

**SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ İNCE CİDARLI C KESİT
EĞİLME ELEMANLARININ DAVRANIŞ VE DAYANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fatih GENÇ
0609021044**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Haziran 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Haziran 2008**

**Tez Danışmanı : Yard.Doç.Dr.Güven KIYMAZ
Diğer Jüri Üyeleri : Yard.Doç.Dr.Erdal COŞKUN
Yard.Doç.Dr.Cem YALÇIN (BÜ)**

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Öncelikle benim bu yıllara gelmemde katkısı bulunan Annem ve Babama sonsuz teşekkür ederim.

Yapmış olduğum Yüksek Lisans tez çalışmam süresince, bana büyük bir sabırla katlanan ve manevi desteğini esirgemeyen eşim Seda GENÇ'e, tezin ilk anlarından itibaren beni; önemli ve gerekli yönlere yönlendiren ayrıca her türlü bilgisini benden esirgemeyen tez danışmanım Yard.Doç.Dr. Güven KIYMAZ'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Haziran 2008

Fatih GENÇ

İÇİNDEKİLER	
KISALTMALAR	VI
TABLO LİSTESİ	VII
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
RESİM LİSTESİ	XII
SEMBOL LİSTESİ	XIII
ÖZET	XVI
SUMMARY	XVII
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
1.2. Konuyla İlgili Araştırmalar ve Boyutlandırma Standartları	3
2. SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ İNCE CİDARLI ELEMANLAR; GENEL BİLGİLER	7
2.1. Soğukta Şekil Verme Yöntemleri	7
2.1.1. Soğuk Haddeleme (Sürekli Şekil Verme)	7
2.1.2. Soğuk Bükme (Presle Şekil Verme)	9
2.2. Soğukta Şekil Verilerek Üretilen Profillerin Kullanım Alanları	11
2.2.1. Yapı Sistemlerinin Ana Taşıyıcı Elemanları	11
2.2.2. Çatı ve Yan Duvar Kaplamaları	12
2.3. Prefabrik Endüstri ve Konut Yapıları	15
2.4. Avantajları ve Dezavantajları	16
2.4.1. Avantajları	16
2.4.2. Dezavantajları	17
2.5. Soğukta Şekil Verme İşleminin, Malzemenin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi	18
2.5.1. Kesitin Köşe ve Düzlem Elemanları Üzerinde Etkisi	21
2.5.2. Şekil Değiştirme Sertleşmesi	22
2.5.3. Soğuk Şekil Verme İşleminin Neden Olduğu Artık Gerilmeler	24

3. İNCE CİDARLI ÇELİK ELEMANLARIN DAYANIMI VE HESAP ESASLARI	28
3.1. Giriş	28
3.2. Soğukta Şekil Verilerek Üretilen Taşıyıcı Elemanlarda Boyutlandırma Problemleri	29
3.2.1. İnce Cidarlı Basınç Elemanlarında Yerel Burkulma ve Yerel Burkulma Ötesi Yük Taşıma Kapasiteleri	29
3.2.2. Burulma Rijitliği	29
3.2.3. Birleşim Elemanları	30
3.2.4. Et Kalınlığı Kısıtlaması	30
3.2.5. Plastik Teoriye Göre Boyutlama	30
3.2.6. Enkesit Ataletinin Hesabı	31
3.3. Önemli Terimlerin Tanımı	33
3.3.1. Rijitleştirilmemiş Basınç Elamanı	33
3.3.2. Rijitleştirilmiş veya Kısmi Rijitleştirilmiş Basınç Elamanı	33
3.3.3. Çok Rijitleştirilmiş Basınç Elemanı	34
3.3.4. Düzlem Kısımın Genişliği (w)	35
3.3.5. Düzlem Genişlik / Kalınlık Oranı (w/t)	36
3.3.6. Etkili Tasarım Genişliği (b)	36
3.3.7. Kalınlık (t)	37
3.4. İnce Cidarlı Levhaların Elastik Yerel Burkulma Gerilmesi	37
3.5. İnce Cidarlı Levhaların Burkulma Ötesi Yük Taşıma Kapasitesi ve Etkin Genişlik Kavramı	41
3.6. Kenarlarından Rijitleştirilmiş C Kesitteki Gerilme Dağılımları	48
3.7. Etkili Gövde Yüksekliği	49
3.8. Kenarlarından Rijitleştirilmiş Üiform Yüklü Basınç Elemanı	50
3.9. Kenarlarından Rijitleştirilmiş C kesitlerin Gövdelerinde Delik Olma Durumundaki Tasarım Kuralları	54
4. EĞİLMEYE ÇALIŞAN ELEMANLARIN BOYUTLANDIRMA KURALLARI	56
4.1. Giriş	56
4.2. Genel Eğilme Momenti Kapasitesi Hesabı	57
4.3. Kiriş Gövdesinin Boyutlandırılması	57
4.3.1. Güçlendirilmiş Gövde Durumu	58

4.3.2. Kiriş Gövdesinin Kesme Dayanımı	60
4.4. TS 11372'e göre Kenarları rijitleştirilmiş C kesitlerin Eğilme ve Kayma Gerilmesi Hesaplama Kuralları	65
4.4.1. Etkili Enkesit Ataletinin Hesabı	65
4.4.2. Genel Eğilme Momenti Kapasitesi Hesabı	65
4.4.3. Kiriş Gövdesindeki Kayma Gerilmesi	66
5. EĞİLMEYE ÇALIŞAN İNCE CİDARLI C-KESİT ELEMANLARIN İNCELENMESİ	67
5.1. Giriş	67
5.2. Eğilme Dayanımının İncelenmesi	68
5.3. Kayma Dayanımının İncelenmesi	80
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	89
EKLER	91
ÖZGEÇMİŞ	115

KISALTMALAR

AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
TS	: Türk Standartları Enstitüsü
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
CTICM	: Metal Yapılar için Teknik Yapı Merkezi-Fransa
UCE	: Rijitleştirilmemiş Basınç Elemanı
SCE	: Rijitleştirilmiş veya Kısmi Rijitleştirilmiş Basınç Elamanı
ANK	: Ankastre olarak tutulu kenar
SER	: Serbest olan kenar
BM	: Basit Mesnetli olarak tutulu kenar

