t)_{\max} = 150$$

b) Tekil yüklerin veya mesnet reaksiyonlarının gövde levhasına uygun şekilde aktarılması sağlanmış elemanlar için:

$$(h/t)_{\max} = 200$$

*- Bu deplasmanın kabul edilebilir değerinin projeci tarafından saptanması gerekir. Ancak kesit yüksekliğinin % 5'i oranında bir deplasman genellikle aşırı kabul edilmez.

Yukarıda,

h = gövde levhası düzleminde ölçülen, flanşlar arası temiz mesafedir.(cm)

t = gövde levhası et kalınlığıdır.(cm)

Gövde levhasının birden fazla levhadan oluşması halinde, h/t oranı her bir levha için ayrı, ayrı hesaplanacaktır.

2.3.5. Tekil Yük Taşıyan, Alışılmışın Dışında Kısa Açıklıklı Elemanlar.

Kiriş yüksekliğinin $30 w_f$ den küçük olması (w_f aşağıda açıklandığı gibidir) ve kirişin $2w_f$ den geniş aralıkla bir veya birden fazla tekil yük taşıması halinde, çekme veya basınç tarafındaki flanşların etkin genişliği, aşağıda belirtildiği gibi kısıtlanmıştır:

TABLO 2.3.5.

Kısa, Geniş Flanşlar

Maksimum İzin Verilen Etkin Genişlik /
Gerçek Genişlik Oranı.

L/w_f	Oran	L/w_f	Oran
30	1.00	14	0.82
25	0.96	12	0.78
20	0.91	10	0.73
18	0.89	8	0.67
16	0.86	6	0.55

Tablo 2.3.5 te ;

L = Basit kirişte toplam açıklık; sürekli kirişte moment sıfır noktaları arası mesafe; konsol kirişte konsol miktarının iki katıdır.

w_f = Flanşın gövde levhasından taşan kısmı.

I kesitler ve benzerlerinin, dış kenarları basit bir düzlemsel bükümle rijitleştirilmiş flanşları için, w_f flanşın gövde levhasından taşan kısmı ile kenar rijitleştiricinin yüksekliğinin toplamı olarak alınacaktır.

BÖLÜM 3- BOYUTLANDIRMADA SINIR GERİLMELERİ.

Boyutlandırmada, izleyen bölümlerde verilen sınır gerilmeler kullanılacaktır.

3.1. Elemanter Sınır Gerilme

Çekme çubuklarının net enkesitleri üzerinde ve eğilme çubuklarının ençok gerilmelene enkesit noktalarında, çalışan gerilme

$$F = 0.6 F_y$$

gerilmesini aşmamalıdır. Burada F_y malzemenin akma gerilmesidir. Yukarıda tanımlanan elemanter sınır gerilmeleri, Tablo 3.1 de verilmiştir.

TABLO 3.1

Elemanter Sınır Gerilmeleri

Min. Akma Sınır

Gerilmesi
(t/cm²)

F
(t/cm²)

4.6	2.7
4.2	2.5
3.9	2.3
3.5	2.1
3.2	1.9
2.9	1.8
2.8	1.7
2.6	1.5
2.5	1.5
2.3	1.4
2.1	1.3
1.8	1.1

3.1.2. Rüzgar, Deprem ve Kombine Yükler

3.1.2.1. Sadece Rüzgar veya Deprem Yükleri

Yük taşıyıcı elemanlar veya bunların biraraya gelmesiyle oluşan taşıyıcı sistemler, eğer sadece rüzgar veya deprem yük-

lerinden oluşan gerilmelerin etkisi altında iseler, % 33.33 oranında arttırılmış sınır gerilmelere göre boyutlandırılırlar. Bu artım birleşim elemanlarının boyutlandırılmasında da hesaba katılabilir.

3.1.2.2. Kombine Yükler

Yük taşıyıcı elemanlar veya bunların biraraya gelmesiyle oluşan taşıyıcı sistemler, rüzgar veya deprem yüklerinin diğer yüklerle birlikte etkimesi halinde, ölü ve hareketli yükler için tanımlanmış sınır gerilmelerin % 33.33 oranında arttırılmış değerleriyle boyutlandırılırlar. Fakat bu şekilde boyutlandırılan kesit hareketli ve ölü yüklerin birlikte etkimesi halinde gerekenden daha küçük olamaz.

3.2 Basınç Gerilmesi Etkisindeki Rijitleştirilmemiş Elemanlar.

F_c (t/cm²) sınır basınç gerilmesi

a) w/t 'nin $17/\sqrt{F_y}$ den büyük olmadığı halde;

$$F_c = 0.60 F_y$$

b) w/t 'nin $17/\sqrt{F_y}$ den büyük fakat $38/\sqrt{F_y}$ den büyük olmadığı halde;

$$F_c = F_y [0.767 - (9.96/10^3) (w/t) \sqrt{F_y}]$$

c) w/t 'nin $38/\sqrt{F_y}$ 'den büyük fakat 25 ten büyük olmadığı halde;

$$F_c = 562/(w/t)^2$$

d) w/t 'nin 25 ile 60 arasında olması halinde;

L kesitli basınç çubuklarında

$$F_c = 562/(w/t)^2$$

Diğer kesitlerde

$$F_c = 1.39 - 0.02(w/t)$$

3.3. Yanal Burkulmaya Karşı Tutulmamış Kirişler.

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek enbüyük basınç gerilmesi F_b . Bölüm 3.1 ve 3.2 ile aşağıda verilen sınır gerilmeleri aşmamalıdır.

X Bu bölümde verilenler sadece I, Z, L kesitli kirişler için-
dir.

a) Eğer eğilme momenti, gövde levhası içinde yer alan eksene göre simetrik I şeklindeki kesitlerin veya simetrik U şeklindeki kesitlerin gövde levhasına dik asal eksen etrafında etkiyorsa:

$$\frac{1.8 \pi^2 EC_b}{F_y} > \frac{L^2 S_{xc}}{d I_{yc}} > \frac{0.36 \pi^2 EC_b}{F_y}$$

olması halinde, sınır gerilme

$$F_b = \frac{2}{3} F_y - \frac{F_y^2}{5.4 \pi^2 EC_b} \left(\frac{L^2 S_{xc}}{d I_{yc}} \right)$$

Öte yandan,

$$\frac{L^2 S_{xc}}{d I_{yc}} \geq \frac{1.8 \pi^2 EC_b}{F_y}$$

olması halinde, sınır gerilme

$$F_b = 0.6 \pi^2 EC_b \frac{d I_{yc}}{L^2 S_{xc}}$$

olarak verilir.

b) Kesit geometrik merkezinden geçip gövde levhasına dik eksen etrafında eğilmeye çalışan noktaya göre simetrik L kesitli kirişlerde:

$$\frac{0.9 \pi^2 EC_b}{F_y} > \frac{L^2 S_{xc}}{d I_{yc}} > \frac{0.18 \pi^2 EC_b}{F_y}$$

olması halinde, sınır gerilme

$$F_b = \frac{2}{3} F_y - \frac{F_y^2}{2.7 \pi^2 EC_b} \left(\frac{L^2 S_{xc}}{d I_{yc}} \right)$$

X Bu bölümde verilenler sadece I, Z, L kesitli kirişler içindir.

öte yandan

$$\frac{L_y^2 S_{xc}}{d I_{yc}} > \frac{0.9 \pi^2 E C_b}{F_y}$$

olması halinde, sınır gerilme

$$F_b = 0.3 \pi^2 E C_b \frac{d I_{yc}}{L_y^2 S_{xc}}$$

olarak verilir. Bu ifadelerde,

L = elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu(cm)

I_{yc} = kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti(cm^4)

S_{xc} = tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm^3)

C_b = eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafta kalarak bire eşit alınabileceği gibi aşağıdaki ifade ile de hesaplanabilir.

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

Fakat bu değer 2.3 ten büyük olamaz.

Bu ifadede; M_1 , yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş parçasının uç momentlerinden küçüğü, M_2 ise büyük olanıdır.

Bu momentler kiriş kesitinin kuvvetli asal eksen etrafında etkimektedir. M_1/M_2 oranı ters işaretli iki eğrilikli eğilme halinde pozitif, tek eğrilikli eğilme halinde ise negatiftir.

Eğer, yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş uzunluğu üzerindeki herhangi bir noktadaki eğilme momenti, bu uzunluğun uçlarındaki M_1 ve M_2 momentlerinden değerce büyük ise C_b katsayısı bire eşit alınacaktır. Ayrıca, eksenel basınç gerilmesi ve eğilme gerilmesine aynı anda maruz kalan kirişler için C_b yine bire eşit alınacaktır.

E = Elastisite modülüdür. (t/cm^2)

d = Kiriş yüksekliğidir. (cm)

3.4. Kiriş Gövdelerinde Müsaade Edilen Gerilmeler

3.4.1. Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıfsız kesit alanı üzerinde F_v maksimum ortalama kayma gerilmesi (t/cm^2) aşağıdaki değerleri aşmayacaktır.

a) $h/t \leq 145/\sqrt{F_y}$ için,

$$F_v = \frac{40.98\sqrt{F_y}}{h/t}$$

olacak fakat $F_v = 0.40 F_y$ değerini aşmayacaktır.

b) $h/t > 145/\sqrt{F_y}$ için,

$$F_v = \frac{6000}{(h/t)^2}$$

olacaktır.

Burada,

t = gövde et kalınlığı, cm cinsinden

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe (cm)

F_y = akma sınır gerilmesi (t/cm^2)

Kiriş gövdesinin birden fazla levhadan oluşması halinde, her bir gövde levhası kesme kuvvetinden hakkına düşeni taşıyan kendi başına bir eleman olarak değerlendirilecektir.

3.4.2. Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı F_{bw} (t/cm^2) basınç gerilmesi ne $F = 0.60 F_y$ gerilmesini nede

$$F_{bw} = \frac{36842}{(h/t)^2} \quad F_{bw} \text{ (t/cm}^2\text{)}$$

gerilmesini aşmamalıdır.

3.4.3. Eğilme ve Kayma Gerilmelerinin Birlikte Meydana Geldiği Hal.

Eğilme ve kayma gerilmelerinin her ikisinde de maruz

olan gövde levhaları, bu gerilmeler 3.4.1 ve 3.4.2 'de verilen müsaade edilen gerilme değerlerini aşmıyacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Ayrıca

$$(f_{bw}/F_{bw})^2 + (f_v/F_v)^2 \leq 1$$

olmalıdır.

Burada, f_v bir yol izlenmelidir. (mesela, gövde takviyesi)

$$F_{bw} = \frac{36842}{(h/t)^2}, \quad (t/cm^2) \text{ Levhası Olan Kırıklar.}$$

F_v = 3.4.1 'de verilen müsaade edilen kayma gerilmesi değeridir. Ancak $0.4 F_y$ burada kullanılmayacaktır.

f_{bw} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi. (t/cm^2)

f_v = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesi.

2-İç moment reaksiyonları veya sıkılık üzerindeki herhangi bir yerde yer alan tekil yükler için: iç köşe eğrilik yarıçapı levha kalınlığından k çuk veya ona eşit olması halinde,

$$F_{max} = 0.703 t^2 \left[305 - 2.30 (N/t) - 0.009 (N/t) (h/t) - 0.5 (h/t) \right] \times \left[1.22 - 0.22 (F_y/2.32) \right] (F_y/2.32)$$

4t'ye kadar dış köşe eğrilik yarı çapı halinde, yukarıdaki formülde verilen F_{max} değeri $(1.06 - 0.06 N/t)$ ile çarpılacaktır.

3- 4t'den daha büyük köşe eğrilik yarı çapı halinde AISI B818m 6'ya göre test yapılmalıdır.

b) İki U Profilini Sırt, Sırtı Birleştirerek Üstünlük İki Kırıklar İçin:

3.5. Tekil Yüklerin Etki Noktaları Altındaki Kiriş Gövdelerinde Burkulma

Gövde yüksekliği/ et kalınlığı, $h/t \leq 150$ olan takviyesiz kiriş gövde levhalarında buruşma olmaması için, tekil yüklerin ve mesnet reaksiyonlarının değeri aşağıda verilen P_{max} değerini aşmamalıdır. $h/t > 150$ olması halinde kiriş gövdesine tekil yükün direk gövde levhasına aktarılmasını mümkün kılan bir yol izlenmelidir. (mesela, gövde takviyesi kullanmak)

a) Tek Bir Takviyesiz Gövde Levhası Olan Kirişler.

1- Dış mesnet reaksiyonları veya konsol kirişlerin uçlarındaki tekil yükler için; iç köşe eğrilik yarıçapı levha et kalınlığından küçük veya ençok eşit olması halinde

$$P_{max} = 0.703 t^2 \left[93 + 4.20 (N/t) - 0.022 (N/t) (h/t) - 0.011 (h/t) \right] \times \left[1.33 - 0.33 (F_y/2.32) \right] F_y \quad (t/cm^2)$$

2- iç mesnet reaksiyonları veya açıklık üzerindeki herhangi bir yerde yer alan tekil yükler için: İç köşe eğrilik yarıçapı levha kalınlığından küçük veya ona eşit olması halinde,

$$P_{max} = 0.703 t^2 \left[305 - 2.30 (N/t) - 0.009 (N/t) (h/t) - 0.5 (h/t) \right] \times \left[1.22 - 0.22 (F_y/2.32) \right] (F_y/2.32)$$

4 t'ye kadar dış köşe eğrilik yarı çapı halinde, yukarıdaki formülde verilen P_{max} değeri $(1.06 - 0.06 R/T)$ ile çarpılacaktır.

3- 4 t'den daha büyük köşe eğrilik yarı çapı halinde AISI Bölüm 6'ya göre test yapılmalıdır.

b) İki U Profilini Sırt, Sırta Birleştirerek Oluşturulan I Kirişler İçin:

1- Dış mesnet reaksiyonları veya konsol kirişlerin uçlarındaki tekil yükler için ;

$$P_{\max} = t^2 F_y (4.44 + 0.558) \sqrt{(N/t)}$$

F_y (t/cm²) t (cm) $P_{\max}$ (t)

2- İç mesnet reaksiyonları veya açıklık üzerinde her hangi bir yerde yer alan tekil yükler için;

$$P_{\max} = t^2 F_y (6.66 + 1.446) \sqrt{(N/t)}$$

F_y (t/cm²) t (cm) $P_{\max}$ (t)

Yukarıda formüllerle verilen bütün $P_{\max}$ değerleri, üst ve alt flanşlara birleşen tek bir gövde levhası içindir. Birden fazla bu tür gövde levhalarından oluşan gövdeler için, $P_{\max}$ her bir gövde levhası için ayrı, ayrı hesaplanarak toplanacaktır.

Kiriş ucuna yakın etkiyen yükler için; konsol kirişlerde serbest uçtan enyakin " gövde levhasına etkiyen gerçek yük şeridi" kenarına mesafe ve kenar mesnetlere yakın yer alan tekil yükler için mesnet reaksiyonunun gövde levhasına yansıyan yük şeridinin kenarı ile en yakın tekil yükten gövde levhasına yansıyan yük şeridinin kenarı arasındaki mesafe $1.5h'$ tan büyükse a-2 ve b-2 formülleri geçerlidir. Aksi halde a-1 ve b-1 formülleri geçerlidir.

Bu formüllerde

- $P_{\max}$ = İzin verilen tekil yük veya mesnet reaksiyonu değeri (t)
 t = Gövde levhası kalınlığı (cm)
 N = Gerçek etki yük şeridi genişliği (cm). Ancak yukarıdaki formüllerde h' dan büyük alınmayacaktır.
 h = Gövde levhası düzleminde ölçülen, flanşlar arası mesafe (cm)
 R = İç kenar eğrilik yarıçapı (cm)
 F_y = Akma sınır gerilmesi (t/cm²)

3.6. Eksenel Baskın Kuvveti Etkisindeki Elemanlar.

3.6.1. Sınır Gerilme.

3.6.1.1. Eğilmeli-Burulmalı Burkulma Etkisinin Olmadığı Kesitler.

a) Çift simetri eksenli, kapalı veya silindirik kesitlerle eğilmeli- burulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap ile gösterilmiş diğer kesit şekilleri ve burulmaya karşı tutulmuş elemanlar için P/A ortalama eksenel basınç gerilmesi F_{al} gerilmesinin aşağıda verilen değerini aşmamalıdır.

$$KL/r < \frac{C_c}{Q} \quad \text{ise:}$$

$$F_{al} = \frac{12}{23} Q F_y - \frac{3(QF_y)^2}{23\pi^2 E} \left(\frac{KL}{r}\right)^2$$

$$KL/r \geq \frac{C_c}{Q} \quad \text{ise:}$$

$$F_{al} = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2}$$

Bu ifadelerde

$$C_c = \sqrt{2\pi^2 E/F_y}$$

F =Eksenel basınç kuvveti

A =Yerel burkulma nedeniyle azaltılmamış kesitin alanı

E =Elastisite modülü

K =Etkin burkulma boyu faktörü

L =Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r =Yerel burkulma nedeniyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

F_y =Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q =Aşağıda açıklandığı gibi hesaplanacak olan bir faktör

1- Tamamen rijitleştirilmiş elemanlarla oluşturulan basınç çubuklarında Q ; bu elemanların etkin genişlikleri ile hesap-

lanan etkin enkesit alanının, etkin genişlik gözönünde tutulmadan hesaplanan enkesit alanına oranıdır. Etkin alan hesabında çalışan gerilme yerine Bölüm 3.1 de verilen elemanter boyutlandırma gerilmesi kullanılacaktır.

2- Tamamen, rijitleştirilmemiş elemanlardan oluşturulan basınç çubuklarında Q; kesiti oluşturan levha elemanlardan en zayıfının (en büyük levha genişliği/et kalınlığı oranına sahip olanı) sınır basınç gerilmesinin, elemanter sınır gerilmeye oranıdır. Sınır basınç gerilmesi bölüm 3.2 de, elemanter sınır gerilmesi ise bölüm 3.1 de verilmiştir.

3- Rijitleştirilmiş ve rijitleştirilmemiş elemanların karışımından meydana gelen basınç çubuklarında Q; (1) ve (2) de tanımlanan Q katsayılarının çarpımına eşittir. Ancak (1) de hesaplanan Q katsayısı bu halde F_c sınır basınç gerilmesi gözönünde tutularak hesaplanacaktır.

b) Eğer $Q=1$, et kalınlığı 3 mm veya daha kalın ve $KL/r < C_c$ ise sınır basınç gerilmesi

$$\frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2 (C_c)^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3 (KL/r)}{8 (C_c)} - \frac{(KL/r)^3}{8 (C_c)^3}}$$

3.6.1.2., Tek simetri Eksenli ve Simetri Eksensiz Açık Enkesite Sahip Olup, Eğilmeli-Burkulma Etkisine Maruz Kalabilen ve Q Katsayısı Bire Eşit Basınç Çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi 3.6.1.1 bölümünde verilen F_{a1} sınır gerilmesini aşmayacak, ayrıca aşağıda verilen F_{a2} sınır gerilmesinden daha büyük olmayacaktır.

$\sigma_{TFO} > 0.5 F_y$ için:

$$F_{a2} = 0.522 F_y - \frac{F_y^2}{7.67 \sigma_{TFO}}$$

$$\sigma_{TFO} \leq 0.5 F_y \quad \text{için:}$$

$$F_{a2} = 0.522 \sigma_{TFO}$$

Burada;

F_{a2} = Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme

σ_{TFO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesi:

a) Tek Simetri Eksenli Kesitler

Enkesiti tek simetri eksenine (x eksenine) sahip elemanlarda, σ_{TFO} , σ_{ex} ve σ_t 'nin her ikisinden de küçük olup, şu ifade ile hesaplanır.

$$\sigma_{TFO} = \frac{1}{2\beta} \left[(\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t} \right]$$

bu ifadede

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r_x)^2}$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A r_o^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(KL)^2} \right]$$

$$\beta = 1 - (x_o/r_o)^2$$

A = Enkesit alanı

$r_o = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2}$ = Kayma merkezine göre kesitin polar atalet yarıçapı

E = Elastisite modülü

G = Kayma modülü

K = Etkin burkulma boyu

L = Basınç çubuğunun burkulmaya karşı tutulmamış uzunluğu

x_o = x asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

r_x, r_y = Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapları

J = Kesitin St. Venant burulma sabiti üniform kalınlıkta n adet levhadan oluşan ince cidarlı kesitlerde

$$J = (1/3) (\ell_1 t_1^3 + \ell_2 t_2^3 + \dots + \ell_i t_i^3 + \dots + \ell_n t_n^3)$$

t_i = i numaralı levhanın et kalınlığı

L_i = i numaralı levhanın ortalama çizgisinin uzunluğu.

C_w = Kesitin çarpılma sabiti

b) Simetrik Olmayan Kesitler Enkesiti

Ne bir eksene göre, ne de bir noktaya göre simetrik olmayan kesitlerde, σ_{TFO} rasyonel bir analiz yöntemiyle saptanmalı veya bu tür enkesite sahip basınç çubukları teste tabi tutulmalıdır.

3.6.1.3. Bölüm 3.6.1.2. de Tanımlanan Basınç Çubuklarında Q Katsayısı Birden Küçükse.

Bu durumda, Bölüm 3.6.1.2. de verilen esaslarremniyetli tarafta kalınarak, bu ifadelerdeki F_y , QF_y ile yer değiştirilerek kullanılabilir. Q katsayısının Bölüm 3.6.1.1 deki tanımını bu hal içinde geçerlidir. Bu tür elemanların yük taşıma kapasiteleri test yapılarakta bulunabilir.

3.6.2. Basınç çubuklarının Düzlem Burkulma Boyları veya Kirişlerin yanal Burkulma Boylarının Kısaltılması İçin Kullanılan Basınç Çubukları veya Yapının Tümsel Yük Taşıma Kapasitesine Birinci Derecede Katkısı Olmayan Basınç Çubukları

Bu çubuklarda L/r oranı 120 den büyükse (Bu çubuklarda $K = 1$ alınacaktır.) , aksenal basınç kuvveti etkisi altında sınır gerilme aşağıda verilen ifade ile hesaplanacaktır:

$$F_{as} = \frac{F_a}{L} \cdot 1.3 - \frac{400r}{400r}$$

Bu ifade F_a gerilmesi, Bölüm 3.6.1.1 veya Bölüm 3.6.1.2 den uygun olanına göre hesaplanacaktır.

3.6.3. Narinlık İçin Üst Sınır

Basınç çubuklarında KL/r oranı 200 değerini aşmamalıdır. Ancak montaj sırasında KL/r oranı 300 değerini aşmamalıdır.

3.7. Eksenel Basınç Kuvvet ve Eğilme Momentinin

Birlikte Etkidiği Elemanlar

3.7.1. Çift Simetri Eksenli veya Burulmalı Burkulma ile Eğilmeli-Burulmalı Burkulmanın Etkisiz Olduğu Kesitler.

Bu özellikte enkesiti olup, eksenel basınç kuvveti ile birlikte eğilme momentine maruz elemanlar aşağıda verilen koşullar sağlanacak şekilde boyutlandırılacaklardır.

$$\frac{f_a}{F_{al}} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{(1 - \frac{f_a}{F_{ex}}) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{(1 - \frac{f_a}{F_{ey}}) F_{by}} \leq 1.0$$

$$\frac{f_a}{f_{ao}} + \frac{f_{bx}}{f_{blx}} + \frac{f_{by}}{f_{bly}} \leq 1.0$$

Eğer, $f_a / F_{al} \leq 0.15$ ise yukarıdaki formüller yerine şu formül kullanılabilir:

$$\frac{f_a}{F_{al}} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

Bu formüllerdeki x ve y indisleri, etrafında eğilme momentinin etki ettiği kesit asal eksenlerini göstermektedir.

3.7.2. Katsayısı Bire Eşit Olup, Eğilmeli - Burulmalı
Burkulmanın Etkili Olabildiği Tek Simetri Eksenli
Kesitler

Bu özellikte enkesiti olup, eksenel basınç kuvveti ile birlikte kesit simetri düzlemi içinde etkiyen bir eğilme momentinin etkisi altında olan elemanlar, aşağıda verilen koşullar sağlanacak şekilde boyutlandırılacaklardır.

$$i) \quad \frac{f_a}{F_{al}} + \frac{f_b C_m}{F_{bl} \left(1 - \frac{f_a}{F_e}\right)} < 1.0$$

iii) T ve simetri olmayan kesitler dışındaki tek simetri eksenli kesitlerde, eğer basınç kesitin ağırlık merkezinden etkiyorsa; kesit simetri ekseninin, kayma merkezi ile kesit ağırlık merkezi arasında kalan parçası üzerindeki bir noktadan; çubuk eksenine paralel doğrultuda etkiyorsa ve eğer

$$\frac{f_a}{F_{al}} \leq 0.15 \text{ ise, yukarıda verilen formül yerine şu formül}$$

kullanılacaktır:

$$iv) \quad \frac{f_a}{F_{al}} + \frac{f_b}{F_{bl}} \leq 1.0$$

ii) Eğer basınç kuvveti, kesitin ağırlık merkezinden etkiyor fakat; kayma merkezi ile kesit ağırlık merkezinin üzerinde bulunduğu kesit simetri ekseninin, kesit ağırlık merkezinin kayma merkezine göre ters tarafında kalan parçası üzerindeki bir noktadan; çubuk eksenine paralel doğrultuda etkiyorsa $P/A = f_a$ ortalama basınç gerilmesi aşağıda verilen F_a sınır gerilmesini aşmamalıdır:

$\sigma_{TF} > 0.5 F_y$ halinde:

$$F_a = 0.522 F_y - \frac{F_y^2}{7.67 \sigma_{TF}}$$

$\sigma_{TF} \leq 0.5 F_y$ halinde:

$$F_a = 0.522 \sigma_{TF}$$

bu ifadelerdeki σ_{TF} gerilmesi,

$$\frac{\sigma_{TF}}{\sigma_{TFO}} = \frac{C_{TF} \sigma_{bl}}{\sigma_{ot} \left(1 - \frac{\sigma_{TF}}{\sigma_e}\right)} = 1.0$$

formülünden hesaplanacaktır.

iii) T ve simetri olmayan I kesitler dışındaki tek simetri eksenli kesitlerde, eğer basınç kesitin ağırlık merkezinden etkimiyor fakat, kesit simetri ekseninin, kayma merkezi ile kesit ağırlık merkezi arasında kalan parçası üzerindeki bir noktadan çubuk eksenine paralel doğrultuda etkiyorsa ve eğer F_{a1} ve F_{a2} ise $f_a = P/A$ ortalama basınç gerilmesi aşağıda verilen F_a sınır gerilmesini aşmıyacaktır.

$$F_a = F_{a2} + \frac{e}{x_o} (F_{aE} - F_{a2})$$

iv) T ve simetrik olmayan I kesitli çubuklarda

a- Eğer eksenel basınç kuvveti (iii) halindeki gibi etkiyor ve $F_{a1} > F_{a2}$ ise, $f_a = P/A$ ortalama basınç gerilmesi aşağıda verilen F_a sınır gerilmesini aşmıyacaktır:

$$F_a = F_{a2} + \frac{e}{x_o} (F_{ac} - F_{a2})$$

b- Eğer basınç kuvveti, kesitin ağırlık merkezinden etkimiyor fakat; kesit simetri ekseninin, kayma merkezinin kesit ağırlık merkezine göre ters tarafında kalan parçası üzerindeki bir noktadan; çubuk eksenine paralel doğrultuda etkiyorsa, $f_a = P/A$ ortalama basınç gerilmesi aşağıda verilen F_a

sınır gerilmesini aşmayacaktır;

$\sigma_{TF} > 0.5 F_y$ halinde:

$$F_a = 0.522 F_y - \frac{F_y^2}{7.67 \sigma_{TF}}$$

$\sigma_{TF} \leq 0.5 F_y$ halinde:

$$F_a = 0.522 \sigma_{TF}$$

bu ifadelerdeki σ_{TF} gerilmesi şu formül uyarınca hesaplanacaktır:

$$\frac{\sigma_{TF}}{\sigma_{ex}} + \frac{\sigma_{TF}}{\sigma_{bc}} \left[\frac{\sigma_{b1}}{\sigma_{TF}} - \sigma_{b2} \right] = 1.0$$

Bölüm 3.7.2 de, x ve y eksenleri kesit asal eksenleri olup, ayrıca x eksenini kesit simetri eksenidir. Bunun pozitif yönü kayma merkezinden uzaklaşan yönüdür.

Ayrıca Bölüm 3.7 de

C_m = Değeri, aşağıda açıklandığı gibi hesaplanması gereken bir katsayıdır.

1. Düğüm noktaları kendi düzleminde yanal deplasmana karşı tutulmamış çerçevelerin basınç kuvvetine maruz elemanlarında

$$C_m = 0.85$$

2. Düğüm noktaları kendi düzleminde yanal deplasmana karşı tutulmuş çerçevelerin; düğüm noktaları arasında eksenine dik yanal yükler yer almayıp, uçları mafsallı olmayan basınç elemanlarında;

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$

ifadesiyle hesaplanacak, fakat değeri 0.4 ten daha küçük olmayacaktır. Bu ifadede M_1/M_2 , elemanın gözönünde tutulan eğilme düzleminde yanal deplasmana karşı tutulmamış parçasının uçlarında yer alan momentlerden küçüğünün büyüğüne oranıdır. M_1/M_2 oranının işareti, eleman iki eğrilikli eğilme etkisi altında ise pozitif, tek eğrilikli eğilme etkisi altında ise negatiftir.

3. Düğüm noktaları kendi düzleminde yanal deplasmana karşı tutulmuş çerçevelerin, düğüm noktaları arasında eksenine dik yanal yüklere maruz basınç elemanlarında C_m katsayısının değeri gerçekçi bir yaklaşımla hesaplanabileceği gibi, bunun yerine aşağıda verilen değerler de kullanılabilir;

- a) Uçları mafsallı olmayan basınç elemanlarında, $C_m = 0.85$
- b) Uçları mafsallı olan basınç elemanlarında, $C_m = 1.0$

C_{TF} = Değeri, aşağıda açıklandığı gibi hesaplanması gereken bir katsayı:

1. Düğüm noktaları kendi düzleminde yanal deplasmana karşı tutulmamış çerçevelerin basınç kuvvetine maruz elemanlarında

$$C_{TF} = 0.85$$

2. Düğüm noktaları kendi düzleminde yanal deplasmana karşı tutulmamış çerçevelerin; düğüm noktaları arasında eksenine dik yanal yükler yer almayıp, uçları mafsallı olmayan basınç elemanlarında

$$C_{TF} = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$

ifadesiyle hesaplanacaktır. Burada M_1/M_2 , elemanın gözönünde tutulan eğilme düzleminde yanal deplasmana karşı tutulmamış

parçasının uçlarında yer alan momentlerden küçüğünün büyüğüne oranıdır. M_1/M_2 oranının işareti, eleman iki eğrilikli eğilme etkisi altında ise pozitif, tek eğrilikli eğilme etkisi altında ise negatiftir.

c = Asal eksenin maksimum basınç gerilmesinin yer aldığı kesit noktasına mesafesidir. Eğer bu kesit noktası kayma merkezi tarafında ise işareti negatiftir.

d = Kesitin yüksekliğidir.

e = Eksenel yükün kesit ağırlık merkezine göre eksantrikliği olup, ağırlık merkezinin kayma merkezi tarafında ise negatiftir.

F_a = P/A maksimum ortalama basınç gerilmesidir.

F_{ac} = Eksantrik yükün kayma merkezinden etkimesi halinde (i) ve (ivb) koşullarının her ikisinde sağlanacak şekilde saptanmış ortalama sınır basınç gerilmesidir.

F_{ae} = Eksantrik yükün kayma merkezinden etkimesi halinde (i) koşulu sağlanacak şekilde saptanmış ortalama sınır basınç gerilmesidir.

F_{ao} = Eksenel basınç kuvveti altında Bölüm 3.6.1.1 uyarınca $L = 0$ için hesaplanan sınır basınç gerilmesi

F_{a1} = Eksenel basınç kuvveti altında simetri düzlemi içindeki burkulma hali için Bölüm 3.6.1.1. uyarınca hesaplanan sınır basınç gerilmesi.

F_{a2} = Eksenel basınç kuvveti altında Bölüm 3.6.1.2 uyarınca hesaplanan sınır basınç gerilmesi

F_b = Sadece eğilme momenti etkisi altında bu standardın izin verdiği maksimum basınç gerilmesi.
(Bölüm 3.1, 3.2 ve 3.3)

f_a = Eksenel gerilme=Eksenel yük /(Kesitin kayıpsız alanı)

F_{bl} = Sadece eğilme momenti etkisi altında ve yanal burkulma etkisi gözönünde tutulmadan bu standanın izin verdiği maksimum basınç gerilmesi
(Bölüm 3.1 ve 3.2)

$$F_e = \frac{12\pi^2 E}{23(KL_b/r_b)^2} \text{ (Bölüm 3.1.2 uyarınca 1/3 oranında arttırılabilir.)}$$

f_b = Maksimum eğilme gerilmesi = Eğilme gerilmesi/(uygun kesit mukavemet momenti). Burada unutulmaması gereken nokta, rijitleştirilmiş basınç elemanı içeren enkesite sahip elemanlarda, mukavemet momenti etkin genişlik gözönünde tutularak hesaplanacaktır.

I_{xc} = Kesitin basınç gerilmesi alan bölgesinin kesit simetri eksenine (x eksenine) göre atalet momenti.

I_y = Kesitin ağırlık merkezinden geçen x simetri eksenine bu merkezde dik olan y eksenine göre atalet momenti.

$$J = \frac{1}{2I_x} \left[\int_A x^3 dA + \int_A xy^2 dA \right] - x_0$$

K = Eğilme düzlemi içinde etkin burkulma boyu faktörü.

L_b = Eğilme düzlemi içinde burkulmaya karşı tutulmamış eleman boyu.

$$M_c = -A \sigma_{ex} \left[J - \sqrt{J^2 + r_o^2 (\sigma_t / \sigma_{ex})} \right]$$

Kesit ağırlık merkezinin kayma merkezi tarafında basınç gerilmesi meydana getiren elastik kritik moment.

$$M_T = -A \sigma_{ex} \left[J - \sqrt{J^2 + r_o^2 (\sigma_t / \sigma_{ex})} \right]$$

Kesit ağırlık merkezinin kayma merkezi tarafında çekme gerilmesi meydana getiren elastik kritik moment.

r_b = Kesitin etrafında eğilme meydana gelen asal eksenine göre atalet yarıçapı.

r_{xc} = Sadece eğilme etkisi altında kesitin basınç gerilmesi alan bölgesinin, kesit simetri eksenine (x eksen) göre atalet yarıçapı.

S_{yc} = Kesitin simetri eksenine (x eksen) ağırlık merkezinde dik asal eksenine (y eksen) göre, basınç gerilmesi alan bölgesi için hesaplanmış mukavemet momenti.

x_o = Kayma merkezinin x koordinatı negatiftir.

$\sigma_{oc} = \frac{M_c C}{I_y}$, M_c momentince yaratılan maksimum basınç gerilme-

sidir. Başlıkları farklı olan I kesitlerde σ_{bc} yaklaşık olarak

$$\frac{\pi^2 E d I_{xc}}{L^2 S_{yc}}$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

$\sigma_{bt} = \frac{M_t C}{I_y}$, M_t momentince yaratılan maksimum basınç ge-

rilmesidir. Başlıkları farklı olan I kesitlerde σ_{bt} yaklaşık olarak

$$\frac{\pi^2 E d I_{xc}}{L^2 S_{yc}}$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

$\sigma_{b1} = \sigma_{TF} \frac{e c}{r_y^2} = \sigma_{TF}$ tarafından yaratılan maksimum ba-

sınç eğilme gerilmesi.

$$\sigma_{b2} = \sigma_{TF} \frac{x_o C}{r_y^2}$$

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 E}{(KL_b/r_b)^2}$$

σ_{TF} = Ortalama elastik eğilmeli-burulmalı burkulma gerilmesi.
Yani eğilmeli-burulmalı burkulmaya neden olan eksenel basınç kuvvetinin, kesitin kayıpsız alanına bölümüdür.

A, E, r_o , r_y , σ_{ex} , σ_t , σ_{TFO} in anlamı Bölüm 3.6.1.2 de açıklandığı gibidir.

3.7.3. Q Katsayısı Birden Küçük Olup, Eğilmeli- Burulmalı Burkulmanın Etkili Olabildiği Tek Simetri Eksenli Kesitler.

Bu özellikte enkesiti olup, eksenel basınç kuvveti ile birlikte, kesit simetri düzlemi içinde etkiyen bir eğilme momentinin etkisi altında olan elemanlar; emniyetli tarafta kalmak suretiyle, F_y yerine QF_y kullanılarak Bölüm 3.7.2. uyarınca boyutlandırılabilirler. Q, Bölüm 3.6.1.1 de açıklandığı gibidir. Bu tür elemanların yük taşıma kapasiteleri test yapılarakta bulunabilir.

3.7.4. Simetrik Olmayan Şekilde Yüklü Tek Simetri Eksenli Kesitler.

Eksenel basınç kuvveti ile birlikte, kesit simetri düzlemi dışında etkiyen bir eğilme momentinin etkisi altında olan tek simetri eksenli kesite sahip taşıyıcı elemanların yük taşıma kapasiteleri test yapılmak suretiyle saptanır.

3.8. Eksenel Basınç Kuvveti veya Eğilme Momenti Etkisindeki Silindirik Tüp Elemanlar.

Enkesitinin çeper et kalınlığının ortasından geçen çember çapı D'nin t et kalınlığına oranı, $3300/F_y$ (ksi) $232/F_y$ (t/cm²).

değerinden daha büyük olmayan elemanlarda basınç gerilmesi elemanter sınır gerilmesini aşmayacaktır.

D/t oranı $232/F_y$ (t/cm^2) den daha büyük, fakat $13000/F_y$ (ksi) $914/F_y$ (t/cm^2) değerinden daha büyük olmayan elemanlarda basınç gerilmesi, aştırmaktadır.

$$F_r = \frac{662}{D/t} + 0.399 F_y \quad (\text{ksi})$$

$$F_r = \frac{47}{D/t} + 0.399 F_y \quad (t/cm^2)$$

değerini aşmayacaktır.

Sadece eksenel yük etkisi varsa, F/A ortalama basınç gerilmesi Bölüm 3.6.1.1 de $Q = 1$ için tanımlanan F_{al} sınır gerilmesini aşmayacaktır.

4.5.2. Faydalı Kesit Alanı Üzerindeki Çekme Gerilmesi.

Bir bulonlu birleştirmede birleştirilen parçaların faydalı kesitleri üzerinde hesaplanan çekme gerilmesi $0.6 F_y$ veya $(1.0 - 0.9r - 3r^2/8) 0.6 F_y$ değerini aşmayabilir.

Burada, r = Kesitte eğilen veya bulonlarca aktarılan yükün, bu kesit tarafından aktarılan yüke oranıdır. Eğer 0.2 den küçükse sıfıra eşit alınabilir.

e = Kuvvet doğrultusuna dik doğrultuda bulonlar arası mesafe olup, tek bulon halinde birleştirilen parçaların genişliğine eşit olabilir.

4.5.3. Bulonlu Birleştirmelerde Ezilme Gerilmesi

(dkt) Ezilme alanı üzerinde hesaplanan gerilme, $2.1 F_y$ değerini aşmayabilir. Burada F_y birleştirilen elemanların akma sınır gerilmesidir.

BÖLÜM 4- BİRLEŞİM ELEMANLARI

4.5. Bulonlu Birleşimler

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı taşıyıcı elemanların birleşiminde kullanılan bulonlu birleşimlerin teşkil ve hesabında, aşağıda verilen kurallara uyulacaktır.

4.5.1. Kuvvete Paralel Doğrultuda, Bulonlar Arası ve Kenara Minimum Mesafeler.

Kuvvete paralel doğrultuda dizilmiş olan bulonlar arası mesafe ile bir bulonun gerilme tatbik ettiği yönde birleştirdiği elemanın kenarına mesafesi, $1.5 d$ veya $P/(0.6 \sigma_y t)$ den küçük olmayacaktır.

Burada,

d = Bulonun çapı

P = Bulon tarafından aktarılan kuvvet

t = Birleştirilen elemanlardan en incisinin kalınlığı

F_y = Akma sınır gerilmesidir.

4.5.2. Faydalı Enkesit Alanı Üzerindeki Çekme Gerilmesi.

Bir bulonlu birleşimde birleştirilen parçaların faydalı enkesitleri üzerinde hesaplanan çekme gerilmesi $0.6 \sigma_y$ veya $(1.0-0.9r-3rd/S) 0.6F_y$ değerini aşmamalıdır.

Burada,

r = Kesitte bulon veya bulonlarca aktarılan yükün, bu kesit tarafından aktarılan yüke oranıdır. Eğer 0.2 den küçükse sifıra eşit alınabilir.

s = Kuvvet doğrultusuna dik doğrultuda bulonlar arası mesafe olup, tek bulon halinde birleştirilen parçaların genişliğine eşit alınır.

4.5.3. Bulonlu Birleşimlerde Ezilme Gerilmesi

(dxt) ezilme alanı üzerinde hesaplanan gerilme, $2.1 F_y$ değerini aşmamalıdır. Burada F_y birleştirilen elemanların akma sınır gerilmesidir.

5. TS 3357 / Nisan 1979

1. HAFIF ÇELİK YAPILARDA KAYNAK

4 mm'nin altında kalınlıklarla çelik malzemenin kullanılması hafif çelik yapılarıdaki kaynaklı birleşimlerle ilgili özel hükümler bu bölümde yer almıştır.

1.1 ELEKTRİK ARK KAYNAGI

Elektrik ark kaynağı, kalınlığı 2 mm altında olan parçaların birleşiminde kullanılamaz. Taşıyıcı kaynak dikişlerinin kalınlığı $a=2$ mm den az olmamalıdır.

1.2 NOKTA KAYNAGI

Birleştirilen parça sayısı 3'den çok değilse, nokta kaynakları tespit amacıyla da, taşıyıcı olarak da kullanılabilir. 2 parçanın birleştirilmesi halinde, her bir parçanın kalınlığı 5 mm'yi, 3 parçanın birleştirilmesi halinde ise dıştaki parçaların kalınlıkları 5'er mm'yi, toplam kalınlık ise 15 mm'yi geçmemelidir.

Nokta kaynağından önce, kaynak yapılacak yerlerdeki pas ve çapaklar iyice temizlenmelidir.

1.2.1 Nokta Kaynaklarının Hesaplanması.

Dayanım hesaplarında nokta kaynakları perçin gibi incelenir. Kaynak çapı olarak da $5\sqrt{t}$ 'ye kadar değerler alınabilir. Burada "t" birleştirilecek parçalardan ince olanının kalınlığıdır. Kayma gerilmesi $0.65 \sigma_{em}$ değerini aşmamalıdır.

Çeper ezilme gerilmesi tek tesirli birleşimlerde $1.8 \sigma_{em}$, çift tesirli birleşimlerde ise $2.5 \sigma_{em}$ değerini aşmamalıdır. σ_{em} çekmedeki emniyet gerilmesidir. (TS 648).

1.2.2 Nokta Kaynaklarının Düzenlenmesi.

1.2.2.1 Taşıyıcı Birleşimlerde Nokta Kaynaklarının Düzenlenmesi.

Yük aktarımını sağlayan birleşimlerde yük yönünde arka arkaya 2'den az 5'den çok kaynak noktası düzenlenmemelidir.

Bu kaynakların birbirlerine ve kenarlara olan uzaklıkları (kaynak ekseninden ölçülmek üzere) aşağıdaki sınırlar içinde kalmalıdır.