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. I_x de beklenen Hata	31
Tablo 3.2. (w/t) oranı	36
Tablo 3.3. (h/t) oranı	36
Tablo 3.4. Belirli kritik burkulma gerilmeleri için k katsayıları	42
Tablo 5.1. AISI-96'ya göre farklı levha kalınlıkları için deliksiz ve $d_o/h=0,2$ oranında delikli durumlar arasındaki Kesme Dayanımı (V_n) değişim yüzdeleri . (H=200 mm).....	67
Tablo D.1. Kullanılan Çelik Sınıfları ve Özellikleri	85

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Sürekli formda soğuk şekil verme üretim şeması.....	8
Şekil 2.2 : Presle bükme işleminin şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.3 : İnce cidarlı yapı elemanları.....	12
Şekil 2.4 : Çatı kaplaması ve döşeme panelleri.....	13
Şekil 2.5 : Kayma panellerinin yapılarda ilave yük taşıma kapasite sağlaması.....	14
Şekil 2.6 : Ortogonal çerçeveli sistemlerde oluşan kayma panelleri	15
Şekil 2.7 : Sanayi yapılarında, çatı kaplaması, döşeme sistemi ve cephe kaplaması olarak kullanılan soğukta şekil verilmiş kesitler.....	17
Şekil 2.8 : Soğukta şekil verme oranı ile malzeme çekme özelliklerinin değişimi.....	19
Şekil 2.9 : Çelik malzemenin Gerilme-Deformasyon eğrileri.....	20
Şekil 2.10 : Kalıcı plastik deformasyonu gösteren Gerilme-Deformasyon eğrisi.....	20
Şekil 2.11 : Çekme deneyi esnasında plastik şekil değiştirme ile akma sınırının artması.....	24
Şekil 2.12 : Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı bir kanal kesitin iç ve dış yüzeylerinde yapılan, boyuna artık gerilme dağılımı.....	26
Şekil 2.13 : Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı bir kanal kesitte ölçülen boyuna artık gerilmelerin ortalaması.....	27
Şekil 3.1 : Basınç elemanındaki yerel burkulmalar.....	28
Şekil 3.2 : Kesit A ve B nin boyutları.....	31
Şekil 3.3 : Değişik elemanlara ait atalet değerleri.....	32
Şekil 3.4 : Rijitleştirilmemiş basınç eleman kesitleri.....	33
Şekil 3.5 : Rijitleştirilmiş basınç eleman kesitleri.....	34
Şekil 3.6 : Çok Rijitleştirilmiş basınç eleman kesitleri.....	34
Şekil 3.7 : Rijitleştirilmemiş basınç başlığındaki düzlem kısmın genişliği..	35
Şekil 3.8 : Rijitleştirilmiş basınç başlığındaki düzlem kısmın genişliği.....	35

Şekil 3.9 : Şapka kesitli kirişin rijitleştirilmiş basınç başlığındaki yerel burkulma.....	37
Şekil 3.10 : Basınç ve Çekme elemanlarında etkili tasarım genişlikleri.....	38
Şekil 3.11 : Basınç gerilmesine maruz dikdörtgen levha.....	39
Şekil 3.12 : Basınç gerilmesine maruz kare levha.....	39
Şekil 3.13 : Düzgün dikdörtgen levha için burkulma katsayısı.....	40
Şekil 3.14 : Burkulma ötesi durum için kare levha modeli.....	41
Şekil 3.15 : Rijitleştirilmiş basınç elemanında gerilme dağılımının ardışık aşamaları.....	43
Şekil 3.16 : Rijitleştirilmiş elemandaki Burkulma-Ötesi yük taşıma kapasitesi.....	43
Şekil 3.17 : Rijitleştirilmiş basınç elemanında etkili genişlik.....	44
Şekil 3.18 : Rijitleştirilmiş basınç elemanındaki gerçek ve etkili genişlik....	48
Şekil 3.19 : Azaltma katsayısı, ρ ve Narinlik katsayısı, λ	48
Şekil 3.20 : Kenarlarından rijitleştirilmiş C kesitte oluşan 4 farklı Gerilme Dağılımı.....	49
Şekil 3.21 : Kenarlarından rijitleştirilmiş C kesitte oluşan Gerilme Dağılımı.....	49
Şekil 3.22 : C kesitli elemanın gövdesinde oluşan gerilme dağılımı.....	50
Şekil 3.23 : Kenar rijitleştirici.....	51
Şekil 3.24 : Basit kenar rijitleştiriciden başka diğer kenar rijitleştiriciler.....	51
Şekil 3.25 : Kenar rijitleştirici eleman.....	52
Şekil 3.26 : Basınç elemanı ve kenar rijitleştiricideki etkili bölgeler ve gerilmeleri.....	53
Şekil 3.27 : Kenar rijitleştiricinin tasarım kuralları.....	54
Şekil 3.28 : Gövdede delik geometrisi.....	55
Şekil 4.1 : Gövdede yapılan güçlendirme türleri.....	58
Şekil 4.2 : A_c etkili alanı için gövdede güçlendirme.....	59
Şekil 4.3 : Sonsuz uzun levhada kayma burkulması.....	61
Şekil 4.4 : Farklı sınır şartları için $k-a/h$ ilişkileri.....	62
Şekil 5.1 : AISI-96 ya göre $\lambda=0,486$ için Mn-H grafiği.....	70
Şekil 5.2 : AISI-96 ya göre $\lambda=0,668$ için Mn-H grafiği.....	71
Şekil 5.3 : AISI-96 ya göre $\lambda=0,893$ için Mn-H grafiği.....	71
Şekil 5.4 : AISI-96 ya göre $\lambda=1,117$ için Mn-H grafiği.....	72

Şekil 5.5	: AISI-96 ya göre $\lambda=1,314$ için Mn-H grafiği.....	72
Şekil 5.6	: AISI-96 ya göre 5 farklı narinlik için Mn-H grafiği.....	73
Şekil 5.7	: AISI-96 ya göre $\lambda=0,893$ için Etkili genişlikler düşünülerek ve düşünülmeden oluşan Mn-H grafiği.....	73
Şekil 5.8	: AISI-96 ya göre $\lambda=1,314$ için Etkili genişlikler düşünülerek ve düşünülmeden oluşan Mn-H grafiği.....	74
Şekil 5.9	: TS 11372 ye göre 3 farklı narinlik için Mn-H grafiği.....	74
Şekil 5.10	: $\lambda=0,486$ için AISI-96 ve TS 11372 nin karşılaştırmalı Mn-H grafiği.....	75
Şekil 5.11	: $\lambda=0,893$ için AISI-96 ve TS 11372 nin karşılaştırmalı Mn-H grafiği.....	75
Şekil 5.12	: $\lambda=1,314$ için AISI-96 ve TS 11372 nin karşılaştırmalı Mn-H grafiği.....	76
Şekil 5.13	: Beş farklı narinlik için TS 11372 nin AISI-96 ye farkının yüzdesel oranının grafiği.....	76
Şekil 5.14	: d_o/h oranlarına göre delik çaplarının sembolik gösterimi.....	77
Şekil 5.15	: AISI-96 ya göre H=100 mm için Mn- d_o/h grafiği (3 farklı narinlik için).....	77
Şekil 5.16	: AISI-96 ya göre H=200 mm için Mn- d_o/h grafiği (3 farklı narinlik için).....	77
Şekil 5.17	: AISI-96 ya göre H=300 mm için Mn- d_o/h grafiği (3 farklı narinlik için).....	78
Şekil 5.18	: AISI-96 ya göre $\lambda=0,486$ için Mn-H grafiği (4 farklı d_o/h oranı için).....	78
Şekil 5.19	: AISI-96 ya göre $\lambda=0,893$ için Mn-H grafiği (4 farklı d_o/h oranı için).....	79
Şekil 5.20	: AISI-96 ya göre $\lambda=1,314$ için Mn-H grafiği (4 farklı d_o/h oranı için).....	79
Şekil 5.21	: AISI-96 ve TS 11372 nin karşılaştırmalı Vn-H grafiği.....	83
Şekil 5.22	: AISI-96 ya göre H=100 mm için Vn- d_o/h grafiği (4 farklı et kalınlığı için, deliksiz durumda da dahil).....	83

Şekil 5.23 : AISI-96 ya göre H=200 mm için Vn-do/h grafiği (4 farklı et kalınlığı için, deliksiz durumda da dahil).....	84
Şekil 5.24 : AISI-96 ya göre H=300 mm için Vn-do/h grafiği (4 farklı et kalınlığı için, deliksiz durumda da dahil).....	84
Şekil 5.25 : AISI-96 ya göre H=100 mm için Vn-do/h grafiği (4 farklı et kalınlığı için).....	85
Şekil 5.26 : AISI-96 ya göre H=200 mm için Vn-do/h grafiği (4 farklı et kalınlığı için).....	85
Şekil 5.27 : AISI-96 ya göre H=300 mm için Vn-do/h grafiği (4 farklı et kalınlığı için).....	86
Şekil 5.28 : AISI-96 ya göre deliksiz ve 3 farklı delik çapına göre Vn-H grafliği	86

RESİM LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Resim 2.1 : Sürekli Şekil verme	8
Resim 2.2 : Sürekli Şekil verme	9
Resim 2.3 : Sürekli Şekil verme	9
Resim 2.4 : Presle Şekil verme.....	10
Resim 2.5 : Presle bükülerek şekillendirilmiş kesitler.....	11
Resim 4.1 : Mesnet bölgesinde gövdenin güçlendirilmiş hali.....	59
Resim 4.2 : Gövdenin kesme kuvveti altında burkulması.....	61

SEMBOL LİSTESİ

A_c	: Güçlendirme elemanının etkili alanı
A_s	: Güçlendirme elemanının brüt alanı
A_s, A_r	: Kenar rijitleştiricinin alanı
A_s', A_{re}	: Kenar rijitleştiricinin etkili alanı
A_g	: Gövde alanı
a	: Gövdedeki güçlendirme elemanları arasındaki mesafe
B	: Başlık genişliği
b, b_e	: Başlık için etkili tasarım genişliği
b	: Dairesel olmayan deliklerde, delik genişliği
C_1	: 2- C_2
C_2	: I_s / I_a
C_v	: Katsayı
c	: Gövdede deliksiz bölgenin yarısı
D	: Kenar rijitleştirici uzunluğu
d	: Kenar rijitleştiricinin, düzgün kısmının uzunluğu
d_s	: Kenar rijitleştiricinin, azaltılmış etkili kısmının uzunluğu
d_s'	: Kenar rijitleştiricinin, etkili kısmının uzunluğu
d_o	: Gövdedeki delik çapı
E	: Çeliğin elastisite modülü
F_y	: Akma gerilmesi (MPa)
F_u	: Kopma gerilmesi (MPa)
F_{ys}	: Kenar rijitleştiricinin akma gerilmesi (MPa)
F_{ys}	: Gövdedeki güçlendirici elemanın akma gerilmesi (MPa)
F_{ws}	: F_y ve F_{ys} den küçük olanı (MPa)
f_{pr}	: Orantılılık sınırı (MPa)
f_t	: Çekme gerilmesi (MPa)
f_{cr}	: Plakların burkulma gerilmesi (MPa)
f_{max}	: Başlıkta oluşan Maksimum gerilme (MPa)
f_1, f_2	: Gövdedeki gerilmeler (MPa)
f_3	: Kenar rijitleştiricideki gerilme (MPa)
G	: Kayma Modülü