Birbiri arasındaki uzaklık : $e_1 = 3.0 d - 6.0 d$

Kuvvet yönünde kenara uzaklık : $e_2 = 2.5 d - 4.5 d$

Kuvvete dik yönde kenara uzaklık: $e_3 = 2.0 d - 4.0 d$

Burada d = nokta kaynağı çapıdır.

1.2.2.2 Tesbit Birleşimlerinde Nokta Kaynaklarının Düzenlenmesi.

Tesbit birleşimlerinde kaynak noktaları eksen uzaklığı aşağıdaki değerlerle büyük olmamalıdır. (t dıştaki parçalardan ince olanının kalınlığıdır.):

- Dıştaki parçaları bordürsüz(kıvrıksız) basınç elemanları:

$$e_1 = 8 d \text{ veya } 20 t$$

- Dıştaki parçaları bordürlenmiş basınç elemanları:

$$e_1 = 12 d \text{ veya } 30 t$$

- Dıştaki parçaları bordürsüz çekme elemanları:

$$e_1 = 12 d \text{ veya } 30 t$$

- Dıştaki parçaları bordürlü çekme elemanları:

$$e_1 = 18 d \text{ veya } 45 t$$

Yukarıdaki değerlerden küçüğü esas alınır. Kenar uzaklıkları bu değerlerin yarısını aşmamalıdır.

1.2.3 Nokta Kaynaklarının Yapımı.

Her atölye, elindeki teçhizatın verdiği kaynak olanaklarını deneylerle etraflıca saptamalı ve bunun sonuçlarını bir çizelge halinde el altında bulundurmalıdır.

Bir projenin uygulanmasında, elleki kaynak teçhizatının olanaklarını aşan durumlarla karşılaşılırsa, bu durum, projeyi düzenleyenin dikkatine sunulmalı ve önerilen değişiklik onaylatılmalıdır.

2. BORULU ÇELİK YAPILARDA KAYNAK

Elemanları kısmen veya tamamen borudan oluşturulmuş borulu çelik yapılarıdaki kaynaklı birleşimlerle ilgili özel hükümler bu bölümde yer almıştır.

2.1 DOLAYSIZ (ARA PARÇASIZ) BİRLEŞİMLER.

Boruların, alın levhaları, guse levhaları veya diğer yapı elemanları aracılığıyla değil de doğrudan doğruya birbirlerine kaynaklanması halinde, hesaplarda kaynak enkesiti olarak, birleştirilen boruların küçüğünün enkesitinden daha büyük bir değer alınmamalıdır. Bu esasa göre, hesaplanacak kaynak gerilmeside $0.65 \sigma_{em}$ değerini aşmamalıdır. Burada σ_{em} malzemenin çekmedeki emniyet gerilmesini ifade eder.

Bu tip birleşimlerde boruların birbirleriyle yaptıkları açı 30° 'nin altında ve birleştirilen borulardan küçüğünün çapı büyüğünün çapının $1/4$ 'ünden küçük olmamalıdır.

2.2 DOLAYLI (ARA PARÇALI) BİRLEŞİMLER.

Boruların, diğer yapı elemanları ile birleşimleri ve alın veya guse levhaları aracılığıyla birbirlerine birleştirilmeleri durumlarında, yapısal ayrıntılara uyulmak koşuluyla, birleşim hesaplarında Çizelge'deki emniyet gerilmeleri kullanılabilir. (Çizelge arka sayfada)

ÇİZELGE KAYNAK DİKİŞLERİ İÇİN EMNİYET GERİLMELERİ (σ_{ef}/cm^2)

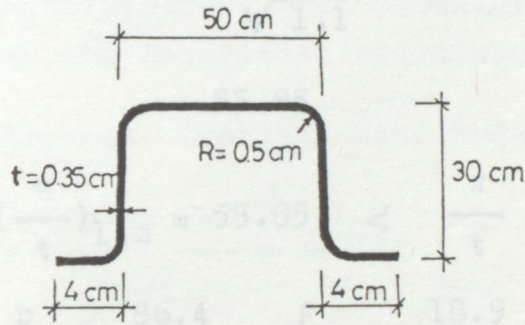
EY Yuklemesi : esas yüklerin toplamı (TS 643)

EİY " : esas ve ilave yüklerin toplamı (TS 643)
(bu standardın kapsamı içinde deprem de bir ilave yüküdür).

1	2	3	4	5	6	7	8
2	Dikiz çeşidi	Dikiz niteliği	Gerilme	Çelik sınıfı			
				Fe 37		Fe 52	
				EY	EİY	EY	EİY
3	■ Küt kaynak	Muayene edilmiş veya edilmemiş	Basınç ve eğilme basıncı	1400	1600	2400	2700
4	■ Çift taraflı yarım Y tipli köşe kaynağı*	Çatlak, bağlantı ve kök hatası olmadığı muayene ile saptanmış	Çekme ve kaynak yönüne dik eğilme çekmesi	1400	1600	2400	2700
5	Kökü kaynatılmış yarım Y tipli köşe kaynağı	Muayene edilmemiş		1100	1250	1700	1900
6	■ Köşe kaynağı ■ Yarım Y tipli köşe kaynağı ■ Çukur ve yarık kaynağı	Muayene edilmiş veya edilmemiş	Basınç ve eğilme basıncı, çekme ve eğilme çekmesi, kıyaslama değeri	1100	1250	1700	1900
7	Bütün dikiz çeşitleri		Kayma	1100	1250	1700	1900

6. UYGULAMALAR

UYGULAMA: Aşağıda şekilde görülen, eğilmeye çalışan kiriş kesitinin üst başlığı basınca çalışmaktadır ve buradaki gerilme değeri $\sigma = 1.1 \text{ t/cm}^2$ dir. Kesit 6.1 üst başlığının etkin genişliğini, gerilme ve deformasyon (sehim) hesabı için hesaplayınız? (Malzeme St.37)



Problemin A.I.S.I. Standardına göre çözümü;

$$\begin{aligned} w &= 50 - 2(R + t) \\ &= 50 - 2(0.5 + 0.35) \\ &= 48.3 \text{ cm} \end{aligned} \quad \frac{w}{t} = \frac{48.3}{0.35} = 138$$

1. Gerilme hesabı için:

$$\begin{aligned} \left(\frac{w}{t}\right)_{\text{lim}} &= \frac{45.3}{\sqrt{\sigma}} \\ &= \frac{45.3}{\sqrt{1.1}} \\ &= 43.19 \end{aligned}$$

$$\left(\frac{w}{t}\right)_{\text{lim}} = 43.19 < \frac{w}{t} = 138 \quad \text{olduğundan;}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{67}{\sqrt{\sigma}} \left[1 - \frac{14.66}{(w/t)\sqrt{\sigma}} \right]$$

$$\begin{aligned} \frac{b}{t} &= \frac{67}{\sqrt{1.1}} \left[1 - \frac{14.66}{(138) \cdot \sqrt{1.1}} \right] \\ &= 57.41 \end{aligned}$$

$$b = 57.41 \times 0.35 \\ = 20.09 \text{ cm}$$

2. Deformasyon hesabı için:

$$\left(\frac{w}{t}\right)_{\lim} = \frac{58.58}{\sqrt{\sigma}} \\ = \frac{58.58}{\sqrt{1.1}} \\ = 55.85$$

$$\left(\frac{w}{t}\right)_{\lim} = 55.85 < \frac{w}{t} = 138 \text{ olduğundan;}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{86.4}{\sqrt{\sigma}} \left[1 - \frac{18.9}{(w/t) \sqrt{\sigma}} \right]$$

$$\frac{b}{t} = \frac{86.4}{\sqrt{1.1}} \left[1 - \frac{18.9}{138 \cdot \sqrt{1.1}} \right]$$

$$= 71.62$$

$$b = 71.62 \times 0.35 \\ = 25.07 \text{ cm}$$

Aynı problemi C.I.I.C.M Standardına göre gözersek;

$$t = 3.5 \text{ mm.} > 2 \text{ mm. için } r_{\min} = 5 \text{ mm} < r_{\max} = 4 \cdot t \\ = 4 \times 3.5 \\ = 14 \text{ mm.}$$

olup, $t = 3.5 \text{ mm.}$ için iç köşe eğrilik yarıçapı uygundur.

Şartnameye göre, gerilme ve şekil değiştirmeler için tek bir etkin genişlik hesaplanacaktır.

İki gövdeyi birleştiren ve iki kenarı eşit rijidlenmiş cidarlarla etkin genişlik;



$$\frac{b}{t} \leq 45 \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{50}{0.35} = 142.86 > 45 \sqrt{\frac{2.35}{2.35}} = 45$$

olduğundan; ince cidarlı çubuk hesabı yapılacaktır.

Ara rijidleştirilmemiş çubuklarda; basınca çalışan düzlem cidar iki kenarından rijidlenmiş ise:

Genişlik/Kalınlık oranının max. değeri

$$\frac{b_o}{t} = \frac{50 - 2(0.5 + 0.35)}{0.35} = 138$$

$$\frac{b_o}{t} \leq 1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \quad \text{ise} \quad b_e = b_o$$

$$1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} < \frac{b_o}{t} \leq 500 \quad \text{ise} \quad b_e = 1.64 t \sqrt{\frac{E}{\sigma}}$$

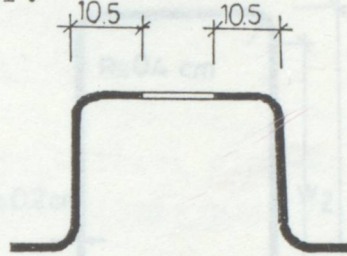
$$1.64 \sqrt{\frac{2100}{2.4/1.7}} = 63.25 < \frac{b_o}{t} = 138 < 500$$

$$(\sigma = \sigma_a / 1.7)$$

olduğuna göre;

$$\begin{aligned} b_e &= 1.64 \times 0.35 \times \sqrt{\frac{2100}{2.4/1.7}} \\ &= 22.14 \text{ cm} \end{aligned}$$

Yalnız burada dikkat edilecek husus, b_e etkin genişliği kesitin basınca çalışan cidarının düzlem kısmına simetrik olarak iki eşit parça halinde, aşağıdaki şekilde olduğu gibi yerleştirilir.



Sonuç olarak;

A.I.S.I. Gerilme hesabı için etkin genişlik $b = 20.09$ cm

A.I.S.I. Deformasyon hes. için etkin geniş. $b = 25.07$ cm

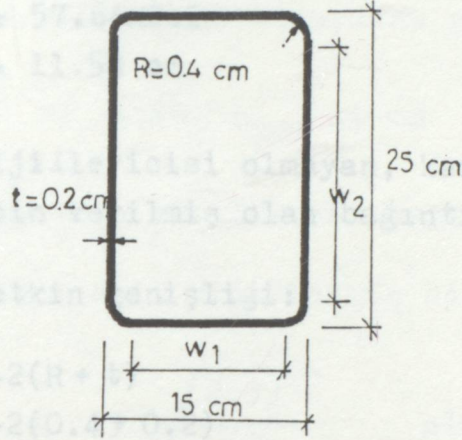
C.T.I.C.M. Etkin genişlik $b = 22.14$ cm

Görüldüğü üzere neticeler birbirine yakındır.

kesit etkin değildir. İnce cıvarlı kesit hesabı yapılacaktır.

UYGULAMA: Aşağıda şekilde görülen dikdörtgen kesitli basınç elemanı $\sigma = 1.4 \text{ t/cm}^2$ şiddetinde basınç gerilmesine maruzdur. Kesitin etkin genişliğini hesaplayınız?

6.2



Problemin A.I.S.I. Standardına göre çözümü;

1. Kısa kenarın etkin genişliği:

$$w_1 = 15 - 2(0.4 + 0.2) = 13.8 \text{ cm}$$

$$\frac{w_1}{t} = \frac{13.8}{0.2} = 69$$

$$\left(\frac{w}{t}\right)_{\text{lim}} = \frac{62.8}{\sqrt{\sigma}} = \frac{62.8}{\sqrt{1.4}} = 53.07$$

$$\frac{w_1}{t} = 69 > \left(\frac{w}{t}\right)_{\text{lim}} = 53.07 \text{ olup;}$$

kesit etkin değildir. İnce cidarlı kesit hesabı yapılacaktır.

$$\frac{b_1}{t} = \frac{86.4}{\sqrt{\sigma}} \left[1 - \frac{17.2}{(w_1/t) \sqrt{\sigma}} \right]$$

$$\frac{b_1}{t} = \frac{86.4}{\sqrt{1.4}} \left[1 - \frac{17.2}{69 \sqrt{1.4}} \right]$$

$$\frac{b_1}{t} = 57.64$$

$$b_1 = 57.64 \times 0.2 \\ = 11.53 \text{ cm}$$

b_1 değeri ara rijilleyicisi olmayan, kare ve dikdörtgen en-kesitli tüpler için verilmiş olan bağıntıdan bulunmuştur.

2. Uzun kenarın etkin genişliği:

$$w_2 = 25 - 2(R + t) \\ = 25 - 2(0.4 + 0.2) \\ = 23.8 \text{ cm}$$

$$\frac{w_2}{t} = \frac{23.8}{0.2} = 119$$

$$\left(\frac{w}{t}\right)_{\text{lim}} = \frac{62.8}{\sqrt{1.4}} = \frac{62.8}{1.18} = 53.07$$

$$\frac{w_2}{t} = 119 > \left(\frac{w}{t}\right)_{\text{lim}} = 53.07 \quad \text{olup;}$$

bu cidarda tam olarak etkin değildir. İnce cidarlı kesit hesabı yapılacaktır.

$$\frac{b_2}{t} = \frac{86.4}{\sqrt{1.4}} \left[1 - \frac{17.2}{(w_2/t) \sqrt{1.4}} \right]$$

$$\frac{b_2}{t} = \frac{86.4}{\sqrt{1.4}} \left[1 - \frac{17.2}{119 \sqrt{1.4}} \right]$$

$$\frac{b_2}{t} = 64.1$$

$$b_2 = 64.1 \times 0.2 \\ = 12.82 \text{ cm}$$

Aynı problemin C.T.I.C.M. Standartına göre çözümü;

$$t=2 \text{ mm} \leq 2 \text{ mm} \text{ için } r_{\text{mev}}=4 \text{ mm} < r_{\text{max}} = 8 \text{ mm} \text{ olup;}$$

$t = 2 \text{ mm}$ için iç köşe eğrilik yarıçapı uygundur.

Her iki kenarı eşit rijidlenmiş cidarda,

$$\frac{b}{t} \leq 45 \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}} \text{ olmalıdır.}$$

$$\frac{b_1}{t} = \frac{15}{0.2} = 75 > 45 \sqrt{\frac{2.35}{2.35}} = 45$$

$$\frac{b_2}{t} = \frac{25}{0.2} = 125 > 45 \sqrt{\frac{2.35}{2.35}} = 45$$

olup, kesit etkin değildir. İnce cidarlı çubuk hesabı yapılacaktır.

Ara rijidlenmemiş, iki rijidlenmiş cidar arasında kalan düzlem cidarda;

$$\frac{b_1}{t} < \frac{b_2}{t} < 500 \text{ olup, üst sınır aşılmamakta-}$$

dır.

$$1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} = 1.64 \sqrt{\frac{2100}{2.4/1.7}} \quad (\sigma = \sigma_a / 1.7) \\ = 63.25$$

63.25 < 75 < 500
63.25 < 125 < 500
olup,

$$\begin{aligned} b_{e1} &= 1.64xt \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \\ &= 1.64 \times 0.2 \sqrt{\frac{2100}{2.4/1.7}} \\ &= 12.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

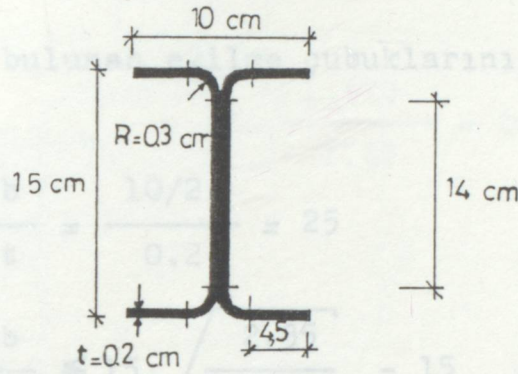
$$\begin{aligned} b_{e2} &= 1.64xt \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \\ &= 1.64 \times 0.2 \sqrt{\frac{2100}{2.4/1.7}} \\ &= 12.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

Sonuç olarak;

$$\begin{aligned} b_{e1} &= 12.65 \text{ cm} & b_1 &= 11.53 \text{ cm} \\ b_{e2} &= 12.65 \text{ cm} & b_2 &= 12.82 \text{ cm} \end{aligned}$$

Görüldüğü gibi A.I.S.I. Standardı ile yaklaşık aynı değerleri veriyor.

UYGULAMA: Aşağıda şekilde verilen kiriş kesitinin basınç flansında müsaade edilen sınır gerilmeyi hesaplayınız? (Malzeme St. 37) Çeligin akma gerilmesi $\sigma_y = 2.4 \text{ t/cm}^2$ 'dir.



Problemin A.I.S.I. Standardına göre çözümü:

$$\begin{aligned} w &= 5 - (R + t) \\ &= 5 - (0.3 + 0.2) \\ &= 4.5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\frac{w}{t} = \frac{4.5}{0.2} = 22.5$$

$$\frac{17}{\sqrt{\sigma_y}} = \frac{17}{\sqrt{2.4}} = 10.97$$

$$\frac{38}{\sqrt{\sigma_y}} = \frac{38}{\sqrt{2.4}} = 24.53$$

$$\frac{17}{\sqrt{\sigma_y}} = 10.97 < \frac{w}{t} = 22.5 < \frac{38}{\sqrt{\sigma_y}} = 24.53 \text{ olduğundan,}$$

$$\begin{aligned} \text{sınır gerilme } \sigma_c &= \sigma_y \cdot \left[0.767 - (9.96/10^3) \cdot (w/t) \sqrt{\sigma_y} \right] \\ &= 2.4 \left[0.767 - (9.96/10^3) \cdot 22.5 \sqrt{2.4} \right] \\ &= 1.0 \text{ t/cm}^2 \end{aligned}$$

Aynı problemin C.T.I.C.M. Standardına göre çözümü:

$t = 2 \text{ mm} \geq 2 \text{ mm}$ için $r_{\text{nev}} = 3 \text{ mm} < r_{\text{max}} = 8 \text{ mm}$ olup,
içköşe eğrilik yarıçapı uygundur.

Boşta ucu bulunan eğilme çubuklarının basınç başlıklarında;

$$\frac{b}{t} = \frac{10/2}{0.2} = 25$$

Sonuç olarak,

$$\frac{b}{t} \leq 15 \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}} = 15 \sqrt{\frac{2.35}{2.35}} = 15$$

$\frac{b}{t} = 25 > 15$ olup, ince cıdarlı eleman hesabı yapılacaktır.

$$b_o = 10/2 - (0.3 + 0.2) = 4.5 \text{ cm}$$

$$\frac{b_o}{t} = 22.5 > \frac{25.5}{\sigma_e} = 10.85 \quad \text{olup, buruşma sakıncası}$$

var. Ayrıca basınca çalışan rijidleştirilmemiş düzlem cıdarlarla;

$$\frac{b_o}{t} = \frac{4.5}{0.2} = 22.5 \leq 60$$

şartını sağladığından,

$$\begin{aligned} k_V &= 1 + \frac{0.88 + \sigma_e}{981} \cdot \left(\frac{b_o}{t} - \frac{25.5}{e} \right)^2 \\ &= 1 + \frac{0.88 + 2.35}{981} \cdot \left(22.5 - \frac{25.5}{2.35} \right)^2 \end{aligned}$$

$$= 1.446$$

$$k_v \cdot \sigma^* \leq \sigma_e$$

$$\rightarrow \sigma^* = \frac{2.35}{1.446} = 1.624 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma = \frac{\sigma^*}{1.67}$$

$$\rightarrow \sigma = \frac{1.624}{1.67} = 0.972 \text{ t/cm}^2$$

Sonuç olarak,

A.I.S.I.

$$\sigma_c = 1.0 \text{ t/cm}^2$$

C.T.I.C.M.

$$\sigma = 0.972 \text{ t/cm}^2$$

Problem A.I.S.I. Standardına göre çözümü:

görüldüğü gibi değerler birbirine yakındır.

$$\begin{aligned} w &= 11.8 - 2(R+t) \\ &= 11.8 - 2(0.5 + 0.3) \\ &= 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\frac{w}{t} = \frac{10}{0.3} = 33.33$$

$$\left(\frac{w}{t}\right)_{lim} = \frac{45.3}{\sqrt{\sigma}} = \frac{45.3}{\sqrt{2.1}} = 31.26$$

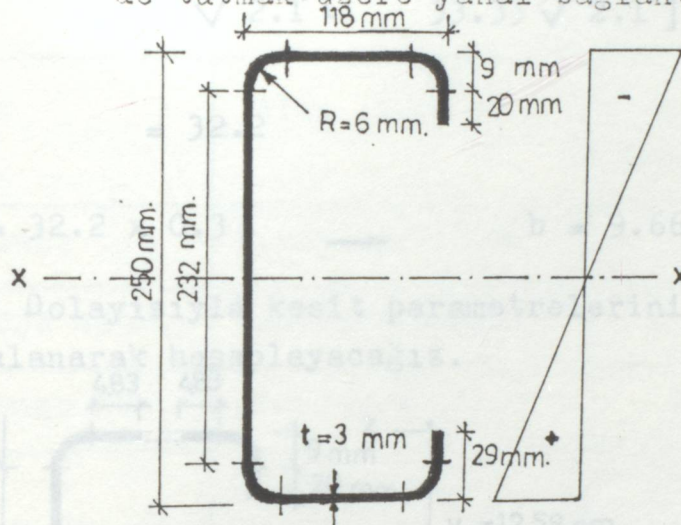
$$\frac{w}{t} = 33.33 > \left(\frac{w}{t}\right)_{lim} = 31.26 \text{ olduğundan, ince olar-}$$

lı eleman hesabı yapılacaktır.

UYGULAMA: Flanşları rijidleştirilmiş düzlemsel elemanlardan oluşan kesitin emniyetle taşıyabileceği max. eğilme momentini bulunuz?

6.4

(Elemanlar yanıl burkulma meydana gelmeyecek şekilde tutmak üzere yanıl bağlantı mevcut ve $\sigma_y = 3.5 \text{ t}$



Problemin A.I.S.I. Standartlarına göre çözümü:

$$\begin{aligned} \text{Elemanlar sınır gerilme, } \sigma_{em} &= \sigma_y / 1.67 \\ &= 3.5 / 1.67 \\ &= 2.1 \text{ t/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w &= 11.8 - 2(R + t) \\ &= 11.8 - 2(0.6 + 0.3) \\ &= 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\frac{w}{t} = \frac{10}{0.3} = 33.33$$

$$\left(\frac{w}{t}\right)_{lim} = \frac{45.3}{\sqrt{\sigma}} = \frac{45.3}{\sqrt{2.1}} = 31.26$$

$$\frac{w}{t} = 33.33 > \left(\frac{w}{t}\right)_{lim} = 31.26 \text{ olduğundan, ince cidar-}$$

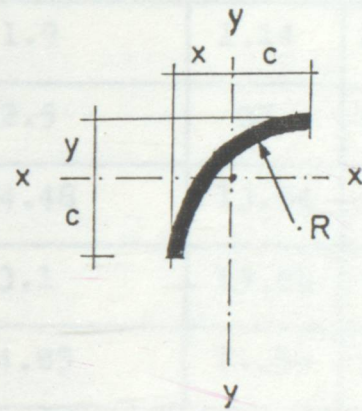
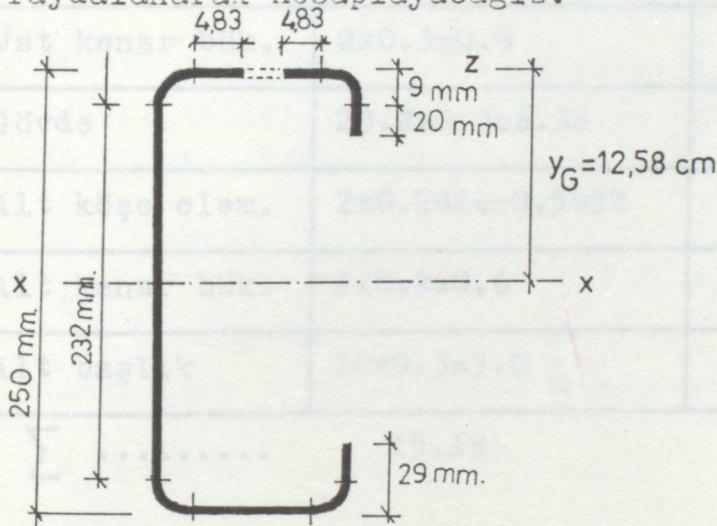
lı eleman hesabı yapılacaktır.

$$\begin{aligned} \frac{b}{t} &= \frac{67}{\sqrt{6}} \left[1 - \frac{14.66}{(w/t) \sqrt{6}} \right] \\ &= \frac{67}{\sqrt{2.1}} \left[1 - \frac{14.66}{33.33 \sqrt{2.1}} \right] \\ &= 32.2 \end{aligned}$$

$$b = 32.2 \times 0.3$$

$$b = 9.66 \text{ cm.}$$

Dolayısıyla kesit parametrelerini aşağıdaki şekilden faydalanarak hesaplayacağız.



$$A = L \cdot t = 1.57 \times R \times t = 1.57 \times 0.6 \times 0.3 = 0.2826 \text{ cm}^2$$

$$I_x = I_y = 0.149 \times R^3 \times t = 0.149 \times (0.6)^3 \times 0.3 = 9.65 \times 10^{-3} \text{ cm}^4$$

$$c = 0.637 \times R = 0.637 \times 0.6 = 0.3822 \text{ cm}$$

$$x = y = R + t - c = 0.6 + 0.3 - 0.3822 = 0.5178 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} y_G &= 191.11 / 15.19 \\ &= 12.58 \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$A \cdot y^2 \dots\dots\dots = 3601.34 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{kenar büküm}} = 2 \times \frac{0.3 \times (2)^3}{12} = 0.4 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{gövde}} = \frac{0.3 \times (23.2)^3}{12} = 312.18 \text{ cm}^4$$

$$- A \cdot (y_G)^2 = 15.19 \times (12.58)^2 = -2403.91 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 1510.00 \text{ cm}^4$$

Eleman	Alan A(cm ²)	Z eksenine mesafe y(cm)	A.y (cm ³)	A.y ² (cm ⁴)
Üst flanş	9.66x0.3=2.898	0.15	0.43	0.066
Üst köşe elem.	2x0.2826=0.5652	0.5178	0.29	0.15
Üst kenar бүк.	2x0.3=0.6	1.9	1.14	2.17
Gövde	23.2x0.3=6.96	12.5	87	1087.5
Alt köşe elem.	2x0.2826=0.5652	24.48	13.84	338.71
Alt kenar бүк.	2x0.3=0.6	23.1	13.86	320.17
Alt başlık	10x0.3=3.0	24.85	74.55	1852.57

$$\sum \dots\dots\dots 15.19 \quad 191.11 \quad 3601.3$$

$$\begin{aligned} W_x &= I_x / y_G \\ &= 1510 / 12.58 \\ &= 120.03 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_x &= W_x \cdot \sigma_{em} \\ &= 120.03 \times 2.1 \\ &= 252.07 \text{ tcm} \end{aligned}$$

Aynı problemi C.T.I.C.M. Standardına göre çözersek:

$$t = 3 \text{ mm} \geq 2 \text{ mm. için } r_{\text{nev}} = 6 \text{ mm} < r_{\text{max}} = 4.t = 4 \times 3 = 12 \text{ mm.}$$

olduğundan, içköşe eğrilik yarıçapı uygundur.

Eğilme çubuklarında, gövde ve rijidlenmiş bir uç arasındaki başlık kısımlarında;

$$\frac{b}{t} \leq (15 + 30 \sqrt{\frac{b_2}{b_1}}) \cdot \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}}$$

olmalıdır. Aksi halde ince cidarlı eleman hesabı yapmak gerekir. Tabiki bu şartın geçerli olabilmesi için b_2 'nin gerekli rijidleyici olabilme şartını sağlaması gerekir.

$$\frac{b}{t} = \frac{11.8}{0.3} = 39.33 > (15 + 30 \sqrt{\frac{2.0 + 0.9}{25/2}}) \cdot \sqrt{\frac{2.35}{3.5}} = 24.13$$

olup, ince cidarlı eleman hesabı yapılacaktır.

$$b_0 = 10 \text{ cm}$$

$$\frac{b_0}{t} = \frac{10}{0.3} = 33.33 \rightarrow \text{Tablo 1'den enterpolasyon ile,}$$

$$b_t = 2.9 \text{ cm} \quad 8.8xt = 8.8 \times 0.3 = 2.63 \text{ cm}$$

veya

$$b_t = 2.9 \text{ cm} \geq \begin{cases} 2.8 t \cdot \sqrt{\left(\frac{b_0}{t}\right)^2 - 144} = 2.64 \\ 4.8xt = 1.44 \end{cases}$$

Kenar rijidleyicinin b_t uzunluğunun yanısıra I_r atalet momentinin yeterli olması gerekir. Bu sebeple,

$$\frac{b_o}{t} = \frac{10}{0.3} = 33.33$$

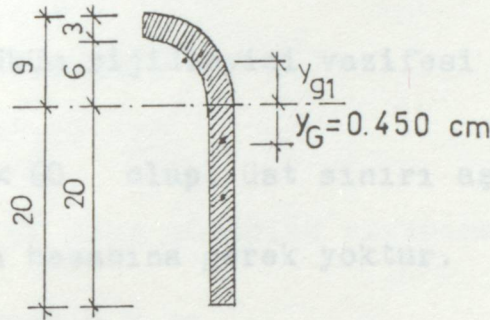
Tablo 1'den interpolasyon ile,

$$I_r = 56.96 \times t^4$$

$$= 56.96 \times (0.3)^4$$

$$= 0.461 \text{ cm}^4$$

Kenar rijidleyicinin atalet momentinin hesabı:



$$A_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (0.9^2 - 0.6^2) = 0.353 \text{ cm}^2$$

$$\frac{4}{3} (0.9^3 - 0.6^3) = \pi (0.9^2 - 0.6^2) \cdot y_{G1}$$

$$y_{G1} = 0.484 \text{ cm}$$

$$I_{xG1} = \frac{\pi}{4 \times 4} (0.9^4 - 0.6^4) - 0.353 \times (0.484)^2$$

$$= 0.0206 \text{ cm}^4$$

$$I_{rG} = 0.0206 + 0.353(0.484 + 0.450)^2 + \frac{0.3 \times (2)^3}{12} + 0.3 \times 2.0 \times (0.55)^2$$

$$= 0.710 \text{ cm}^4$$

$$Y_G = \frac{0.353 \times 0.484 - 0.3 \times 2.0 \times 1.0}{0.353 + 0.3 \times 2.0} = -0.450 \text{ cm}$$

$$I_{rG} = 0.710 \text{ cm}^4 > I_r = 0.461 \text{ cm}^4$$

veya = 1568.81 cm⁴

$$I_{rG} = 0.710 \text{ cm}^4 \geq \begin{cases} 1.84 t^4 \sqrt{\left(\frac{b_o}{t}\right)^2 - 144} = 0.463 \text{ cm}^4 \\ 9.2 t^4 = 0.075 \text{ cm}^4 \end{cases}$$

olup, kenar büküm rijidleyici vazifesi görmektedir.

$$\frac{b_o}{t} = 33.33 < 60 \quad \text{olup, üst sınırı aşmıyor. Buruşma kat-}$$

sayısı k_v 'nin hesabına gerek yoktur.

Gövde yüksekliğinin sınırlandırılması,

$$\frac{h_g}{t} = \frac{23.2}{0.3} = 77.33 < 150 \quad \text{Buruşma açısından bir prob-}$$

lem yoktur.

$$\frac{b_o}{t} \leq 1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma_e}} \quad \text{için} \quad b_e = b_o \quad \text{alınır.}$$

$$\frac{b_o}{t} = 33.33 < 1.64 \sqrt{\frac{2100}{3.5}} = 40.17, \quad b_e = b_o = 10 \text{ cm.}$$

Kesitin tamamı etkin sayılıp kesit değerleri hesaplanacaktır.
Kesit özellikleri;

$$I_x = \frac{0.3 \times (23.2)^3}{12} + 2 \left\{ 2 \left[0.0206 + 0.353 \left(\frac{23.2}{2} + 0.484 \right)^2 \right] \right. \\ \left. + 0.3 \times 10 \left(\frac{25}{2} - \frac{0.3}{2} \right)^2 + \frac{0.3 \times (2.0)^3}{12} \right\}$$

ÇYĞULAMA: $\left\{ 0.3 \times 2.0 \times \left(\frac{23.2}{2} - 1.0 \right)^2 \right\}$ I kesitin
emniyetle taşıyabilmesi için max. eğilme momentini
6.5 hesaplayınız. ($\sigma_y = 3.5 \text{ t/cm}^2$)

$$I_x = 1568.81 \text{ cm}^4$$

$$W_x = \frac{I_x}{h/2} = \frac{1568.81}{25/2}$$
$$= 125.51 \text{ cm}^3$$

$$M_x = W_x \cdot \sigma$$
$$= 125.51 \times 3.5$$
$$= 439.27 \text{ tcm}$$

A.I.S.I. 'nin 1.67 olan güvenlik sayısına bölünürse,

$$M = 439.27 / 1.67$$
$$= 263.03 \text{ tcm.}$$

$$A = L \cdot t = 1.57 \times 0.4 \times 0.3 = 0.1884 \text{ cm}^2$$
$$I_x = I_y = 0.1884 \times \frac{1}{12} \times (0.4)^3 \times 0.3 = 2.66 \times 10^{-3} \text{ cm}^4$$
$$\text{Sonuç olarak; } x = y = \frac{A}{2} = \frac{0.1884}{2} = 0.0942 \text{ cm}$$

$$A.I.S.I. \quad M = 252.07 \text{ tcm}$$

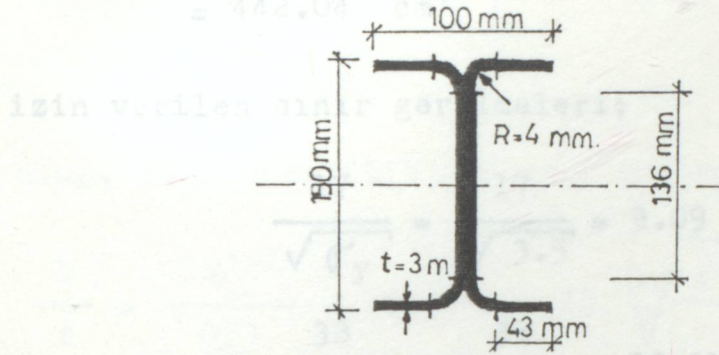
$$C.T.I.C.M. \quad M = 263.03 \text{ tcm}$$

Görülüyorki değerler birbirine yakındır.

Eleman	Alan A (cm ²)	Y eksenine uzaklık y (cm)	$A \cdot y^2$ (cm ⁴)
Planglar	$4 \times 4.3 \times 0.3 = 5.16$	7.35	273.75
Köşe ele.,	$4 \times 0.1884 = 0.7536$	7.0545	37.51
Görde ele.,	$2 \times 13.6 \times 0.3 = 8.16$	0	0
Σ	14.074		311.27

$$I_{\text{gövde}} = \frac{0.3 \times (13.6)^3}{12} = 62.89 \text{ cm}^4$$

UYGULAMA: Şekildeki rijidleştirilmemiş flanşlı I kesitin emniyetle taşıyabileceği max. eğilme momentini hesaplayınız? ($\sigma_y = 3.5 \text{ t/cm}^2$)



Problemin A.I.S.I. Standardına göre çözümü:

$$w = \frac{10}{2} - (0.4 + 0.3) = 4.3 \text{ cm.}$$

Kesit özellikleri;

$$\begin{aligned} A &= L \cdot t = 1.57 \times R \times t = 1.57 \times 0.4 \times 0.3 = 0.1884 \text{ cm}^2 \\ I_x = I_y &= 0.149 \times R^3 \times t = 0.149 \times (0.4)^3 \times 0.3 = 2.86 \times 10^{-3} \text{ cm}^4 \\ c &= 0.637 \times R = 0.637 \times 0.4 = 0.2548 \text{ cm} \\ x = y &= R + t - c = 0.4 + 0.3 - 0.2548 = 0.4452 \text{ cm} \end{aligned}$$

Eleman	Alan $A(\text{cm}^2)$	Kesit ağırlık merkezine uzaklık (y)	$A \cdot y^2 (\text{cm}^4)$
Flanşlar	$4 \times 4.3 \times 0.3 = 5.16$	7.35	273.76
Köşe elem.	$4 \times 0.1884 = 0.7536$	7.0548	37.51
Gövde elem.	$2 \times 13.6 \times 0.3 = 8.16$	0	0

$$\Sigma \dots\dots\dots 14.074 \quad 316.27$$

$$I_{\text{gövde}} = \frac{0.3 \times (13.6)^3}{12} = 62.89 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} I_x &= I_{\text{gövde}} + \sum A \cdot y^2 \\ &= 2 \times 62.89 + 316.27 \\ &= 442.04 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

izin verilen sınır gerilmeleri;

$$\begin{aligned} \frac{17}{\sqrt{\sigma_y}} &= \frac{17}{\sqrt{3.5}} = 9.09 \\ \frac{38}{\sqrt{\sigma_y}} &= \frac{38}{\sqrt{3.5}} = 20.31 \end{aligned}$$

$$\frac{17}{\sqrt{\sigma_y}} = 9.09 < \frac{w}{t} = \frac{4.3}{0.3} = 14.33 < \frac{38}{\sqrt{\sigma_y}} = 20.31$$

olup, sınır gerilme

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \sigma_y \cdot \left[0.767 - (9.96/10^3) \cdot (w/t) \cdot \sqrt{y} \right] \\ &= 3.5 \left[0.767 - (9.96/10^3) \cdot (14.33) \cdot \sqrt{3.5} \right] \\ &= 1.75 \text{ t/cm}^2 < \sigma_{em} = \sigma_y / 1.67 \\ &= 3.5 / 1.67 \\ &= 2.1 \text{ t/cm}^2 \end{aligned}$$

olduğundan,

$$I_x = \frac{I_x}{h/2} = \frac{442.04}{15/2} = 58.939 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} M_x &= W_x \cdot \sigma_c \\ &= 58.94 \times 1.75 \\ &= 103.14 \text{ tcm.} \end{aligned}$$

Aynı problemin C.T.I.C.M. (Standardına göre çözümü:

$$\begin{aligned} t &= 3 \text{ mm.} > 2 \text{ mm.} \quad \text{için} \quad r_{\text{mey.}} = 4 \text{ mm} < r_{\text{max.}} = 4 \times 3 \\ &= 4 \times 3 \\ &= 12 \text{ mm.} \end{aligned}$$

olup, içköşe eğrilik yarıçapı uygundur.

$$\begin{aligned} \frac{b}{t} &= \frac{10/2}{0.3} = 16.66 > 15 \cdot \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}} = 15 \cdot \sqrt{\frac{2.35}{3.5}} \\ &= 12.29 \end{aligned}$$

olup, ince cidarlı eleman hesabı yapılacaktır.

$$\begin{aligned} b_o &= b - (r + t) \\ &= 5 - (0.4 + 0.3) \\ &= 4.3 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\frac{b_o}{t} = \frac{4.3}{0.3} = 14.33 < 60$$

$$\frac{h_g}{t} = \frac{13.6}{0.3} = 45.33 < 150$$

buruşma sakıncasının olmaması durumunda,

$$\frac{b_o}{t} = 14.33 > \frac{25.5}{\sigma_e} = \frac{25.5}{3.5} = 7.28$$

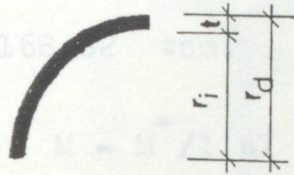
olup, ($k_v \neq 1$)

$$k_v = 1 + \frac{0.88 + \sigma_e}{981} \cdot \left(\frac{b_o}{t} - \frac{25.5}{\sigma_e} \right)^2$$

$$= 1 + \frac{0.88 + 3.5}{981} \cdot (14.33 - \frac{25.50}{3.5})^2$$

$$= 1.222$$

Kesitin mukavemet momenti;



$$r_d = 7 \text{ mm}$$

$$r_i = 4 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$\frac{4}{3} \pi (r_d^3 - r_i^3) = 2 \pi x_G \frac{\pi}{2} (r_d^2 - r_i^2)$$

Sonuç olarak;

$$\frac{4}{3} (0.7^3 - 0.4^3) = \pi (0.7^2 - 0.4^2) \cdot x_G$$

$$x_G = y_G = 0.3588 \text{ cm.}$$

Görüldüğü gibi değerler birbirine yakındır.

$$r_d - x_G = r_d - y_G = 0.7 - 0.3588 = 0.341 \text{ cm.}$$

$$A = \frac{\pi}{4} (r_d^2 - r_i^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (0.7^2 - 0.4^2) = 0.259 \text{ cm}^2$$

$$I_{xG} = I_{yG} = \frac{\pi}{4 \times 4} \cdot (r_d^4 - r_i^4) - A \cdot x_G^2$$

$$= \frac{\pi}{4 \times 4} \cdot (0.7^4 - 0.4^4) - 0.259 \times (0.3588)^2$$

$$= 8.77 \times 10^{-3} \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{gövde}} = \frac{0.3 \times (13.6)^3}{12} = 62.89 \text{ cm}^4$$

$$I_{xG} = 2 \times 62.89 + 316.27 + 4 \times 8.77 \times 10^{-3}$$

$$I_x = 1442.07 \text{ cm}^4$$

$$J_x = \frac{442.07}{15/2} = 58.94 \text{ cm}^3$$

$$M^* = \frac{J_x \cdot \sigma_e}{k_v} = \frac{58.94 \times 3.5}{1.222}$$

$$M^* = 168.82 \text{ tcm.}$$

$$M = M^* / 1.67$$

$$= 168.82 / 1.67$$

$$= 101.09 \text{ tcm.}$$

Sonuç olarak;

$$\text{A.I.S.I.} \quad M = 103.14 \text{ tcm.}$$

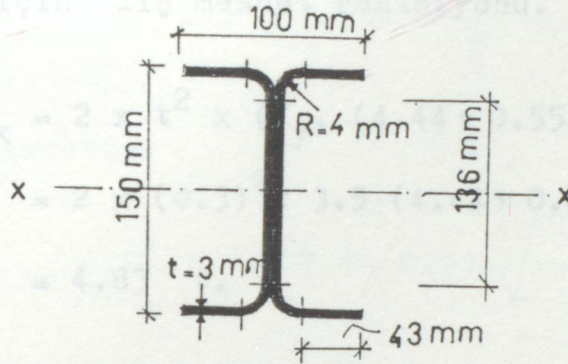
$$\text{C.T.I.C.M.} \quad M = 101.09 \text{ tcm.}$$

görüldüğü gibi değerler birbirine yakındır.

UYGULAMA: Şekildeki kesitin kesme kuvveti taşıma kapasite-
sini, ayrıca kesitin emniyetle taşıyabileceği
6.6 mesnet reaksiyonunu bulunuz?

(Mesnet levhası $a = 10$ cm. uzunluğunda, $\sigma_y = 3.5$ t/cm

Not: $a \leq h$ olmalı.