H	: Kesit gövde derinliği
h	: Kesitin gövdesinin, düz kısmının uzunluğu
I	: Atalet momenti
I_s	: Kenar rijitleştiricinin atalet momenti
I_a	: Karşılaştırma atalet momenti
k	: Kritik burkulma katsayısı
k_a	: Levha burkulma katsayısı
k_u	: Levha burkulma katsayısı
k_v	: Kayma burkulma katsayısı
M_a	: Güvenlikli moment değeri
M_n	: Nominal moment değeri
P_n	: Nominal mesnet kuvveti
R	: İç eğrilik yarıçapı
t	: Levha kalınlığı
t_s	: Güçlendirici elemanın levha kalınlığı
S	: $1,28 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
S_e	: Kesitin etkili mukavemet momenti
V_a	: Güvenlikli kesme kuvveti
V_n	: Nominal kesme dayanımı
w	: Başlıktaki düzlem kısmın genişliği
q_s	: Kesme dayanımı azaltma katsayısı
y_{cg}	: Y ekseninde, üst kısma göre tarafsız eksenin mesafesi
ρ	: Azaltma katsayısı
λ	: Narinlik
π	: Pi sayısı
μ	: Poisson oranı (çelik için=0,3)
ε	: Deformasyon
σ	: Gerilme
σ_{em}	: Eğilme elemanları için elemanter sınır gerilmesi
σ_e	: Orantılılık sınırı (MPa)- 0,8*F _y
τ	: Kayma gerilmesi
τ_{oem}	: Kiriş gövdesinde müsaade edilen kayma gerilmesi

τ_{cr}	: Kritik kayma burkulma gerilmesi
τ_{pr}	: Kayma gerilmesi için orantılılık sınırı
τ_{cri}	: İlk kritik kayma burkulma gerilmesi
τ_y	: Kayma gerilmesi için akma noktası
Ψ	: f_2 / f_1
Ω_b	: Emniyet katsayısı
ϕ_b	: Azaltma katsayısı
θ	: Büküm açısı

ÖZET

Bu tez çalışmasında, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı ve kenarları rijitleştirilmiş C kesit elemanların eğilme ve kesme kuvveti etkisi altında davranışları ve dayanımları incelenmiştir.

Çalışma üç ana aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, ince cidarlı çelik eleman ve sistemlerle ilgili genel bilgiler verilmiştir. Bu kapsamda soğukta şekil verme yöntemleri, soğukta şekil verilerek üretilen profillerin kullanım alanları, avantaj ve dezavantajları, soğukta şekil verme işleminin malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisi gibi konular üzerinde durulmuştur. İkinci aşamada, ince cidarlı çelik elemanların dayanım ve hesap esasları, ince cidarlı levhaların farklı mesnetlenme ve yüklenme durumları (düzleminde basınç, eğilme, kesme) için elastik burkulma davranışları ve dayanımlarının hesabıyla ilgili kuramlar detaylı olarak açıklanmış, elastik burkulma sonrası levhanın etkin bir genişlikte taşıdığı ilave dayanımın hesabı anlatılmıştır. Ayrıca bu kısımda kenarları rijitleştirilmiş C kesit ince cidarlı elemanların AISI-96 ve TS 11372 standartlarına göre hesabı detaylı olarak açıklanmış, bu profillerinde gövdelerinde delik bulunması durumu için de hesap esasları tarif edilmiştir. Çalışmanın üçüncü aşamasında ise, ince cidarlı, kenarları rijitleştirilmiş C kesit elemanların eğilme ve kesme dayanımları yukarıda verilen iki ayrı standarda göre parametrik olarak incelenmiştir. Kesitlerin dayanım hesabı için bir bilgisayar programı yazılmış ve hesaplamalarda bu program kullanılmıştır. Bu program ayrıca kesit gövdesinde delik bulunması durumu için de dayanım hesabı yapabilmektedir. Parametrik çalışma kapsamında ele alınan değişken parametreler genel olarak kesit ve delik geometrisi içermekte olup detaylı açıklamalar tezin beşinci bölümünde yapılmıştır.

Sonuç itibarıyla bu tez kapsamında ele alınan ince cidarlı, kenarları rijitleştirilmiş C kesit elemanların farklı geometriler (gövde ve başlık narinlikleri, gövdede delik çapı, başlığın rijitleştirilme oranı vb.) için moment ve kesme kuvveti dayanımları standartların belirttiği limitler içinde ve dışında parametrik olarak tespit edilmiş ve bu şekilde oluşturulan eğriler üzerinden çeşitli önemli bulgulara ulaşılmıştır. Bu bulgulara beşinci ve altıncı bölümde detaylı olarak yer verilmiştir.

SUMMARY

In this study, strength and behaviour of cold formed thin walled edge stiffened C section flexural members are investigated. The study is composed of three main parts. In the first part, general information is presented on cold formed thin walled members and systems. In this context issues such as methods of cold forming, fields of use for such members, their advantages and disadvantages, the effect of cold forming on mechanical properties of the material are discussed. In the second part of the study, strength and design of thin walled steel elements are explained from a theoretical point of view. In this regard, elastic and post-elastic behavior of thin walled steel plates with various edge support conditions are presented for different loading conditions such as uniform compression, bending and shear. Effective width concept is also presented for the calculation of post-elastic strength of thin plates. Also in this second part of the study, design rules are given for cold formed thin walled edge stiffened C section flexural members per two different codes of practice namely TS 11372 and AISI-96. Rules for the design of these members with web openings are also explained. In the third part of this study, a parametric study was carried out for the edge stiffened C sections. A computer program was written for this purpose and was used for the parametric calculation of strengths. The parameters considered in the study includes mainly the section and web opening dimensions. The main objective of the thesis is to study the effect of web openings on the moment and shear resistance of edge stiffened thin walled steel C sections. Rules of two different codes of practice were used to investigate how the codes treat the problem. Sections which fall into the slenderness limits set by the codes and also outside them were considered. Findings of the parametric study is explained in the last two sections of this thesis.

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Günümüzde çelik yapı sektöründe, taşıyıcı sistemlerin oluşturulmasında kullanılan eleman tiplerini üç gruba ayırmak mümkündür. Bunlardan ilki ve en yaygın kullanılanı standart hadde profilleridir. İkincisi ise, hadde profillerinin dayanım açısından yetersiz kaldığı veya ekonomik olmadığı durumlarda tercih edilen, farklı kalınlıklardaki levhaların kaynaklı veya cıvatalı olarak birleştirilmesi ile oluşturulan yapma kesitli elemanlardır. Üçüncüsü ise; bu çalışmanın konusu olan ve gün geçtikçe uygulama sahası genişleyen, soğukta şekil verilme yöntemiyle üretilen ince cidarlı çelik elemanlardır.