Problemin A.I.S.I. Standardına göre çözümü:

$$\frac{h_g}{t} = \frac{15 - 2(0.4 + 0.3)}{0.3} = \frac{13.6}{0.3} = 45.33$$

$$\frac{145}{\sqrt{\sigma_y}} = \frac{145}{\sqrt{3.5}} = 77.51$$

$$\frac{h_g}{t} = 45.33 \leq \frac{145}{\sqrt{\sigma_y}} = 77.51$$

olduğundan, kayma sınır gerilmesi

$$\tau_v = \frac{40.98 \sqrt{\sigma_y}}{h_g/t} = \frac{40.98 \sqrt{3.5}}{45.33} = 1.69 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau_v = 1.69 \text{ t/cm}^2 < 0.40 \times \sigma_y = 0.40 \times 3.5 = 1.4 \text{ t/cm}^2$$

olmak zorundadır.

Kesitin emniyetle taşıyabileceği max. kesme kuvveti;

$$\begin{aligned} 2. \text{ Kesme } Q &= \tau_v \cdot A_g \\ &= 1.4 \times 2 \times 13.6 \times 0.3 \\ &= 11.424 \text{ t.} \end{aligned}$$

İki U profilini sırt sırta birleştirilerek oluşturulan I kirişleri için dış mesnet reaksiyonu.

$$\begin{aligned} P_{\max} &= 2 \times t^2 \times \sigma_y \cdot (4.44 + 0.558 \sqrt{a/t}) \\ &= 2 \times (0.3)^2 \times 3.5 (4.44 + 0.558 \sqrt{10/0.3}) \\ &= 4.83 \text{ t.} \end{aligned}$$

Aynı problemi C.T.I.C.M. Standardına göre çözersek:

1. Kesme kuvveti taşıma kapasitesi;

$$\max \tau = \frac{\sigma_e}{1.54} = \frac{3.5}{1.54} = 2.273 \text{ t/cm}^2$$

Bir başlığın alanı (en küçük olanın) toplam alanın % 15'ini aşıyorsa, A_g gövde alanı olmak üzere $\tau = T/A_g$ alınabilir.

$$\begin{aligned} A_{bl} &= (0.3 \times 4.3 + 0.1884) \times 2 = 2.9568 \text{ cm}^2 \\ A &= 14.074 \text{ cm}^2 \text{ idi.} \end{aligned}$$

$$\frac{A_{bl}}{A} = \frac{2.9568}{14.074} = 0.21 > 0.15$$

$$\begin{aligned} T_u &= \tau \cdot A_g \\ &= 2.273 \times (2 \times 13.6 \times 0.3) \\ &= 18.54 \text{ t.} \end{aligned}$$

$$\max T = T_u / 1.67 = 18.54 / 1.67 = 11.11 \text{ t.}$$

2. Kesitin güvenli taşıyabileceği en büyük mesnet tepkisi;

$a \geq h_g$ ise bağıntıda h_g kullanılmalı. Ayrıca, $r \leq 4.t$ olmalıdır.

$a = 10 \text{ cm.} < h_g = 13.6 \text{ cm.}$ olduğu için a kullanılacak.

$r = 4 \text{ mm} < 4 \times 3 = 12 \text{ mm}$ olup, uygundur.

-Kenar mesnette;

$$P_{g \text{ lim}} = t^2 \cdot \sigma_e \left(7.4 + 0.93 \sqrt{\frac{a}{t}} \right)$$

$$= (0.3)^2 \cdot 3.5 \left(7.4 + 0.93 \sqrt{\frac{10}{0.3}} \right)$$

$$= 4.022 \text{ t.}$$

-Ara mesnette;

$$P_{g \text{ lim}} = t^2 \cdot \sigma_e \left(11.1 + 2.41 \sqrt{\frac{a}{t}} \right)$$

$$= (0.3)^2 \cdot 3.5 \left(11.1 + 2.41 \sqrt{\frac{10}{0.3}} \right)$$

$$= 7.879 \text{ t.}$$

Not: Yukarıdaki formüller gövdenin yükle çakışması durumunda geçerlidir.

Sonuç olarak;

A.I.S.I. $Q = 11.424 \text{ t.}$

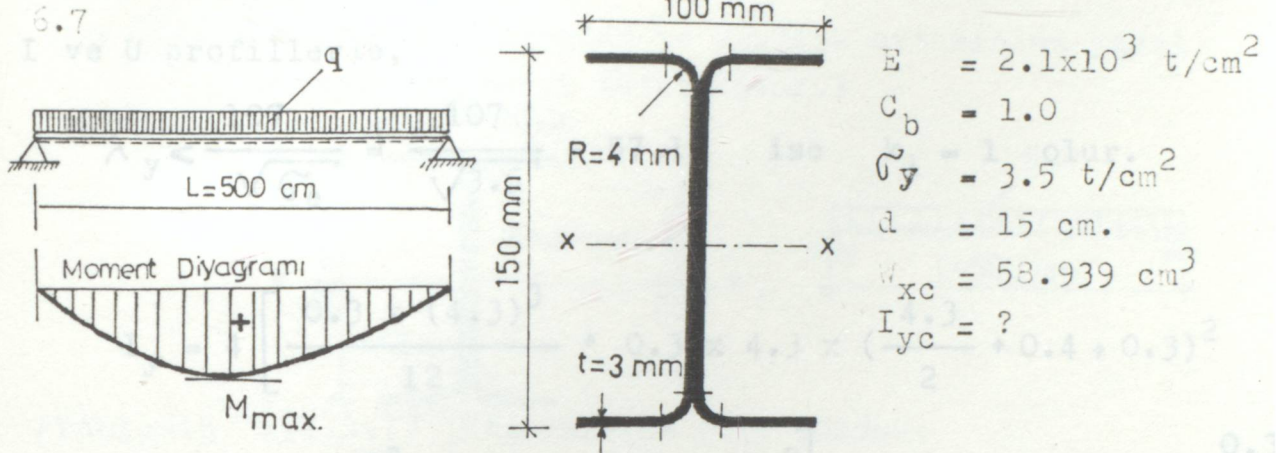
$P_{\max.} = 4.83 \text{ t.}$

C.T.I.C.M. $T = 11.11 \text{ t.}$

$P_{gk \text{ lim}} = \frac{4.022}{1.23} = 3.27 \text{ t}$

$P_{ga \text{ lim}} = \frac{7.879}{1.23} = 6.41 \text{ t}$

UYGULAMA: Şekildeki kesitin üst başlığını yanal harekete karşı tutan bağlantıların max. aralığını bulunuz?



Problemin A.I.S.I. Standardına göre çözümü:

Eleman	Alan $A(\text{cm}^2)$	y eksenine mesafe x (cm)	$A \cdot x^2$ (cm^4)
Flanşlar	$4 \times 4.3 \times 0.3 = 5.16$	2.5	32.25
Köşe elem.	$4 \times 0.1884 = 0.7536$	0.4452	0.1494
Gövde elem.	$2 \times 13.6 \times 0.3 = 8.16$	0.15	0.1836

$$\Sigma \dots\dots\dots 14.074 \quad 32.583$$

$$I_{\text{flanş}} = 4 \times \frac{0.3 \times (4.3)^3}{12} = 7.95 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 7.95 + 32.583 = 40.5337 \text{ cm}^4$$

$$I_{yc} = 1/2 \cdot I_y = 40.53/2 = 20.27 \text{ cm}^4$$

$$L = \sqrt{\frac{0.36 \pi^2 E C_b}{\sigma_y}} \times \sqrt{\frac{d I_{yc}}{W_{xc}}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.36 \pi^2 2100 \times 1.0}{3.5}} \times \sqrt{\frac{15 \times 20.27}{58.939}} = 104.86 \text{ cm.}$$

Aynı problemin C.T.I.C.M. Standardına göre çözümü:

I ve U profillerde,

$$\lambda_y < \frac{107}{\sqrt{\sigma_e}} = \frac{107}{\sqrt{3.5}} = 57.19 \quad \text{ise} \quad k_d = 1 \quad \text{olur.}$$

$$I_y = 4 \left[\frac{0.3 \times (4.3)^3}{12} + 0.3 \times 4.3 \times \left(\frac{4.3}{2} + 0.4 + 0.3 \right)^2 \right.$$

$$\left. \dots + 2.86 \times 10^{-3} + 0.1884 \times (0.4452)^2 \right] + 2 \times 0.3 \times 13.6 \times \left(\frac{0.3}{2} \right)$$

$$I_y = 50.207 \quad \text{cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{50.207}{14.074}} = 1.889 \quad \text{cm.}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{yk}}{i_y} \quad \rightarrow \quad l_{yk} = i_y \cdot \lambda_y$$
$$= 57.19 \times 1.889$$
$$= 108.02 \quad \text{cm.}$$

Sonuç olarak,

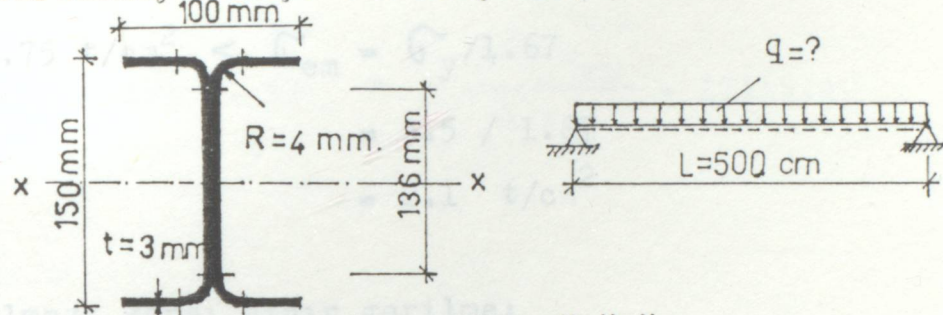
$$A.I.S.I \quad L = 104.86 \quad \text{cm.}$$

$$C.T.I.C.M. \quad l_{yk} = 108.02 \quad \text{cm.}$$

görüldüğü gibi değerler birbirine yakındır.

UYGULAMA: Şekildeki kesitin üniform q yükünün silletini bulunuz?

6.8 (Sistem iki ucundan ve açıklık ortasından yanıl burkulmaya karşı tutulmuştur.)



Problemin A.I.S.I. Standardına göre çözümü:

İzin verilen sınır gerilme:

$$\frac{17}{\sqrt{\sigma_y}} = \frac{17}{\sqrt{3.5}} = 9.09$$

$$\frac{38}{\sqrt{\sigma_y}} = \frac{38}{\sqrt{3.5}} = 20.31$$

$$w = \frac{10}{2} - (0.4 \cdot 0.3)$$

$$= 4.3 \text{ cm.}$$

$$\frac{w}{t} = \frac{4.3}{0.3} = 14.33$$

$$\frac{17}{\sqrt{\sigma_y}} = 9.09 < \frac{w}{t} = 14.33 < \frac{38}{\sqrt{\sigma_y}} = 20.31$$

olduğuna göre,

$$\sigma_c = \sigma_y \cdot \left[0.767 - (9.96/10^3) \cdot (w/t) \cdot \sqrt{\sigma_y} \right]$$

$$\sigma_c = 3.5 \left[0.767 - (9.96/10^3) \cdot (14.33) \cdot \sqrt{3.5} \right]$$
$$\sigma_c = 1.75 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_c = 1.75 \text{ t/cm}^2 < \sigma_{em} = \sigma_y / 1.67$$
$$= 3.5 / 1.67$$
$$= 2.1 \text{ t/cm}^2$$

Yanal burkulmaya karşı sınır gerilme;

Eğilme katsayısı (C_b)

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

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{0}{M_{max}} \right) + 0.3 \left(\frac{0}{M_{max}} \right)^2$$

$$C_b = 1.75 \text{ Ayrıca,}$$

$$C_b = 1.75 < 2.3 \text{ olmak zorundadır.}$$

M_x momenti mevcut I profillerle,

$$\frac{0.36 \pi^2 E C_b}{\sigma_y} = \frac{0.36 \pi^2 2100 \times 1.75}{3.5} = 3730.71$$

$$\frac{1.8 \pi^2 E C_b}{\sigma_y} = \frac{1.8 \pi^2 2100 \times 1.75}{3.5} = 18653.55$$

$$\frac{L^2 W_{xc}}{d I_{yc}} = \frac{(250)^2 58.939}{15 \times 20.27} = 12115.40$$

$$\frac{0.36 \pi^2 E C_b}{\sigma_y} = 3730.71 < \frac{L^2 W_{xc}}{d I_{yc}} = 12115.40$$

$$\frac{1.8 \pi^2 E C_b}{\sigma_y} = 18653.55 > \frac{L^2 W_{xc}}{d I_{yc}} = 12115.40$$

olduğundan;

$$\sigma_b = \frac{2}{3} \sigma_y - \frac{\sigma_y^2}{5.4 \pi^2 E C_b} \left(\frac{L^2 W_{xc}}{d I_{yc}} \right)$$

$$\sigma_b = \frac{2}{3} \cdot 3.5 - \frac{(3.5)^2}{5.4 \pi^2 2100 \times 1.75} \cdot (12115.40) = 1.576 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_b = 1.576 \text{ t/cm}^2 < \sigma_c = 1.75 \text{ t/cm}^2 \text{ olup,}$$

$$\begin{aligned} M_x &= W_x \cdot \sigma_b \\ &= 58.939 \times 1.576 \\ &= 92.89 \text{ tcm.} \end{aligned}$$

$$M_x = \frac{q \times L^2}{8} \rightarrow q = \frac{M_x \cdot 8}{L^2}$$

$$= \frac{92.89 \times 8}{(500)^2}$$

$$= 2.97 \times 10^{-3} \text{ t/cm}$$

Aynı problemin C.T.I.C.M. Standardına göre çözümü:

$$\frac{b_o}{t} = 14.33 > \frac{25.50}{\sigma_e} = \frac{25.50}{3.5} = 7.28 \quad \text{olup } (k_v \neq 1)$$

$$k_v = 1 + \frac{0.88 + \sigma_e}{981} \cdot \left(\frac{b_o}{t} - \frac{25.50}{\sigma_e} \right)^2$$

$$k_v = 1 + \frac{0.88 + 3.5}{981} \cdot \left(14.33 - \frac{25.50}{3.5} \right)^2$$

$$k_v = 1.222$$

$$\sigma_e = \sigma_e / k_v = 3.5 / 1.222 = 2.864 \quad \text{t/cm}^2$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{50.207}{14.074}} = 1.889 \quad \text{cm.}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{yk}}{i_y} = \frac{500/2}{1.889} = 132.34 \quad \frac{107}{\sqrt{\sigma_e}} = \frac{107}{\sqrt{2.864}} = 63.23$$

$$\lambda_y > \frac{107}{\sqrt{\sigma_e}} \quad \text{için} \quad k_d = \left(0.5 - \frac{2511}{\sigma_e \lambda_y^2} \right) \cdot \left(\frac{31880}{\sigma_e \lambda_y^2} - 0.5 \right) \frac{\sigma_e \lambda_y^2}{31880}$$

$$k_d = \left(0.5 - \frac{2511}{2.864 (132.34)^2} \right) \cdot \left(\frac{31880}{2.864 (132.34)^2} - 0.5 \right) + \dots$$

$$\dots \frac{2.864 (132.34)^2}{31880}$$

$$k_d = 1.634$$

Sınır gerilme, $\frac{\sigma_e}{k_v \cdot k_d} = \frac{3.5}{1.222 \times 1.634} = 1.752 \text{ t/cm}^2$

$q^* = 1.752 \times 58.939 = 103.26 \text{ tcm}$

$q^* = \frac{8 \times 103.26}{(500)^2} = 3.304 \times 10^{-3} \text{ t/cm}$

kıyas için q^* 'ı 1.67' ye bölersek;

$q = 3.304 \times 10^{-3} / 1.67$
 $= 1.97 \times 10^{-3} \text{ t/cm}$

$w = b - 2(R + t)$
 $= 16 - 2(0.4 + 0.2)$
 $= 14.8 \text{ cm.}$

köşe elemanının kesit değerleri;

$A^* = L \cdot t = 1.57 \times R \times t = 1.57 \times 0.4 \times 0.2 = 0.1256 \text{ cm}^2$
 $I_x = I_y = 0.149 \times R^3 \times t = 0.149 \times (0.4)^3 \times 0.2 = 1.907 \times 10^{-3} \text{ cm}^4$
 $c = 0.637 \times R = 0.637 \times 0.4 = 0.2548 \text{ cm}$
 $x = y = R + t - c = 0.4 + 0.2 - 0.2548 = 0.3452 \text{ cm}$

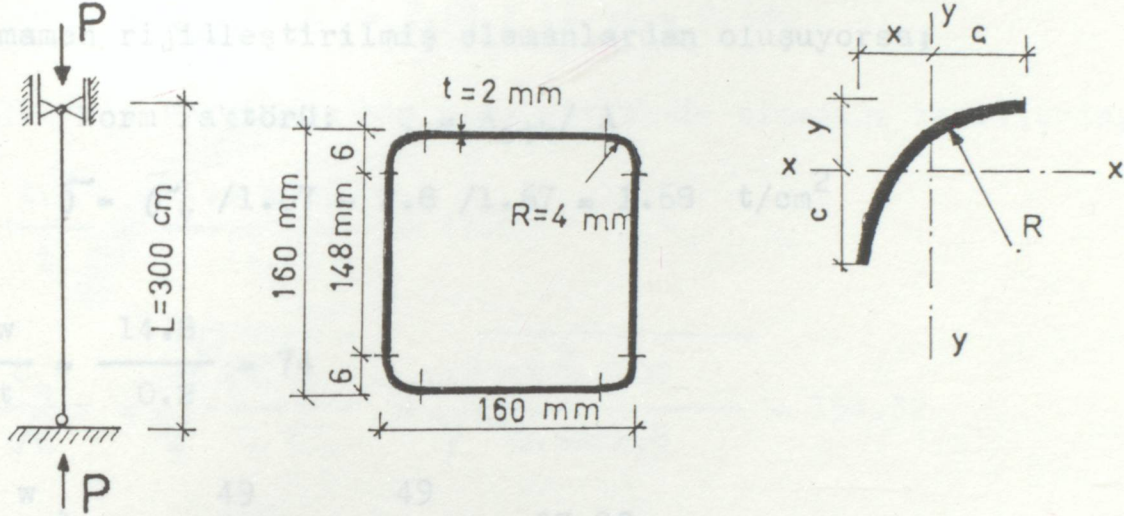
tüp kesitin kesit parametreleri;

$A = 4 \cdot \left[(0.1256 + 14.8 \times 0.2) \right] = 12.3424 \text{ cm}^2$
 $I_x = I_y = 2 \left[\frac{0.2 \times (14.8)^3}{12} + 14.8 \times 0.2 \times (7.9)^2 \right]$
 $\dots + 2 \times 0.1256 \times (7.6543)^2$

UYGULAMA: Şekilde görülen kare enkesitli tüpün emniyetle taşıyabileceği max. eksenel basınç kuvvetini hesaplayınız?

6.9

(Çeligin akma sınır gerilmesi $\sigma_y = 2.8 \text{ t/cm}^2$, atkin burkulma boyu katsayısı $k = 1$ alınacaktır.)



Problemin A.I.S.I. Standardına göre çözümü:

$$\begin{aligned} w &= b - 2(R + t) \\ &= 16 - 2(0.4 + 0.2) \\ &= 14.8 \text{ cm.} \end{aligned}$$

köşe elemanının kesit değerleri;

$$\begin{aligned} A^* &= L \cdot t = 1.57 \times R \times t = 1.57 \times 0.4 \times 0.2 = 0.1256 \text{ cm}^2 \\ I_x = I_y &= 0.149 \times R^3 \times t = 0.149 \times (0.4)^3 \times 0.2 = 1.907 \times 10^{-3} \text{ cm}^4 \\ c &= 0.637 \times R = 0.637 \times 0.4 = 0.2548 \text{ cm} \\ x = y &= R + t - c = 0.4 + 0.2 - 0.2548 = 0.3452 \text{ cm} \end{aligned}$$

tüp kesitin kesit parametreleri;

$$\begin{aligned} A &= 4 \cdot \left[(0.1256 + 14.8 \times 0.2) \right] = 12.3424 \text{ cm}^2 \\ I_x = I_y &= 2 \left[\frac{0.2 \times (14.8)^3}{12} + 14.8 \times 0.2 \times (7.9)^2 + \dots \right. \\ &\quad \left. \dots + 2 \times 0.1256 \times (7.6548)^2 \right] \end{aligned}$$

$$I_x = I_y = 506.96 \text{ cm}^4$$

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{506.96}{12.3424}} = 6.41 \text{ cm.}$$

Tamamen rijilleştirilmiş elemanlardan oluşuyorsa;

Form Faktörü: $Q = A_{etk} / A$

$$\sigma = \sigma_y / 1.67 = 2.8 / 1.67 = 1.68 \text{ t/cm}^2$$

$$\frac{w}{t} = \frac{14.8}{0.2} = 74$$

$$\left(\frac{w}{t}\right)_{lim} = \frac{49}{\sqrt{\sigma}} = \frac{49}{\sqrt{1.68}} = 37.80$$

$$\frac{w}{t} = 74 > \left(\frac{w}{t}\right)_{lim} = 37.80$$

Bu nedenle, etkin genişlik hesabı yapılacaktır.

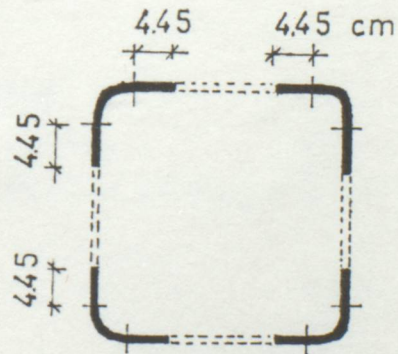
$$\frac{b}{t} = \frac{67}{\sqrt{\sigma}} \left[1 - \frac{13.33}{(w/t) \sqrt{\sigma}} \right]$$

$$= \frac{67}{\sqrt{1.68}} \left[1 - \frac{13.33}{74 \sqrt{1.68}} \right]$$

$$= 44.51$$

$$b = 44.51 \times 0.2$$

$$= 8.9 \text{ cm.}$$



Etkin kesit

$$\begin{aligned} A_{etk} &= A - 4(w - b) \cdot t \\ &= 12.34 - 4(14.8 - 8.9) \times 0.2 \\ &= 7.62 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$Q = A_{etk} / A = 7.62 / 12.34 = 0.620$$

Eğilmeli-burulmalı burulma etkisinin olmadığı kesitlerde,

$$\frac{k \cdot l}{i} = \frac{1.0 \times 300}{6.41} = 46.80$$

$$\frac{C_c}{\sqrt{Q}} = \sqrt{\frac{2 \pi^2 E}{Q \cdot \sigma_y}} = \sqrt{\frac{2 \pi^2 \cdot 2100}{0.62 \times 2.8}} = 154.52$$

$$\frac{k \cdot l}{i} < \frac{C_c}{\sqrt{Q}} \text{ olup, izin verilen sınır gerilme;}$$

$$\sigma_{al} = \frac{12}{23} \cdot Q \cdot \sigma_y - \frac{3(Q \cdot \sigma_y)^2}{23 \pi^2 E} \cdot \left(\frac{k \cdot l}{i}\right)^2$$

$$\sigma_{al} = \frac{12}{23} \times 0.62 \times 2.8 - \frac{3(0.62 \times 2.8)^2}{23 \times \pi^2 \times 2100} \cdot (46.80)^2$$

$$\sigma_{al} = 0.864 \text{ t/cm}^2 < \sigma_a = \frac{P}{A} \text{ olmak zorundadır.}$$

$$P = A \cdot \sigma_{al}$$

$$= 12.34 \times 0.864$$

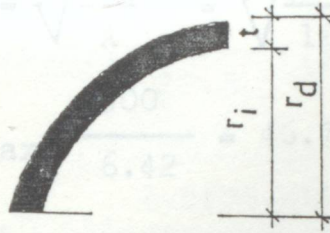
$$= 10.67 \text{ t.}$$

Aynı problemin C.T.I.C.M. Standartlarına göre çözümü:

$$t = 2 \text{ mm.} > 2 \text{ mm. için } r_{\text{min}} = 4 \text{ mm} < r_{\text{max.}} = 4 \times 3 = 12 \text{ mm.}$$

iç köşe eğrilik yarıçapı uygundur.

Köşe kesit değerleri;



$$r_d = 6 \text{ mm.}$$

$$r_i = 4 \text{ mm.}$$

$$t = 2 \text{ mm.}$$

$$\frac{4}{3} (0.6^3 - 0.4^3) = \pi (0.6^2 - 0.4^2) \cdot X_G$$

$$X_G = Y_G = 0.323 \text{ cm.}$$

$$r_d - X_G = r_d - Y_G = 0.6 - 0.323 = 0.277 \text{ cm.}$$

$$A = \frac{\pi}{4} (r_d^2 - r_i^2) = \frac{\pi}{4} (0.6^2 - 0.4^2) = 0.157 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} I_{xG} = I_{yG} &= \frac{\pi}{4 \times 4} (r_d^4 - r_i^4) - A \cdot X_G^2 \\ &= \frac{\pi}{4 \times 4} (0.6^4 - 0.4^4) - 0.157 \times (0.323)^2 \\ &= 4.04 \times 10^{-3} \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Bütün kesit,

$$A = 4 \cdot (0.157 + 14.8 \times 0.2) = 12.468 \text{ cm}^2$$

$$I_x = I_y = 2 \cdot \left[\frac{0.2 \times (14.8)^3}{12} + 0.2 \times 14.8 \times (8 - 0.1)^2 \right] + \dots$$

$$\dots + 4 \cdot \left[4.04 \times 10^{-3} + 0.157 \times \left(\frac{14.8}{2} + 0.2548 \right)^2 \right]$$

$$I_x = I_y = 514.34 \text{ cm}^4$$

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{514.34}{12.468}} = 6.42 \text{ cm.}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{300}{6.42} = 46.71 < 75 \text{ olup,}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{16}{0.2} = 80 > 45 \sqrt{\frac{2.35}{2.8}} = 41.23$$

ince cıdarlı eleman hesabı yapılacaktır.

$$\frac{b_o}{t} = \frac{14.8}{0.2} = 74 < 500$$

$$> 1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} = 1.64 \sqrt{\frac{2100}{2.8}} = 44.9$$

$$b_e = 1.64 \times 0.2 \times \sqrt{\frac{2100}{2.8}} = 8.98 \text{ cm.} < 14.8 \text{ cm.}$$

$$A_e = A - 4(b_o - b_e) = 12.468 - 4(14.8 - 8.98) = 10.812 \text{ cm}^2$$

$$I_e = 514.34 - 2 \left[\frac{0.2 \times (14.8 - 8.98)^3}{12} + 0.2(14.8 - 8.98) \cdot \left(\frac{16}{2} - \frac{0.2}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_e = 362.48 \text{ cm}^4$$

$$i_e = \sqrt{\frac{362.40}{10.312}} = 5.79 \text{ cm}$$

$$\lambda_e = \frac{300}{5.79} = 51.81$$

$$k_e = (0.5 + 0.554 \cdot \frac{\sigma_e \lambda^2}{\pi^2 \cdot E}) + \sqrt{(0.5 + 0.554 \cdot \frac{\sigma_e \lambda^2}{\pi^2 \cdot E})^2 - 0.738 \cdot \frac{\sigma_e \cdot \lambda^2}{\pi^2 \cdot E}}$$

$$k_e = (0.5 + 0.554 \cdot \frac{2.8(51.81)^2}{(3.14)^2 \cdot 2100}) + \dots \rightarrow$$

$$\rightarrow \dots + \sqrt{(0.5 + 0.554 \cdot \frac{2.8(51.81)^2}{(3.14)^2 \cdot 2100})^2 - 0.738 \cdot \frac{2.8(51.81)^2}{(3.14)^2 \cdot 2100}}$$

$$k_e = 1.174$$

$$\sigma \cdot k_e \leq \sigma_e$$

$$\sigma \leq \frac{2.8}{1.174} = 2.385 \text{ t/cm}^2$$

$$N^* = 10.812 \times 2.385$$

$$= 25.79 \text{ t.}$$

kıyas için N kuvvetini 1.67'ye bölersek;

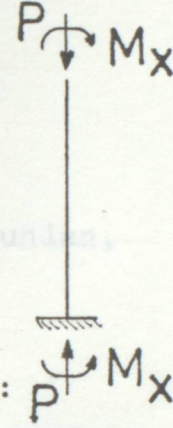
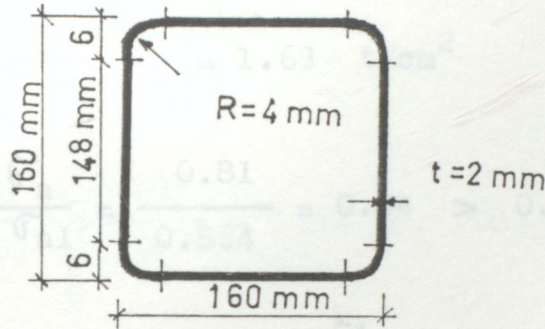
$$N = N^* / 1.67$$

$$= 25.79 / 1.67$$

$$= 15.44 \text{ t.}$$

UYGULAMA: Şekildeki kesit $P = 10 \text{ t}$ ve $M_x = 50 \text{ ton.cm}$ 'lik kuvvetlere maruzdur. Kesiti tahkik ediniz?

6.10 (Çeligin akma sınır gerilmesi $\sigma_y = 2.8 \text{ t/cm}^2$, etkin burkulma boyu katsayısı $k = 1$ alınacaktır.)



Problemin A.I.S.I. Standardına göre çözümü:

Bir önceki problemde kesit değerlerini hesaplamıştık.

$$A = 12.34 \text{ cm}^2$$

$$I_x = I_y = 506.96 \text{ cm}^4$$

$$i_x = i_y = 6.41 \text{ cm}$$

$$Q = 0.620$$

$$W_x = W_y = \frac{I}{h/2} = \frac{506.96}{16/2} = 63.37 \text{ cm}^3$$

P aksenal yükünden oluşan gerilme:

$$\sigma_a = \frac{P}{A} = \frac{10}{12.34} = 0.81 \text{ t/cm}^2$$

Uç momentlerinden dolayı oluşan eğilme gerilmesi:

$$\sigma_{bx} = \frac{50}{63.37} = 0.789 \text{ t/cm}^2$$

İzin verilen basınç sınır gerilmesi:

$$\sigma_{al} = 0.864 \text{ t/cm}^2 \text{ (Önceki problemde bulmuştuk.)}$$

veya İzin verilen eğilme sınır gerilmesi:

$$\begin{aligned}\sigma_{bxs} &= 0.60 \sigma_y \\ &= 0.60 \times 2.8 \\ &= 1.68 \text{ t/cm}^2\end{aligned}$$

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{al}} = \frac{0.81}{0.864} = 0.94 > 0.15 \text{ olduğundan,}$$

$$C_{mx} = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$

olduğundan kesit yeterlidir. Boyut arttırılmamıştır.

$$\begin{aligned}\text{Aynı problemde C.T.T.-50 Standardına göre:} \\ &= 0.6 - 0.4 \frac{-50}{50} = 1.0 \\ N &= 1.87 \times 10 = 18.7 \text{ t}\end{aligned}$$

$$\sigma_{\epsilon x} = \frac{12 \pi^2 E}{23 (KL/r)^2} = \frac{12 (3.14)^2 2100}{23 (1.0 \times 300 / 6.41)^2} = 4.936 \text{ t/cm}^2$$

Yalnız var ise,

$$\sigma_{a0} = 0.522 \times Q \times \sigma_y = 0.522 \times 0.62 \times 2.8 = 0.906 \text{ t/cm}^2$$

Yalnız var ise,

Çift simetri eksenli burulmalı burkulma ile eğilmeli-burulmalı burkulmanın etkisiz olduğu kesitler.

$$N_0 = 1.174$$

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{al}} + \frac{C_{mx} \cdot \sigma_{bx}}{(1 - \sigma_a / \sigma_{\epsilon x}) \sigma_{bxs}} \leq 1.0$$

$$0.94 + \frac{1.0 \times 0.789}{(1 - 0.81/4.936) \times 1.68} = 1.5 > 1.0$$

$$V_{top} = \sigma_r + \sigma_{\epsilon} \rightarrow 1.8 + 1.174 \times 1.874 = 3.99 > 2.8$$

olup, kesit yetersizdir.

veya

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{ao}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{bxs}} \leq 1.0$$

$$\frac{0.81}{0.906} + \frac{0.739}{1.68} = 1.36 > 1.0$$

olduğundan kesit yetersizdir. Boyut arttırılmalıdır.

Aynı problemin C.T.I.C.M. Standardına göre çözümü:

$$N = 1.67 \times 10 = 16.7 \text{ t}$$

$$M = 1.67 \times 50 = 83.5 \text{ t}$$

Yalnız N var ise,

$$N_u = 25.79 \text{ t} \quad N = 16.7 \text{ t}$$

Yalnız M var ise,

$$\left. \begin{array}{l} I_e = 362.48 \text{ cm}^4 \\ W_e = 45.31 \text{ cm}^3 \\ k_e = 1.174 \\ A_e = 10.812 \text{ cm}^2 \end{array} \right\} \text{ Bir önceki problemde bulunmuştur.}$$

$$\sigma_f = \frac{83.5}{45.31} = 1.8 \text{ t/cm}^2 < \sigma_e = 2.8 \text{ t/cm}^2$$

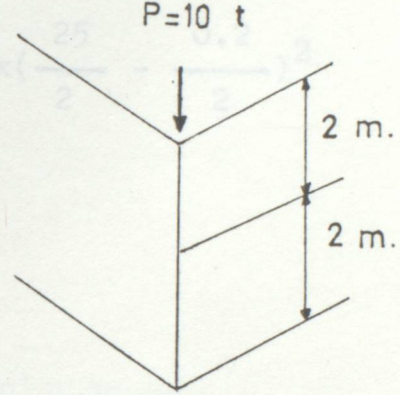
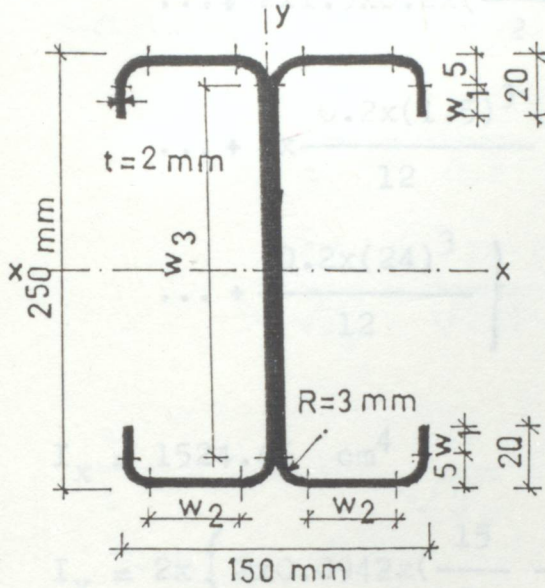
$$= \frac{16.7}{10.812} = 1.544 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{top} = \sigma_f + k_e \cdot \frac{P}{A_e} \leq \sigma_y \rightarrow 1.8 + 1.174 \times 1.544 = 3.61 > 2.8$$

olup, kesit yetersizdir.

UYGULAMA: Şekilde görülen I kesitin 10 ton değerindeki eksenel basınç altında burkulma tahkikini yapınız?

6.11 Çubuk boyu 4 m. olup, etkin burkulma boyu katsayısı ($k_x=1.0$, $k_y=0.5$) dir. $\sigma_y=2.4 \text{ t/cm}^2$ St.37



Problemin A.I.S.I. Standardına göre çözümü:

Köşe elemanının enkesit değerleri; Bu tür dairesel elemanın enkesit değerlerini belirlemek amacıyla tablo oluşturulmuştur. Bu tablo'ya göre;

$$A' = L \cdot t = 1.57 \times R \times t = 1.57 \times 0.3 \times 0.2 = 0.0942 \text{ cm}^2$$

$$I'_x = I'_y = 0.149 \times R^3 \times t = 0.149 \times (0.3)^3 \times 0.2 = 8.046 \times 10^{-4} \text{ cm}^4$$

$$c = 0.637 \times R = 0.637 \times 0.3 = 0.1911 \text{ cm.}$$

$$x = y = R + t - c = 0.3 + 0.2 - 0.1911 = 0.3089 \text{ cm.}$$

Bütün kesitte;

$$w_1 = 2.0 - (0.3 + 0.2) = 1.5 \text{ cm.}$$

$$w_2 = \frac{15}{2} - 2(0.3 + 0.2) = 6.5 \text{ cm.}$$

$$w_3 = 25 - 2(0.3 + 0.2) = 24 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} A &= 2(4 \times 0.0942 + 2 \times 1.5 \times 0.2 + 2 \times 0.2 \times 6.5 + 0.2 \times 24) \\ &= 16.7536 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$I_x = 2x \left\{ 4x0.0942x\left(\frac{25}{2} - 0.3089\right)^2 + 4x8.046x10^{-4} + \dots \right.$$

$$\dots + 2x1.5x0.2x\left(\frac{25}{2} - 0.2 - 0.3 - \frac{1.5}{2}\right)^2$$

$$\dots + 2x\frac{0.2x(1.5)^3}{12} + 2x0.2x6.5x\left(\frac{25}{2} - \frac{0.2}{2}\right)^2$$

$$\dots + \frac{0.2x(24)^3}{12} \left. \right\}$$

$$I_x = 1524.46 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2x \left\{ 2x0.0942x\left(\frac{15}{2} - 0.3089\right)^2 + 2x0.0942x(0.3089)^2 + \dots \right.$$

$$\dots + 4x8.046x10^{-4} + 2x0.2x1.5x\left(\frac{15}{2} - \frac{0.2}{2}\right)^2$$

$$\dots + 2x\frac{1.5x(0.2)^3}{12} + 2x0.2x6.5x\left(\frac{6.5}{2} + 0.3 + 0.2\right)^2$$

$$\dots + 2x\frac{0.2x(6.5)^3}{12} + 24x0.2x\left(\frac{0.2}{2}\right)^2 + \frac{24x(0.2)^3}{12} \left. \right\}$$

$$I_y = 176.81 \text{ cm}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{1524.46}{16.76}} = 9.537 \text{ cm.}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{176.81}{16.76}} = 3.248 \text{ cm.}$$

Q Form Faktörü:

Kesiti, rijidleştirilmiş ve rijidleştirilmemiş elemanlar birlikte oluşturdıklarından $Q = Q_s \cdot Q_a$ ile hesaplanır.

-Rijidleştirilmemiş basit uç kıvrımları için Q_s gerilme faktörü

$$\frac{w_1}{t} = \frac{1.5}{0.2} = 7.5$$

$$\frac{17}{\sqrt{\sigma_y}} = \frac{17}{\sqrt{2.4}} = 10.97$$

$$\frac{w_1}{t} = 7.5 < \frac{17}{\sqrt{\sigma_y}} = 10.97 \quad \text{olduğundan,}$$

$$\text{sınır basınç gerilmesi} \quad \sigma_c = 0.60 \sigma_y$$

$$= 0.60 \times 2.4$$

$$= 1.44 \text{ t/cm}^2$$

$$\text{elemanter sınır gerilme} \quad \sigma = 0.60 \sigma_y$$

$$= 0.60 \times 2.4$$

$$= 1.44 \text{ t/cm}^2$$

$$Q_s = \frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{1.44}{1.44} = 1.0$$

-Rijidleştirilmiş düzlemsel eleman şeklindeki flanş ve gövde levhaları için Q_a alan faktörü.

flanşlarda:

$$\frac{w_2}{t} = \frac{6.5}{0.2} = 32.5 < \left(\frac{w}{t}\right)_{\text{lim}} = \frac{45.3}{\sqrt{\sigma}} = \frac{45.3}{\sqrt{1.44}} = 37.75$$

olduğundan $b_2 = w_2$ alınır.

gövrlede:

$$\frac{w_3}{t} = \frac{24}{0.2} = 120 > \left(\frac{w}{t}\right)_{\lim} = 37.75 \text{ olduğundan;}$$

$$\begin{aligned} \frac{b}{t} &= \frac{67}{\sqrt{6}} \left[1 - \frac{14.66}{(w/t)\sqrt{6}} \right] \\ &= \frac{67}{\sqrt{1.44}} \left[1 - \frac{14.66}{120\sqrt{1.44}} \right] \end{aligned}$$

$$b_3 = 50.15 \times 0.2 = 10.03 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} A'_{etk} &= A - 2(w_3 - b_3) \cdot t \\ &= 16.75 - 2(24 - 10.03) \times 0.2 \\ &= 11.16 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q'_a &= A'_{etk} / A \\ &= 11.16 / 16.75 \\ &= 0.666 \end{aligned}$$

$$Q = Q'_a \times Q_s = 0.666 \times 1.0 = 0.666$$

$$\lambda_x = \frac{k \cdot l_x}{i_x} = \frac{1.0 \times 400}{9.537} = 41.94$$

$$\lambda_y = \frac{k \cdot l_y}{i_y} = \frac{0.5 \times 400}{3.248} = 61.58$$

$$\lambda_{\max} = \lambda_y$$

$$\frac{k \cdot l_y}{i_y} = 61.58 \leq \frac{C_c}{\sqrt{Q}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q \cdot \gamma_y}} = \sqrt{\frac{2 \times (3.14)^2 \times 2100}{0.666 \times 2.4}} = 161.04$$

$$\frac{4}{3}(0.5^3 - 0.3^3) = \pi(0.5^2 - 0.3^2) \cdot y_G$$

$$y_G = 0.26 \text{ cm.}$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4}(0.5^2 - 0.3^2) = 0.1257 \text{ cm}^2$$

$$I_{xG1} = \frac{\pi}{4 \times 4}(0.5^4 - 0.3^4) - 0.1257 \times (0.26)^2 = 0.00218 \text{ cm}^4$$

$$Y_G = \frac{0.1257 \times 0.26 - 0.2 \times 1.5 \times (1.5/2)}{0.1257 + 0.2 \times 1.5} = -0.452 \text{ cm}$$

$$I_{rG} = 0.00218 + 0.1257 \times (0.26 + 0.452)^2 + \frac{0.2 \times (1.5)^3}{12} + \dots$$

$$\dots + 0.2 \times 1.5 \times \left(\frac{1.5}{2} - 0.452 \right)^2$$

$$I_{rG} = 0.1488 \text{ cm}^4$$

Tablo 1 yardımıyla;

$$b_t = 2 \text{ cm} > 8.725 \times t = 8.725 \times 0.2 = 1.745 \text{ cm.}$$

$$I_r = 0.1488 \text{ cm}^4 > 55.35 \times t^4 = 55.35 \times (0.2)^4 = 0.08856 \text{ cm}^4$$

olup, kenar rijidlenmiş sayılır.

$$\frac{b_{o2}}{t} = \frac{6.5}{0.2} = 32.5 < 60 \text{ üst sınır sağlandı.}$$

$$< 1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} = 1.64 \sqrt{\frac{2100}{2.4}} = 48.51$$

$$\text{olup, } b_{o2} = b_{e2} = 6.5 \text{ cm.}$$

$$b_{o3} = 25 - 2(0.3 + 0.2) = 24 \text{ cm}$$

$$\frac{b_{o3}}{t} = \frac{24}{0.2} = 120 < 500$$

$$> 1.64 \sqrt{\frac{2100}{2.4}} = 48.51$$

$$\text{olup, } b_{o3} = 1.64 \times 0.2 \sqrt{\frac{2100}{2.4}} = 9.7 \text{ cm}$$

($\sigma = \sigma_y / 1.7$) alınmalı idi. Biz daha emniyetli tarafta kaldık.