Soğukta şekil verilerek üretilen çelik taşıyıcı elemanlar kullanılarak imal edilen hafif çelik yapılar konusunda bilgi ve deneyim birikimi, 20. Yüzyılın başlarında uçak endüstrisinin mümkün olduğunca hafif, fakat taşıma kapasitesi o nispette yüksek taşıyıcı elemanlara ihtiyaç duyması ile oluşmaya başlamış ve sonrasında yapılan yoğun araştırmalara paralel olarak artmıştır [1].

İnce cidarlı yapı üretim tekniği ve boyutlandırma prensipleriyle ilgili bilgi birikiminin hızlanmasına neden olan ikinci faktör, otomobil endüstrisidir. Birinci Dünya Savaşı sırasında, otomobil kaportasının ve demiryolu vagonlarının üretiminde ince cidarlı soğuk şekillendirilmiş çelik sac elemanlar kullanılmıştır.

Uçak ve otomobil endüstrisinin bu şekilde ortaya çıkardığı bilgi birikimi, soğukta şekillendirilmiş çelik taşıyıcı elemanların yapı endüstrisinde de yaygın şekilde kullanılmasına yardımcı olmuştur. Öte yandan, İkinci Dünya Savaşında ortaya çıkan malzeme darlığı, bu tekniğin daha çok gelişmesine neden olmuştur. Bu tarihten itibaren bu yapı teknolojisi hızla gelişmiş, özellikle ABD ve İngiltere’de gittikçe yaygınlaşarak kullanılmaya devam etmiştir.

Bu gelişim İngiltere'den sonra diğer Avrupa ülkelerince de izlenerek yapı endüstrisinde uygulanmıştır. Bu ülkelerdeki uygulayıcıların muhafazakar tutumu, alışkanlıkların etkisi ve bu tür yapım teknolojisinde boyutlandırma kurallarının klasik çelik yapılarından daha değişik, göz önünde bulundurulması gereken göçme mekanizmalarının daha fazla oluşu, Avrupa ülkelerinde bu yapı teknolojisinin uygulama hızını beklenenin altında tutmuştur. Ülkemizde ise bu yapı teknolojisine ilgi son yıllarda artmıştır.

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı elemanların hesap ve tasarımı ile ilgili standartlar son 30 yıl içerisinde yapılan yoğun bilimsel araştırmalar sonucunda olgunlaşmıştır. Bilimsel araştırmalar genel olarak farklı kesit tiplerinde üretilen ince cidarlı elemanların farklı zorlanma durumları (eksenel basınç, zayıf ve kuvvetli eksen eğilme durumu, eğik eğilme vb.) altında kesit dayanımlarının belirlenmesi, bu elemanları birleştirmek için kullanılan birleşim araçlarının statik ve dinamik yükler altında dayanım ve davranışlarının tespiti ile çerçeve olarak ince cidarlı elemanlardan oluşan sistemlerin davranışlarının incelenmesini kapsamıştır.

Bu tez çalışmasında, ince cidarlı kenarları rijitleştirilmiş C kesit elemanların eğilme ve kesme kuvveti etkisi altında davranışları seçilen yürürlükteki iki yönetmelik kuralları çerçevesinde parametrik olarak incelenmiştir. Ayrıca kesitin gövdesine delik açılması durumunun davranışa etkisi irdelenmiştir.

Çalışma iki ana kısımdan oluşmaktadır. Tezin üçüncü ve dördüncü bölümlerinden oluşan ilk ana kısımda ince cidarlı levhaların farklı mesnetlenme ve yüklenme durumları (düzleminde basınç, eğilme, kesme) için elastik burkulma davranışları ve dayanımlarının hesabıyla ilgili kuramlar detaylı olarak açıklanmış, elastik burkulma sonrası levhanın etkin bir genişlikte taşıdığı ilave dayanımın hesabı anlatılmıştır. Ayrıca bu kısımda kenarları rijitleştirilmiş C kesit ince cidarlı elemanların AISI-96 ve TS 11372 standartlarına göre hesabı detaylı olarak açıklanmıştır.

İkinci kısımda ise ince cidarlı kenarları rijitleştirilmiş C kesit elemanların eğilme ve kesme dayanımları yukarıda verilen iki ayrı standarda göre parametrik olarak incelenmiştir. Kesitlerin dayanım hesabı için bir bilgisayar programı yazılmış ve hesaplamalarda bu program kullanılmıştır. Bu program ayrıca kesit gövdesinde delik

bulunması durumu için de dayanım hesabı yapabilmektedir. Parametrik çalışma kapsamında ele alınan değişken parametreler genel olarak kesit ve delik geometrisi içermekte olup detaylı açıklamalar tezin beşinci bölümünde yapılmıştır.

1.2 Konuyla İlgili Araştırmalar ve Boyutlandırma Standartları

1930'larda ABD de soğukta şekil verilmiş taşıyıcı elemanların yapılarda kullanılması, çeşitli zorluklarla mümkün olmuştur. Çünkü o sırada mevcut standartlar bu elemanların boyutlandırma prensipleri konusunda hiçbir tavsiye içermemekteydiler. Öte yandan, bu taşıyıcı elemanların yük altında davranış biçimleri ve göçme mekanizmaları sıcak hadde ürünü ağır çelik taşıyıcı elemanlarındakinden oldukça farklıydı. Ayrıca, kullanılan elemanların profil şekilleri, üretim yöntemleri, birleşim araçları ve bunların yapı içinde kullanılış yöntemleri, alışılmış çelik yapınıninkinden birçok noktada farklılık göstermekteydi. Bu nedenle de, mevcut alışılmış çelik yapı standartları, bu yapı türünü kapsamamaktaydı [1].