Tüm kesitin;

$$A_e = 4 \left[0.2 \left(\frac{9.7}{2} + 6.5 + 1.5 \right) + 2(0.1257) \right] = 11.29 \text{ cm}^2$$

$$I_{xe} = 4 \left[\frac{0.2 \times (4.85)^3}{12} + 0.2 \times 4.85 \left(\frac{25}{2} - 0.5 - \frac{9.7}{2 \times 2} \right)^2 + \dots \right. \\ \left. \dots + 0.2 \times 6.5 \left(\frac{25}{2} - \frac{0.2}{2} \right)^2 + 2 \times 0.00218 + \frac{0.2 \times (1.5)^3}{12} + \dots \right]$$

$$\dots + 2 \times 0.1257 \times \left(\frac{25}{2} - 0.3089 \right)^2 + 0.2 \times 1.5 \times \left(\frac{25}{2} - 0.5 - \frac{1.5}{2} \right)^2$$

$$I_{xe} = 1464.44 \text{ cm}^4$$

$$I_{ye} = 4 \left[0.2 \times \frac{9.7}{2} \left(\frac{0.2}{2} \right)^2 + \frac{0.2 \times (6.5)^3}{12} + 0.2 \times 6.5 \times \left(\frac{6.5}{2} - 0.5 \right)^2 + \right.$$

$$\dots + 0.2 \times 1.5 \times \left(\frac{15}{2} - \frac{0.2}{2} \right)^2 + 0.1257 \times (0.5 - 0.1911)^2$$

$$k_T = 1.327$$

$$\dots + 2 \times 0.00218 + 0.1257 \times (0.5 + 6.5 + 0.1911)^2 \left. \right]$$

$$I_{ye} = 183.25 \text{ cm}^4$$

Sonuç olarak,

$$i_{xe} = \sqrt{\frac{I_{xe}}{A_{etk}}} = \sqrt{\frac{1464.44}{11.29}} = 11.389 \text{ cm}$$

$$i_{ye} = \sqrt{\frac{I_{ye}}{A_{etk}}} = \sqrt{\frac{183.25}{11.29}} = 4.029 \text{ cm}$$

$$\lambda_{xe} = \frac{k \cdot l_x}{i_{xe}} = \frac{1.0 \times 400}{11.389} = 35.12$$

$$\lambda_{ye} = \frac{k \cdot l_y}{i_{ye}} = \frac{0.5 \times 400}{4.029} = 49.64$$

$$\lambda_{\max.} = \lambda_{ye} = 49.64$$

$$k_r = (0.5 + 0.554 \frac{\sigma_e \cdot \lambda^2}{\pi^2 \cdot E}) + \sqrt{(0.5 + 0.554 \frac{\sigma_e \cdot \lambda^2}{\pi^2 \cdot E}) - 0.738 \frac{\sigma_e \cdot \lambda^2}{\pi^2 \cdot E}}$$

$$k_r = \left[(0.5 + 0.554 \frac{2.4 \times (49.64)^2}{2 \cdot 2100}) \right] + \dots \rightarrow$$

$$\rightarrow \dots + \sqrt{(0.5 + 0.554 \frac{2.4 \times (49.64)^2}{2 \cdot 2100}) - 0.738 \frac{2.4 \times (49.64)^2}{2 \cdot 2100}}$$

$$k_r = 1.327$$

$$N = 11.29 \frac{2.4}{1.327} = 20.41 \text{ t.}$$

Sonuç olarak,

$$A.I.S.I. \quad P_{\max.} = 12.95 \text{ t.}$$

C.T.I.C.M.

$$N_{em} = 20.41 / 1.67$$

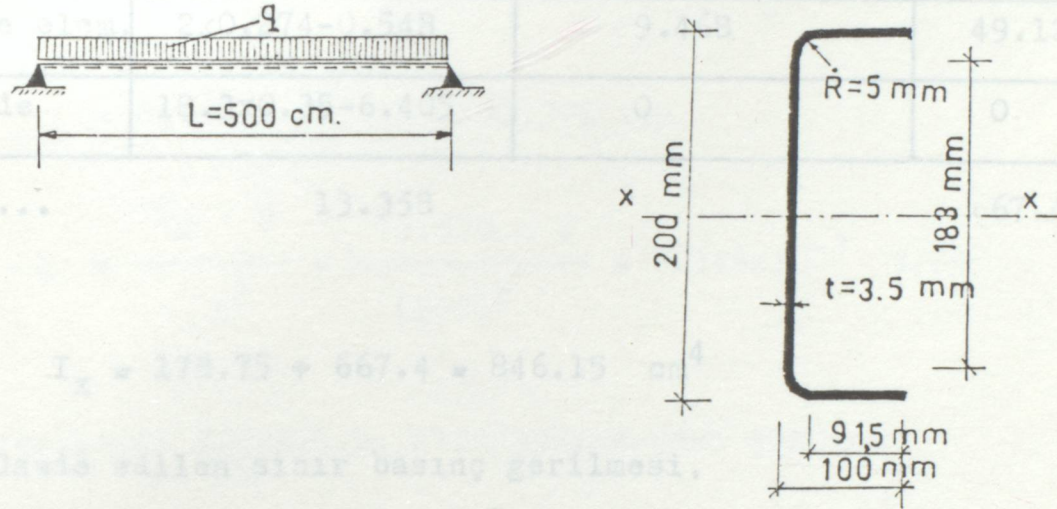
$$= 12.22 \text{ t.}$$

görüldüğü gibi değerler birbirine yakındır.

UYGULAMA: Şekildeki rijidleştirilmemiş flanşlı U kesitin emniyetle taşıyabileceği max. momenti hesaplayınız?

6.12

(Yanal bağlantı mevcut, Malzeme St 37 , Çeliğin akma gerilmesi $\sigma_y = 2.4 \text{ t/cm}^2$)



Problemin A.I.S.I. Standardına göre çözümü:

1. Kesit değerleri hesabı.

$$A = L \cdot t = 1.57 \times R \times t = 1.57 \times 0.5 \times 0.35 = 0.274 \text{ cm}^2$$

$$I_x = I_y = 0.149 \times R^3 \times t = 0.149 \times (0.5)^3 \times 0.35 = 0.00652 \text{ cm}^4$$

$$c = 0.637 \times R = 0.637 \times 0.5 = 0.318 \text{ cm.}$$

$$x = y = R + t - c = 0.5 + 0.35 - 0.318 = 0.532 \text{ cm.}$$

$$w_1 = 10 - (0.35 + 0.5) = 9.15 \text{ cm.}$$

$$w_2 = 20 - 2(0.35 + 0.5) = 18.3 \text{ cm}$$

$$I_{\text{gövde}} = \frac{0.35 \times (18.3)^3}{12} = 178.75 \text{ cm}^4$$

Eleman	Alan A (cm ²)	Kesit ağırlık merkezine mesafe y (cm)	A.y ² (cm ⁴)
Flanşlar	2x9.15x0.35-6.405	9.825	618.28
Köşe elem.	2x0.274-0.548	9.468	49.12
Gövde	18.3x0.35-6.405	0	0

Σ 13.358 667.4

$$I_x = 178.75 + 667.4 = 846.15 \text{ cm}^4$$

2. Müsade edilen sınır basınç gerilmesi,

Kesitin basınç flanşında $\frac{w}{t}$ oranı

$$\frac{w_1}{t} = \frac{9.15}{0.35} = 26.14$$

Basınç gerilmesi etkisindeki rijidleştirilmemiş elemanlarda;

$\frac{w}{t}$ 'nin 25 ile 60 arasında olması halinde,

$$\sigma_c = 1.39 - 0.02 (w/t)$$

$$= 1.39 - 0.02 \times 26.14$$

$$= 0.867 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_c = 0.867 \text{ t/cm}^2 < \sigma_{em} = \sigma_y / 1.67 = 2.4 / 1.67$$

$$= 1.437 \text{ t/cm}^2$$

3. Kesitin x-x ekseninde etrafında emniyetle taşıyabileceği max. eğilme momenti.

$$W_x = \frac{846.15}{20/2} = 84.62 \text{ cm}^3$$

$$M_x = W_x \cdot \sigma_c$$

$$= 84.62 \times 0.8672 = 73.373 \text{ tcm}$$

$$q = \frac{M_x \cdot 8}{L^2} = \frac{73.373 \times 8}{(500)^2} = 2.348 \times 10^{-3} \text{ t/cm}$$

Aynı problemin C.T.I.C.M. Standartlarına göre çözümü:

$$t = 3.5 \text{ mm} > 2 \text{ mm.} \quad \text{için} \quad r_{\text{mev.}} = 5 \text{ mm} < r_{\text{max.}} = 4.t$$

$$= 4 \times 3.5$$

$$= 14 \text{ mm.}$$

olup, içköşe eğrilik yarıçapı uygundur.

Basınca çalışan rijidleştirilmemiş düzlem cidar,

$$b_o = b - (R + t) = 10 - (0.5 + 0.35) = 9.15 \text{ cm.}$$

$$\frac{h_g}{t} = \frac{18.3}{0.35} = 52.28 < 150$$

$$\frac{b_o}{t} = \frac{9.15}{0.35} = 26.14 < 60 \quad \text{olup, işlemlere aşı-}$$

ğadaki şekilde devam edeceğiz.

$$\frac{b_o}{t} = 26.14 > \frac{25.5}{\sigma_e} = \frac{25.5}{2.4} = 10.625 \text{ olup, } k_v \neq 1$$

$$k_v = 1 + \frac{0.88 + \sigma_e}{981} \left(\frac{b_o}{t} - \frac{25.5}{\sigma_e} \right)^2$$

$$= 1 + \frac{0.88 + 2.4}{981} (26.14 - 10.625)^2$$

$$= 1.8048$$

$$M = \frac{W_x \cdot \sigma_e}{k_v} = \frac{84.62 \times 2.4}{1.805} = 112.52 \text{ tcm}$$

$$M = M / 1.67 = 112.52 / 1.67 = 67.379 \text{ tcm.}$$

$$q = \frac{M_x \cdot 8}{L^2} = \frac{67.379 \times 8}{(500)^2} = 2.156 \times 10^{-3} \text{ t/cm}$$

Sonuç olarak,

A.I.S.I.

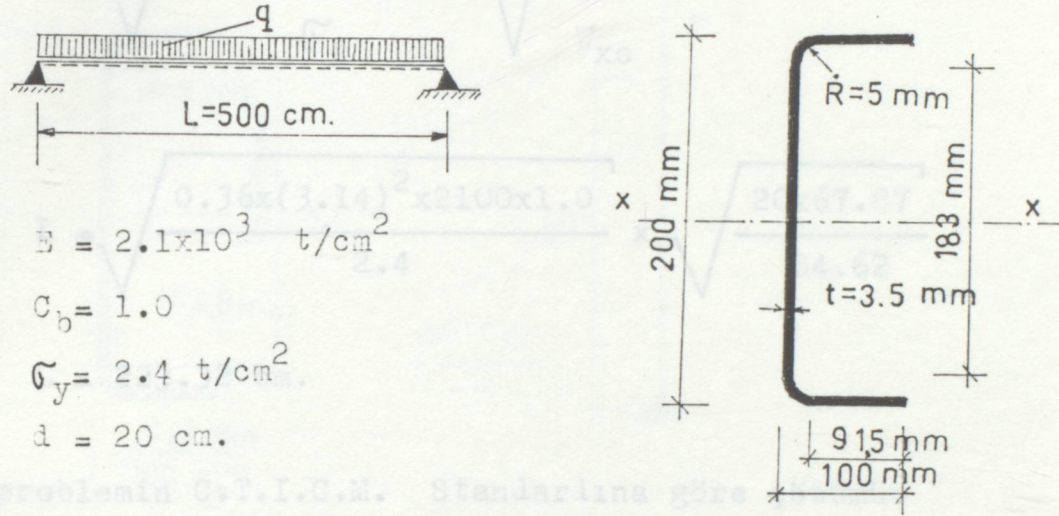
$$M = 73.38 \text{ tcm.}$$

C.T.I.C.M.

$$M = 67.38 \text{ tcm.}$$

görülmüştür ki neticeler birbirine yakındır.

UYGULAMA: Şekildeki kiriş 5 m. açıklıklı basit kiriş olup, Uniform yayılı yük etkisiyle kaldığı gözönünde tutularak, yanal burkulmaya karşı yeterince tutulmuş kabul edilebilmesi için üst başlığı yanal harekete karşı tutan bağlantıların max. aralığını bulunuz? (Böğilme etkisi gözönünde alınmadan)



$$E = 2.1 \times 10^3 \text{ t/cm}^2$$

$$C_b = 1.0$$

$$\sigma_y = 2.4 \text{ t/cm}^2$$

$$d = 20 \text{ cm.}$$

Problem A.I.S.I. Standardına göre çözümü:

$$X_G = \frac{A_i \cdot x_i}{A}$$

$$= \frac{2 \times 0.274 \times 0.532 + 18.3 \times 0.35 \times \frac{0.35}{2} + 2 \times 0.35 \times 9.15 \times (10 - \frac{9.15}{2})}{13.358}$$

$$= 2.707 \text{ cm.}$$

$$I_y = 2 \times \frac{0.35 \times (9.15)^3}{12} + \frac{18.3 \times (0.35)^3}{12} + 2 \times 0.00652$$

$$+ 0.274 \times 2 \times (2.707 - 0.532)^2$$

$$+ 2 \times 0.35 \times 9.15 \times (10 - 2.707 - \frac{9.15}{2})^2$$

$$I_y = 135.737 \text{ cm}^4$$

$$I_{yc} = \frac{1}{2} I_y = \frac{1}{2} 135.737 = 67.87 \text{ cm}^4$$

$$L = \sqrt{\frac{0.36 \pi^2 E C_0}{\sigma_y}} \times \sqrt{\frac{d I_{yc}}{W_{xc}}}$$

$$L = \sqrt{\frac{0.36 \times (3.14)^2 \times 2100 \times 1.0}{2.4}} \times \sqrt{\frac{20 \times 67.87}{84.62}}$$

$$L = 223.32 \text{ cm.}$$

Aynı problemin C.T.I.C.M. Standardına göre çözümü:

I ve U profillerinde,

$$\lambda_y \leq \frac{107}{\sqrt{\sigma_e}} \text{ için } k_1 = 1 \text{ olur.}$$

$$\lambda_y = \frac{107}{\sqrt{2.4}} = 69.06$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{135.737}{13.358}} = 3.187 \text{ cm.}$$

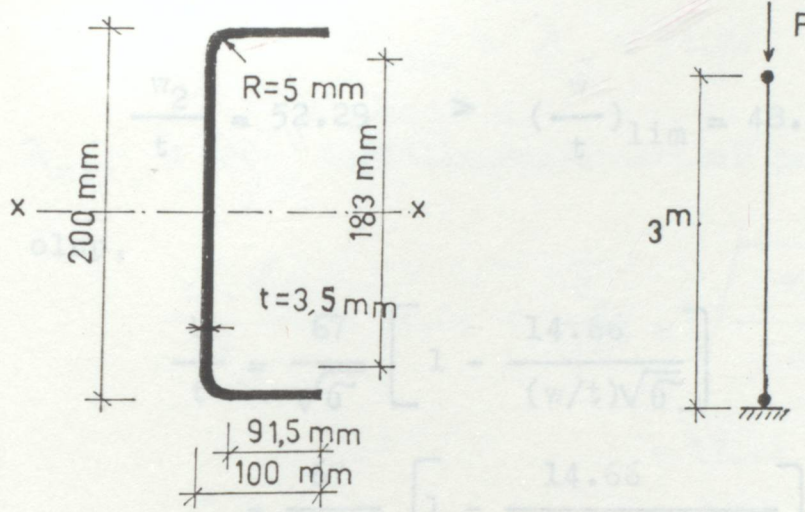
$$\begin{aligned} \lambda_y = \frac{l_{yk}}{i_y} &\rightarrow l_{yk} = i_y \cdot \lambda_y \\ &= 3.187 \times 69.06 \\ &= 220.14 \text{ cm} \end{aligned}$$

UYGULAMA: Şekilde görülen eksenel basınç kuvvetine maruz basınç çubuğunun tahkikini yapınız?

6.14 = (Malzeme St 37 , Çeliğin akma gerilmesi $\sigma_y = 2.4 \text{ t/cm}^2$)

$$\mu = 0.3$$

$$k = 1.0$$



Problemin A.I.S.I. Standardına göre çözümü:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{846.15}{13.358}} = 7.96 \text{ cm}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{135.74}{13.358}} = 3.19 \text{ cm}$$

Form faktörü: $Q = Q_s \cdot Q_a$

- Rijidleştirilmemiş flanşlar için Q_s gerilme faktörü

sınır basınç gerilmesi $\sigma_c = 0.867 \text{ t/cm}^2$

elemanter sınır gerilmesi $\sigma = 0.60 \times \sigma_y = 1.44 \text{ t/cm}^2$

$$Q_s = \frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{0.867}{1.44} = 0.602$$

- Rijidleştirilmiş düzlemsel elemanla

$$\frac{w_2}{t} = \frac{18.3}{0.35} = 52.29$$

$$\left(\frac{w}{t}\right)_{\lim} = \frac{45.3}{\sqrt{0.867}} = \frac{45.3}{\sqrt{0.867}} = 48.65$$

$$\frac{w_2}{t} = 52.29 > \left(\frac{w}{t}\right)_{\lim} = 48.65$$

olup,

$$\frac{b}{t} = \frac{67}{\sqrt{0.867}} \left[1 - \frac{14.66}{(w/t)\sqrt{0.867}} \right]$$

$$= \frac{67}{\sqrt{0.867}} \left[1 - \frac{14.66}{52.29 \sqrt{0.867}} \right]$$

$$= 0.35 \times 50.29$$

$$b = 17.6 \text{ cm.}$$

$$A'_{etk} = A - (w_2 - b_2) \cdot t$$

$$= 13.358 - (18.3 - 17.6) \cdot 0.35$$

$$= 13.113 \text{ cm}^2$$

$$Q'_a = \frac{A'_{etk}}{A} = \frac{13.113}{13.358} = 0.98$$

$$Q = Q_s \cdot Q'_a = 0.98 \times 0.602$$

$$Q = 0.59 < 1$$

olup, $\sigma_y \rightarrow Q \cdot \sigma_y$ olacak.

$$\lambda_x = \frac{k \cdot l_x}{i_x} = \frac{1.0 \times 300}{7.96} = 37.69$$

$$\lambda_y = \frac{k \cdot l_y}{i_y} = \frac{1.0 \times 300}{3.19} = 94.04$$

$$\lambda_{\max.} = \lambda_y = 94.04$$

$\lambda_{\max} < 200$ Harelik ağısından bir problem yok.

$$\frac{k \cdot l_y}{i_y} = 94.04 < \frac{C_c}{\sqrt{Q}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q \cdot \sigma_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2100}{0.59 \times 2.4}} = 171.1$$

olduğundan,

$$\sigma_{al} = \frac{12}{23} \cdot Q \cdot \sigma_y - \frac{3 (Q \cdot \sigma_y)^2}{23 \pi^2 E} \cdot \left(\frac{k \cdot l_y}{i_y} \right)^2 < \sigma_a$$

olmak zorunda.

$$\begin{aligned} \sigma_{al} &= \frac{12}{23} \times 0.59 \times 2.4 - \frac{3(0.59 \times 2.4)^2}{23\pi(3.14)^2 \times 2100} \times (94.04)^2 \\ &= 0.627 \text{ t/cm}^2 \end{aligned}$$

$Q = 0.59 < 1$ olup,

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{k \cdot l_x}{i_x} \right)^2} = \frac{(3.14)^2 \times 2100}{(37.69)^2} = 14.59$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A \cdot r_o^2} \cdot \left(GJ + \frac{\pi^2 E I_w}{(k \cdot L)^2} \right)$$

Ek'den

$$x_o = \frac{b^2}{a+2b} + \frac{3 \cdot b^2}{6 \cdot b + a} = \frac{10^2}{20 + 2 \times 10} + \frac{3 \times 10^2}{6 \times 10 + 20} = 6.25 \text{ cm}$$

$$r_o = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2} = \sqrt{7.96^2 + 3.19^2 + 6.25^2} = 10.61 \text{ cm}$$

$$G = E / 2(1 + \mu) = 2100 / 2(1 + 0.3) = 807.69$$

$$I_w = \frac{t \cdot a^2 \cdot b^3}{12} \cdot \left(\frac{3 \cdot b + 2 \cdot a}{6 \cdot b + a} \right) = \frac{0.35 \times 20^2 \times 10^3}{12} \cdot \left(\frac{3 \times 10 + 2 \times 20}{6 \times 10 + 20} \right)$$

$$I_w = 10208.33 \text{ cm}^6$$

$$J = \frac{1}{3} \sum l \cdot t^3 = \frac{1}{3} (2 \times 10 \times 0.35^3 + 20 \times 0.35^3) = 0.5716 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_t = \frac{1}{13.358 \times (10.61)^2} \cdot (807.69 \times 0.5716 + \frac{\pi^2 2100 \times 10208.33}{(1.0 \times 300)^2})$$

$$\sigma_t = 1.87 \text{ t/cm}^2$$

$$\beta = 1 - (x_o/y_o)^2 = 1 - (6.25/10.61)^2 = 0.653$$

$$\begin{aligned} \sigma_{TPO} &= \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot \left[(\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4 \beta \sigma_{ex} \sigma_t} \right] \\ &= \frac{1}{2 \times 0.653} \left[(14.59 + 1.87) - \sqrt{(14.59 + 1.87)^2 - 4 \times 0.653 \times 14.59 \times 1.87} \right] \\ &= 1.734 \text{ t/cm}^2 \end{aligned}$$

$$Q = 0.59 < 1.0 \text{ olup, } \sigma_y \rightarrow Q \cdot \sigma_y \text{ olacak.}$$

$$0.5 \times Q \times \sigma_y = 0.5 \times 0.59 \times 2.4 = 0.708 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{TFO} = 1.784 \text{ t/cm}^2 > 0.5 \times Q \times \sigma_y = 0.708 \text{ t/cm}^2$$

olduğu için

$$\sigma_{a2} = 0.522 \times Q \times \sigma_y - \frac{(Q \cdot \sigma_y)^2}{7.67 \times \sigma_{TFO}}$$

$$= 0.522 \times 0.59 \times 2.4 - \frac{(0.59 \times 2.4)^2}{7.67 \times 1.784}$$

$$\sigma_{a2} = 0.593 \text{ t/cm}^2 < \sigma_{a1} = 0.627 \text{ t/cm}^2$$

$$P_{\max.} = A \cdot \sigma_{a2} = 13.358 \times 0.593 = 7.92 \text{ t.}$$

Ayı problemi C.T.I.C.M. Standardına göre gözersek:

Rijidlenmemiş cidarları ve / veya serbest parçaları olan profiller:

En büyük $\frac{b_o}{t}$ oranı olan düzlem cidarlar ele alınır.

$$\lambda_{\max} = \lambda_y = 94.04 > 75$$

olup,

$$\begin{aligned} \frac{b}{t} &= \frac{10}{0.35} = 28.57 > 0.2 \times \lambda \sqrt{\frac{2.35}{\sigma_e}} \\ &= 0.2 \times 94.04 \times \sqrt{\frac{2.35}{2.4}} \\ &= 18.61 \end{aligned}$$

olup, ince cidarlı eleman gibi hesaplanmalı.

$$\frac{b_o}{t} = \frac{9.15}{0.35} = 26.14 < 60$$

$$\frac{b_o}{t} = 26.14 > \frac{25.5}{\sigma_e} = \frac{25.5}{2.4} = 10.625 \quad k_v \neq 1$$

$$\begin{aligned} k_v &= 1 + \frac{0.88 + \sigma_e}{981} \cdot \left(\frac{b_o}{t} - \frac{25.5}{\sigma_e} \right)^2 \\ &= 1 + \frac{0.88 + 2.4}{981} \cdot (26.14 - 10.625)^2 \\ &= 1.8048 \end{aligned}$$

$$\frac{b_{o2}}{t} = \frac{18.3}{0.35} = 52.28$$

$$1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} = 1.64 \sqrt{\frac{2100}{2.4}} = 48.51$$

$$1.64 \sqrt{\frac{E}{\sigma}} = 48.51 < \frac{b_o}{t} = 52.28 < 500 \quad \text{olup,}$$

$$b_e = 1.64 \times t \times \sqrt{\frac{E}{G}}$$

$$= 1.64 \times 0.35 \times \sqrt{\frac{2100}{2.4}} = 16.98 \text{ cm.}$$

$$A_e = A - (b_{o2} - b_e) \cdot t$$

$$= 13.358 - (18.3 - 16.98) \times 0.35$$

$$= 12.9 \text{ cm}^2$$

$$X_G = \frac{2 \times 0.274 \times 0.532 + 0.35 \times 2 \times 8.49 \times \left(\frac{0.35}{2}\right) + 2 \times 9.15 \times 0.35 \times \left(10 - \frac{9.15}{2}\right)}{12.90}$$

$$X_G = 2.8 \text{ cm}$$

$$I_{xe} = 2 \left[\frac{0.35 \times \left(\frac{16.98}{2}\right)^3}{12} + 0.35 \times \left(\frac{16.98}{2}\right) \times \left(10 - 0.35 - 0.5 - \frac{16.98}{2}\right) \right.$$

$$+ 0.274 \times (10 - 0.532)^2 + 0.00652 + \frac{9.15 \times (0.35)^3}{12}$$

$$\left. + 0.35 \times 9.15 \times \left(10 - \frac{0.35}{2}\right)^2 \right]$$

$$I_{xe} = 846.16 \text{ cm}^4$$

$$I_{ye} = 2 \left[\frac{\left(\frac{16.98}{2}\right) \times (0.35)^3}{12} + \frac{16.98}{2} \times 0.35 \times \left(2.8 - \frac{0.35}{2}\right)^2 \right.$$

$$+ 0.00652 + 0.274 \times (2.8 - 0.532)^2 + \frac{0.35 \times (9.15)^3}{12}$$

$$+ 0.35 \times 9.15 \times (10 - 2.8 - \frac{9.15}{2})^2 \Big]$$

$$I_{ye} = 132.66 \text{ cm}^4$$

$$i_{xe} = \sqrt{\frac{I_{xe}}{A_e}} = \sqrt{\frac{846.16}{12.9}} = 8.1 \text{ cm}$$

$$i_{ye} = \sqrt{\frac{I_{ye}}{A_e}} = \sqrt{\frac{132.66}{12.9}} = 3.206 \text{ cm}$$

$$\lambda_{xe} = \frac{k \cdot l_x}{i_{xe}} = \frac{1.0 \times 300}{8.1} = 37.04$$

$$\lambda_{ye} = \frac{k \cdot l_y}{i_{ye}} = \frac{1.0 \times 300}{3.206} = 93.55$$

$$\lambda_r = \frac{l}{i_e} \sqrt{\frac{1}{k_v}}$$

$$\lambda_r = \frac{300}{3,206} \sqrt{\frac{1}{1.8048}}$$

$$\lambda_r = 69.65$$

$$\frac{\sigma_e}{k_v} = \frac{2.4}{1.8048} = 1.33$$

$$k_r = (0.5 + 0.554 \frac{\sigma_e \cdot \lambda^2}{\pi^2 \cdot E}) + \sqrt{(0.5 + 0.554 \frac{\sigma_e \cdot \lambda^2}{\pi^2 \cdot E})^2 - \dots}$$

$$- 0.738 \frac{\sigma_e \cdot \lambda^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$$k_r = (0.5 + 0.554 \frac{1.33 \times (69.65)^2}{(3.14)^2 \times 2100}) + \sqrt{(0.5 + 0.554 \frac{1.33 \times (69.65)^2}{(3.14)^2 \times 2100})^2 - \dots}$$

$$- 0.738 \frac{1.33 \times (69.65)^2}{(3.14)^2 \times 2100}$$

$$k_r = 1.144$$

$$N^* = \sigma \cdot A_e = \frac{\sigma_e}{k_v \cdot k_r} \cdot A_e$$

$$= \frac{2.4 \times 12.90}{1.144 \times 1.8048} = 14.99 \text{ t.}$$

$$N = N^* / 1.67 = 14.99 / 1.67 = 8.98 \text{ t.}$$

7. SONUÇ

- C.T.I.C.M. standardında taşıma gücüne göre çözüme gidiliyor. Fakat bağıntılar ve uygulamalarda bulunan neticelerde A.I.S.I standardından bir farklılık görülmedi.

A.I.S.I. ve C.T.I.C.M. standartlarında, flanşları rijidlenmiş basınç elemanlarının kesit değerlerinin hesabında etkin genişlik ve buna bağlı etkin kesit alanı söz konusudur. Basınca maruz cidarda b fiktif genişliği hesap ediliyor.

A.I.S.I. standardında gerilme hesabında kullanılacak olan etkin genişliği bulurken σ_{max} kenar gerilmesi yerine, dış yüklerin sebep olduğu gerilmenin 1.67 katı alınıyor. Deformasyon hesabında ise dış yüklerden oluşan gerilmenin kendisi alınıyor. Bu standartta etkin genişlik hesabı için ilk olarak genişlik/kalınlık oranı bulunur. Basınca çalışan düzlem cidarın bu oranı verilen limit değerleri ile kıyaslanır. Gerilme ve deformasyon için ayrı ayrı verilmiş olan formüller ile b etkin genişliği hesaplanır.

C.T.I.C.M standardında gerilme ve deformasyonlar için tek bir etkin genişlik hesabı yapılıyor. Bu standartta yapılan hesaplarda ilk olarak içköşe eğrilik yarı çapı kontrol ediliyor. Burada da basınca çalışan düzlem parçanın et kalınlığına oranı belirlenir. Bu değer bir takım alt ve üst sınır değerleri ile kıyaslanarak, buna bağlı bir formüle göre etkin genişlik bulunur. Bu formülde σ_y 'nin 1.67'ye bölünmüş değeri kullanılır ve bulunan etkin genişliğe göre kesit değerleri hesaplanır.

- Yapılan uygulamalarda her iki standarda göre bulunan neticeler birbirine çok yakın çıktı. İki standartta, hesap kolaylığı açısından aynıdır.

Basınca çalışan rijidlenmemiş düzlem cidarlarda;

A.I.S.I. standardına göre hesap yaparken izin verilen sınır gerilme değeri hesaplanır. Bunun için, σ_y 'ye bağlı bir takım sınır değerler var; buradan elemanın özelliğine ve bu sınır değerlere bağlı olarak sınır basınç gerilmesi bulunur ve kesit bu şekilde belirlenir.

C.T.I.C.M.'de ise bir k_v buruşma katsayısı hesaplanıyor ve bu değer bizim gerilme değerimizle çarpılıyor.

- Yapılan uygulamalarda sonuçlar birbirine yakın çıktı. Bana göre her iki standartta, izin verilen sınır basınç gerilmesini hesaplamak için verilen bağıntılar pratiktir.

Düzlemsel basınç elemanını rijidlemek için kenar rijidleştiriciler kullanılmaktadır. Basınç gerilmesi etkisindeki rijidlenmemiş flanşın boştaki ucuna mesnet vazifesini görecektir. Büküm yapılır. Bükümün flanş ve düzlem elemana mesnet vazifesi görevini yerine getirebilmesi için yeterli rijidliğe sahip olmalıdır. Yoksa eleman düzlemine dik olarak burkulur.

- A.I.S.I. ve C.T.I.C.M. standartlarında minimum boyutları ve atalet momentleri için sınır değerlerini veren bağıntılar mevcuttur. Bu bağıntıların hepsi pratiktir.

w/t oranı büyükse ara rijidleyici koymak gerekir. Bunların sayısı ve hangilerinin etkin kabul edilip edilmeyeceği konusunda standartta gerekli maddeler vardır.

Soğukta şekil verilmiş eğilmeye çalışan taşıyıcı elemanların boyutlandırılmasında, elemanın flanşının rijidlenmiş veya rijidlenmemiş olmasına bağlı olarak, sahip olduğu rijidliğin yeterli olmasına dikkat edilir. Bu elemanların moment taşıma kapasiteleri yeterli eğilme rijidliğine bağlı olmasının yanında yanıl burkulma sebebiyle de sınırlıdır. Ayrıca gövde levhasının kontrolü yapılmalıdır.

A.I.S.I. standardında, rijidlenmiş ve rijidlenmemiş basınç elemanına sahip olanlar için izin verilen sınır gerilme ve etkin genişlik esasına dayalı azaltılmış enkesit değerlerine göre boyutlama yapılır.

C.T.I.C.M. standardında ise, elemanın rijidlenmiş olması durumunda etkin genişlik belirlenir. Kesit özelliklerinden tahkik yapılır. eleman rijidlenmemiş ise izin verilen sınır basınç gerilmeleri bulunur. Ayrıca gerilme değerimiz bir k_v buruşma katsayısı ile çarpılır.

- Basit eğilme ile ilgili yapılan uygulamalarda aynı sonuçlar bulundu. Fakat A.I.S.I. standardı daha basit çözüm yolu önermiş.

- A.I.S.I. ve C.T.I.C.M. standartlarında kiriş gövde levhalarının boyutlandırılmasıyla ilgili maddelerle yapılan uygulamalarda aynı neticeler bulundu. Bir daha sonra moment ve

Yanal burkulma için; birlikte etkimesi durumunda verilmiş olan A.I.S.I. standardında sınır gerilme değerleri mevcuttur. C.T.I.C.M. standardında ise yanal burkulma katsayısı (k_d) hesaplanır. σ_e değerimiz k_d 'ye bölünerek gerilme değerimiz azaltılır.

Yapılan uygulamalarda bulunan neticeler aynı çıktı. Fakat A.I.S.I. standardı daha pratiktir.

Merkezi basınç kuvveti etkisindeki elemanlarda yerel burkulma nedeniyle sistem akma gerilmesine ulaşmadan yük taşıma kapasitesini kaybeder ve bu sebeple gerilme form faktörü denen bir sayıyla azaltılır.

A.I.S.I. standardında, kesitin rijidlenmiş ve/veya rijidlenmemiş elemanlardan oluşup oluşmamasına göre form faktörü bulunur ve gerilme Q ile azaltılarak σ_{a1} gerilmemiz elde edilir.

C.T.I.C.M. standardında ise içköşe eğrilik yarıçapı kontrol edilir. λ_{max} hesap edilir. $\lambda_{max} \geq 75$ durumuna göre elemanda ince cidarlı eleman hesabı yapıp yapılmayacağı kontrol edilir. Etkin kesit değerleri ve σ_e bulunur. k_e hesaplanır.

Kapalı kesitler büyük burulma rijidlikleri sebebiyle burulmalı burkulmaya maruz kalmazlar. Fakat açık enkesitli elemanlarda stabilitenin sağlanmasında burkulma, burulmalı burkulma ve eğilmeli-burulmalı burkulma önemlidir.

A.I.S.I. standardında hesaplar yine aynı şekilde yapılır. Bunun yanı sıra ayrıca σ_{a2} eğilmeli-burulmalı burkulma gerilmesinin hesaplanması gerekiyor.

C.T.I.C.M. standardında işlemler basit eğilmeye olduğu gibi yapıyor.

- Yapılan uygulamalarda yaklaşık aynı neticeler bulundu.

Merkezi basınç kuvveti ve eğilme momentinin birlikte etkimesi durumunda;

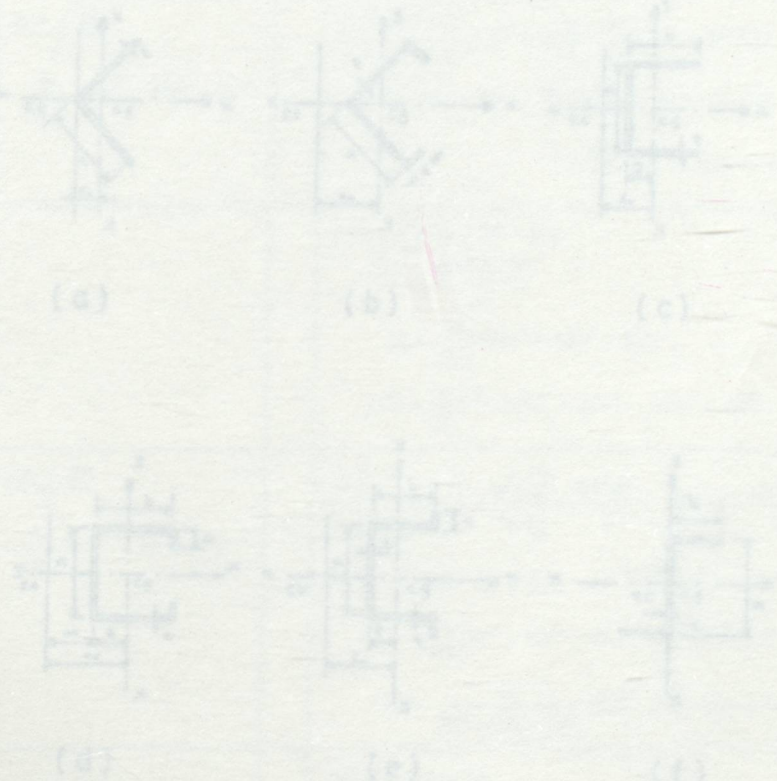
A.I.S.I. standardı bazı sınır ifadeler vermiş, bu ba-

gıntılara göre kesit tayin edilir.

C.T.I.C.M. standardında ise, sadece basınç ve sadece eğilme durumu için kesit kontrol edilir. Daha sonra moment ve eksenel basınç kuvvetinin birlikte etkimesi durumunda verilmiş olan bağıntılar ile gerilmelerde gerekli azaltmalar yapılarak tahkik yapılır.

- C.T.I.C.M. standardında, açık kesitler yani eğilmeli burulmalı burkulma tesiri oluşan kesitler için herhangi bir madde yoktur.

Genel olarak; her iki standartta bulunan neticeler aynı fakat A.I.S.I. standardı daha pratiktir.

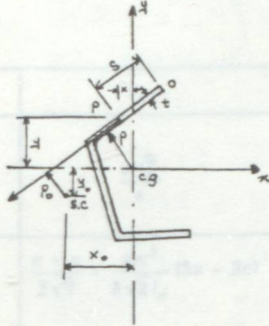


Şekil 3

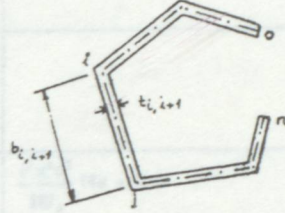
EK

BAZI KESİTLERDE KAYMA MERKEZİNİN
YERİ VE ÇARPILMA SABİTİNE AİT
FORMÜLLER

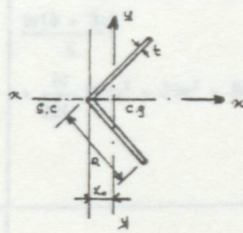
Kayma merkezinin x_c , y_c koordinatları ve çarpılma katsayıları



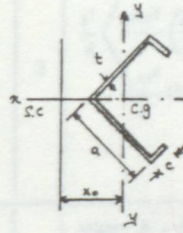
Şekil 1



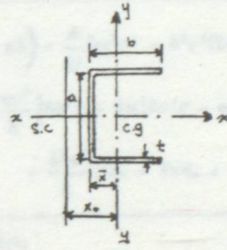
Şekil 2



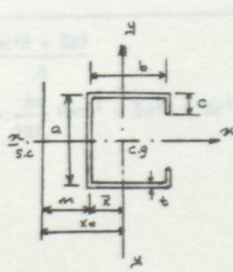
(a)



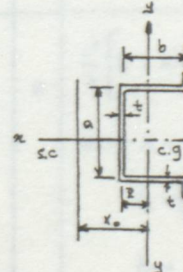
(b)



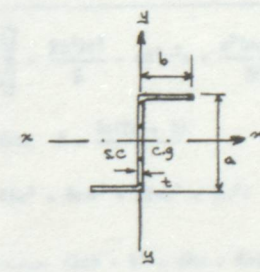
(c)



(d)



(e)



(f)

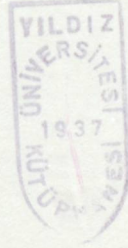
Şekil 3

Kayma merkezinin x_0 , y_0 koordinatları ve çarpılma katsayıları

Kesit	x_0	y_0	C_u
Şekil 3a	$\frac{a\sqrt{2}}{4}$	0	0
Şekil 3b	$\frac{a+c}{2\sqrt{2}} + \frac{tac^2}{3\sqrt{2}I_x}(3a-2c)$	0	$\frac{t^2a^4c^3}{18I_x}(4a+3c)$ where $I_x = \frac{t}{3}(a^3+c^3+3a^2c-3ac^2)$
Şekil 3c	$\frac{b^2}{a+2b} + \frac{3b^2}{6b+a}$	0	$\frac{ta^2b^3}{12}\left(\frac{3b+2a}{6b+a}\right)$
Şekil 3d	$\frac{bt(b+2c)}{A} + \frac{bt}{12I_x}(6ca^2+3ba^2-8c^3)$	0	$\frac{t^2}{A}\left\langle \frac{\bar{x}Aa^2}{t}\left(\frac{b^2}{3}+m^2-mb\right) + \frac{A}{3t}[m^2a^3+b^2c^2(2c+3a)] \right.$ $\left. - \frac{I_xm^2}{t}(2a+4c) + \frac{mc^2}{3}\{8b^2c+2m[2c(c-a)+b(2c-3a)]\} \right.$ $\left. + \frac{b^2a^2}{6}[(3c+b)(4c+a)-6c^2] - \frac{m^2a^4}{4} \right\rangle$
			where $A = (a+2b+2c)t$ $\bar{x} = \frac{bt(b+2c)}{A}$ $m = \frac{bt}{12I_x}(6ca^2+3ba^2-8c^3)$ $I_x = \frac{t}{12}(a^3+6ba^2+6ca^2-12ac^2+8c^3)$
Şekil 3e	$\frac{bt(b+2c)}{A} + \frac{bt}{12I_x}(6ca^2+3a^2b-8c^3)$	0	$\frac{a^2}{4}\left[I_y + \bar{x}^2A\left(1 - \frac{a^2A}{4I_x}\right)\right] + \frac{2b^2tc^3}{3} - ab^2c^2t + \frac{a^2btc^3\bar{x}A}{3I_x} - \frac{4b^2t^2c^6}{9I_x}$ where $A = (a+2b+2c)t$, $\bar{x} = \frac{bt(2c+b)}{A}$ $I_x = \left(\frac{t}{12}\right)(a^3+6ba^2+6ca^2+12ac^2+8c^3)$ $I_y = \frac{tb^2}{3(a+2b+2c)}(2ab+b^2+4bc+6ca)$
Şekil 3f	0	0	$\frac{(tb^3a^2/12)(b+2a)}{2b+a}$

KAYNAKLAR

- /1/ ÖZTÜRK, A.Zafer Prof. "Çelik Yapılar"
- /2/ UZGİDER, Erdoğan Prof.Dr. "İstanbul Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi; Meslek içi eğitim semineri notları 30 Kasım 1990"
- /3/ UZGİDER, Erdoğan Prof. Dr. "Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Taşıyıcılar İ.T.Ü. Matbaası 1990"
- /4/ TS 3357 / Nisan 1979
- /5/ A.I.S.I. "American Iron and Steel Institute" Amerikan şartnamesi, 1968 Baskısı.
- /6/ C.T.I.C.M. "Centre Technique Industriel de La Construction Metallique" Fransız şartnamesi.
- /7/ DIN 4115 Alman şartnamesi, Ağustos 1950 baskısı.



ÖZGEÇMİŞ

Bülent BİNGÖL, 1966 yılında İstanbul'da doğdu. İlk öğrenimini Kara Ahmet Paşa ilkokulunda, Orta öğrenimini Çapa orta okulu ve Şehremini lisesinde tamamladı. 1984 senesinde Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. Lisans öğrenimi boyunca özel sektör şantiyelerinde çalıştı. 1989 senesinde 5 yıl olan lisans öğrenimini tamamladı. Halen Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsün'de Lisans Üstü öğrenimi görmektedir.