İnce cidarlı çelik yapılar ile ilgili bir standardın hazırlanması gereği vurgulu bir şekilde ortaya çıkmıştı. Öte yandan bu standardın hazırlanmasına alt yapı teşkil edecek olan araştırma sonuçları ve uygulama tecrübesi, yeterli seviyede değildi. Bu konuda hazırlanacak bir standarda altyapı sağlayacak bilgileri üretmek amacıyla, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik taşıyıcı elemanların, çeşitli yükleme hallerinde davranışlarını incelemek üzere; AISI (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü) tarafından, Cornell Üniversitesi'ne 1939'dan itibaren sürekli araştırma fonları sağlanmıştır. Daha sonra bu tür araştırma projeleri AISI tarafından diğer ABD üniversitelerine de sağlanarak, üretilen araştırma sonuçlarının kapsamı genişletilmiştir. AISI tarafından yapılan araştırmalar, 1939'dan yakın geçmişe kadar George WINTER'in başkanlığında ağırlıklı olarak Cornell Üniversitesinde sürdürülmüştür. George WINTER'in ölümünden sonra bu araştırmalar aynı hızla Teoman PEKÖZ tarafından yine Cornell Üniversitesinde, Wei-Wen YU tarafından da Missouri Üniversitesinde sürdürülmektedir [1].

Cornell üniversitesinde yapılan çalışmalara ilaveten ABD'de, soğukta şekil verilmiş çelik elemanlar, birleşim detayları ve yapısal sistemleri üzerine, çeşitli üniversite ve özel firma tarafından da çok sayıda araştırma projesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu

proje çalışmalarından elde edilen bulgular kullanılarak ilk defa 1946 yılında AISI tarafından “*Specification for the Design of Light Gage Steel Structural Members*” isimli standardın birinci baskısı çıkarılmıştır. Daha sonra 1956, 1960, 1968, 1980 , 1986 ve en son olarak da 1996 yılında, teknolojik gelişmeler ve tamamlanmış olan araştırmalardan elde edilen yeni bulgular doğrultusunda genişletilerek yeniden basılmıştır. Yeniden düzenlenen bu standart “*Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*” olarak isimlendirilmiştir [3].

1990 yılında Missouri-Rolla üniversitesinde soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik yapılar için Wei-Wen YU isimli bir merkez kurulmuştur. Bu merkezde; teknik servisler, eğitim ve kişisel aktivitelerin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

Diğer ülkelerde, soğukta şekil verilmiş elemanlar ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları üniversiteler ve çeşitli kuruluşlar tarafından son 30 yıl içerisinde hızlı bir şekilde ilerletildi. Bu konuda; Avustralya, Yeni Zelanda, Avusturya, Kanada, Çekoslovakya, Finlandiya, Fransa, Hindistan, Japonya, Hollanda, Çin Halk Cumhuriyeti, Güney Afrika, İsviçre, Romanya, Türkiye, İngiltere, Almanya, Rusya ve daha birçok ülke kendi ulusal standartlarını hazırlamışlardır. Bu standartların bazı boyutlama kuralları AISI standardına dayanmakla birlikte, her ülke kendi ekonomik ve teknolojik özelliklerini göz önünde tutarak, çeşitli araştırmalar yapmak suretiyle ulusal standartlarına altyapı teşkil eden bilgi birikimini oluşturmuşlardır. Örneğin İngiltere de; Bristol, Cambridge, London Cardiff, Oxford, Southampton, Liverpool ve Swansea üniversitelerinde 1949 yılından beri bu konuda çeşitli araştırma projeleri yürütülmüştür. Bu sayede, 1958 yılında ilk İngiliz Standardı, İngiliz Standartları Enstitüsü (British Standards Institution) tarafından “*Specification for the Use of Cold-Formed Steel Sections in Buildings*”, BS 449” adı altında yayımlanmıştır [1].

Benzer şekilde, Kanada da; Mc Master, Waterloo, Alberta, Windsor üniversiteleri başta olmak üzere, birçok üniversitede yürütülmüş araştırma projelerinin sağladığı bilgi birikimi, bu konudaki ilk Kanada Standardının 1963 yılında Kanada Standartlar Birliği (Canadian Standards Association) tarafından yayımlanmasına ve daha sonra bu standardın revizyonlar görecelik gelişmesine olanak sağlamıştır [1].

Ayrıca 2001’de de CEN (European Committee for Standardization) tarafından EC3-Bölüm 1.3- “Soğukta Şekil verilmiş ince cidarlı elemanların ve levhaların hesap kuralları” [18] standardı son düzenlemeleriyle yayımlanmıştır.

Ülkemizde konuyla ilgili 1994 yılında TS 11372 numaralı “Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil verilmiş Profillerle Oluşturulan-Hesap Kuralları” ismi altında bir standart yayımlanmıştır. Yayımlanan bu standardın hazırlanmasında yararlanılan kaynaklar arasında en yeni referans çalışmasının 1986 yılına ait olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca şartnamenin ağırlıklı olarak kullandığı, AISI’nın 1968 baskısı (Bu standart günümüze kadar 3 kere değişikliğe uğramıştır.) ve CTICM’nin 1978 baskısıdır. Söz konusu mevcut şartnamenin günümüz güncel şartnameleri ışığında yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

İnce cidarlı çelik eleman ve sistemleri ile ilgili literatürde yer alan araştırma çalışmaları aşağıda verilen konu başlıklarının kapsamaktadır.

- Düzlem levha elemanlarının burkulma sonrası davranışları incelenmiştir.
- Soğukta şekil verme yönteminin malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.
- Eğilme ve aksenal basınç elemanları incelenmiştir.
- Şekil verilirken oluşan köşelerin malzemenin dayanımına etkisi incelenmiştir.
- Basınç etkisi altındaki ince levhaların etkili genişlik değerleri incelenmiştir.
- Soğukta şekil verilmiş kalın çelik elemanlarının yapısal davranışları incelenmiştir.
- Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı elemanların yerel ve tümsel burkulma davranışları incelenmiştir.
- Kenarından rijitleştirilmiş elemanların eğilme, yanal burkulma, basınç ve burkulma sonrası davranışları incelenmiştir.
- Kalın çelik levhaların soğuk şekil verme sırasında oluşan artık gerilmeleri incelenmiştir.
- Merkezi ve eksantrik yükleme altındaki soğukta şekil verilmiş ince cidarlı C kesitinde oluşan Euler burulma modları ile yerel burkulma modları incelenmiştir.

- Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik yapılarda kullanılan birleşimlerin lineer olmayan davranışları incelenmiştir.
- İmalat, taşıma ve istifleme vb. işlemler sırasında oluşan geometrik bozuklukların ve artık gerilmelerin soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik elemanların davranışlarına etkisi incelenmiştir.
- Köşe bölgelerin eğrilik yarıçapının, soğukta şekil verilmiş çelik kesitlerin yerel burkulma davranışı üzerine etkileri incelenmiştir.

2. BÖLÜM

SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ İNCE CİDARLI ELEMENLAR; GENEL BİLGİLER

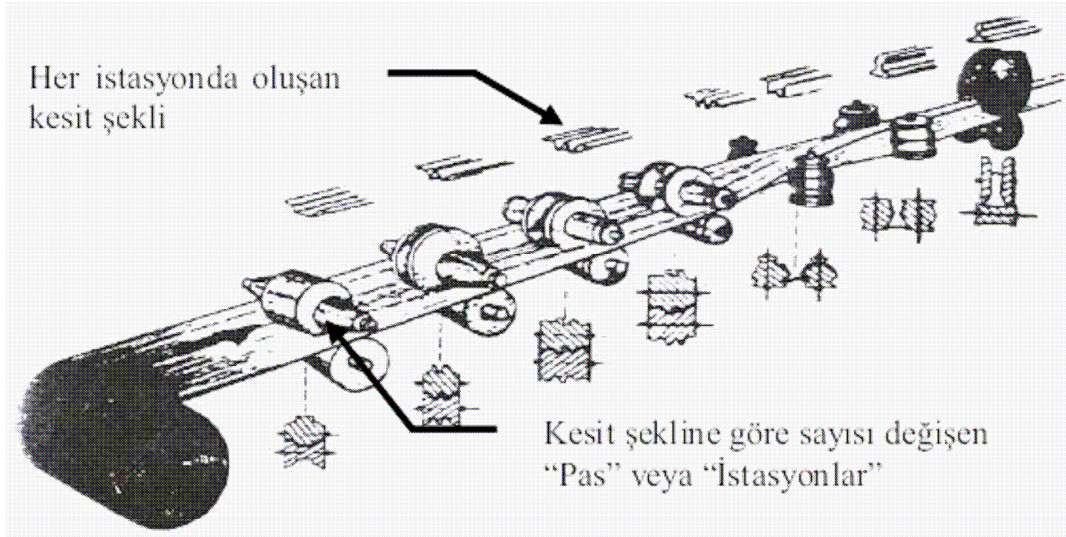
2.1 Soğukta Şekil Verme Yöntemleri

İnce cidarlı çelik yapı elemanlarında soğuk şekillendirme iki yöntemle yapılmaktadır;

2.1.1 Soğuk Haddeme (Sürekli Şekil Verme)

Bu yöntemde en az iki veya daha fazla disk serisinin bulunduğu “**Rolling Machines**” olarak isimlendirilen hadde makineleri kullanılır. Seri ve toplu imalatlar için avantajlıdır. Şekil 2.3’de gösterildiği gibi çelik yapı taşıyıcı eleman kesit tiplerinin üretiminde ve Şekil 2.7’de gösterildiği gibi çatı, döşeme, duvar panelleri ve oluklu levhaların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kapı ve pencere çerçeveleri, su kanalları, yağmur suyu olukları, borular, tarımsal araçlar, kamyonlar, römorklar, konteynırlar, tren vagonları ve yük vagonları, ev aletleri ve birçok ürün parçalarının imalatında kullanılmaktadır” [3].

Bu yöntemde, şerit halinde makineye sokulan saç eleman küçük adımlarla değiştirilir ve son adımda istenilen kesit şekli elde edilerek şekillendirme işlemi sonlandırılır (Şekil 2.1). Bu adımların her birisine “**Pas**” veya “**İstasyon**” denilir. Şekillendirme işleminde kullanılan silindirlerin yerleşimi ve gerekli istasyon sayısı elde edilmek istenilen kesit şekline bağlıdır. Üretilmek istenilen kesit şekli ne kadar karmaşıksa gerekli istasyon sayısı da o kadar fazladır [2].

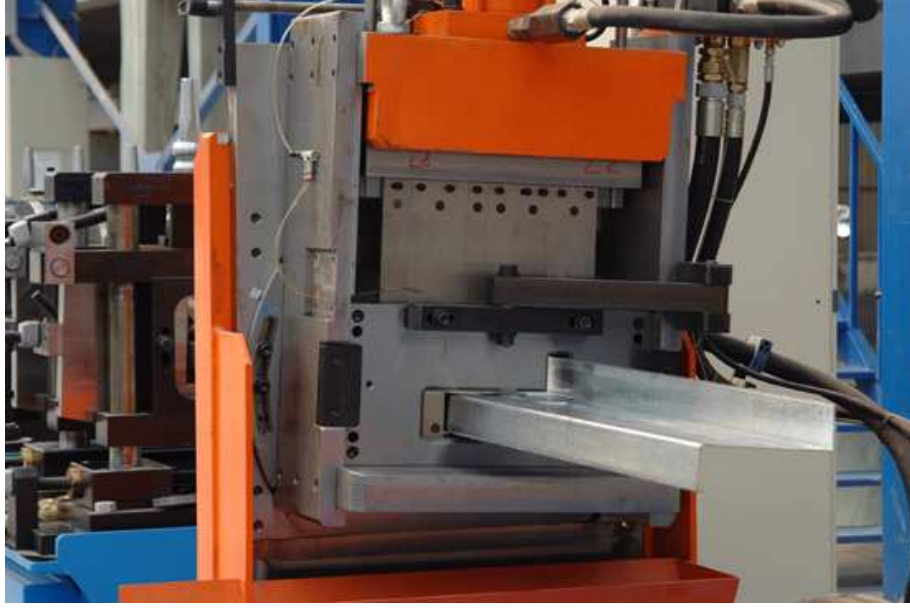


Şekil 2.1 Sürekli formda soğuk şekil verme üretim şeması [12]



Resim 2.1 [20]

Bükme aşamasında soğuk şekil verme hızı 6 ile 92 m/dak. arasında değişir. Bu işlemin normal hızı 23 m/dak ile 92 m/dak arasındadır. Bitiş ucunda, tamamlanmış olan kesiti makineyi durdurmaksızın otomatik olarak, gerekli uzunluklarda kesilir. Maksimum kesme boyu genellikle 6 m ve 12 m dir. Bu yöntemle 0,2 mm ile 19 mm arasındaki kalınlıklara sahip levhalar başarı ile bükülebilmektedir [2].



Resim 2.2 [20]

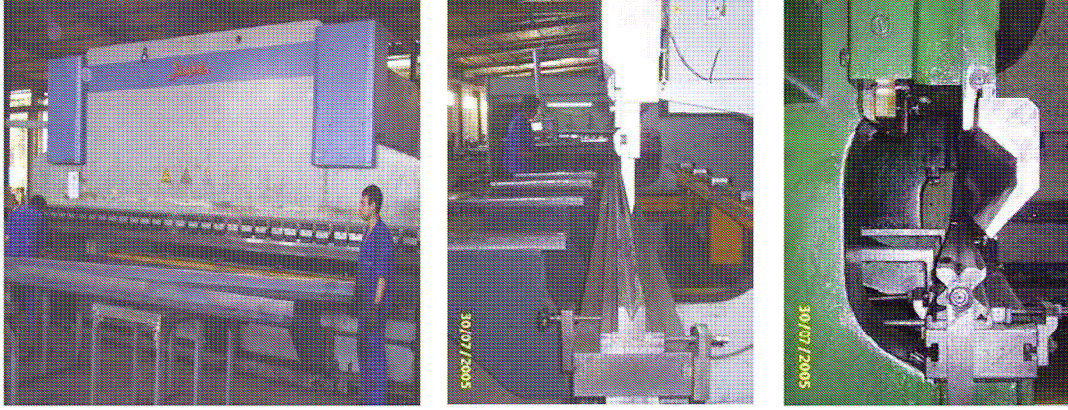


Resim 2.3 [20]

2.1.2 Soğuk Bükme (Presle Şekil Verme)

Presle bükerek soğuk şekil verme işlemi, bir baskı (zımbalama) tezgahı, kalıplar ve bazı yardımcı aparatların gerektiği, kısıtlı üretim kapasiteli manuel kontrol edilen, eğme-bükme işlemidir .

Presle bükme işleminde kullanılan ekipman, hareket edebilen bir üst kiriş ve istenilen kesit şeklini elde edebilmek için kullanılacak olan kalıpların yerleştirilebilmesi için hazırlanmış bir sabit alt ayaktan oluşur (Resim 2.4).



Resim 2.4 [12]

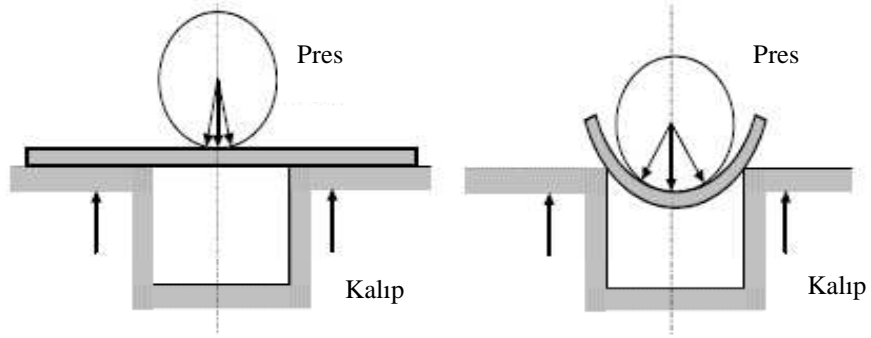
Bu yöntem daha ziyade kısa boydaki elemanların üretiminde kullanılır, (eleman boyları kullanılan baskı makinesinin ağız genişliğine bağlı olmakla birlikte genellikle 3,0 m' dir.). Kesit şeklinde var olan her köşe bir pres darbesiyle oluşturulur.

Bu yöntem aşağıdaki durumlarda kullanılabilir [2];

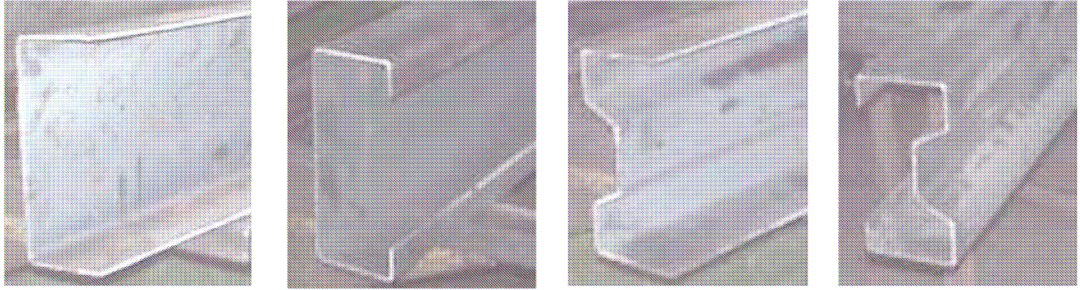
- a) Üretilecek kesit basit bir şekle sahipse,
- b) Üretilecek olan kesit nispeten geniş ise,
- c) Gerekli üretim hızı sabit ve 91,5 m/dak dan daha düşükse

Presle bükülmüş bir kesiti köşeleri, hem açık hem de açılı olabilir. Açılı olarak presle bükme işleminde baskı presi ve kalıp birlikte köşe bölgesinde arzu edilen şekli oluşturur [6].

Bükme işlemi merkezden dışa doğru gelişir. Eğrilik (kavis) köşe boyunca sabit değildir. Köşenin orta noktasında eğrilik en büyüktür, (Şekil 2.2). Eğilmenin olduğu noktada, iç yüzey üzerinde önemli bir basınç etkisi meydana gelir [6].



Şekil 2.2 Presle bükme işleminin şematik gösterimi [12]



Resim 2.5 Presle bükülerek şekillendirilmiş kesit tipleri [12]

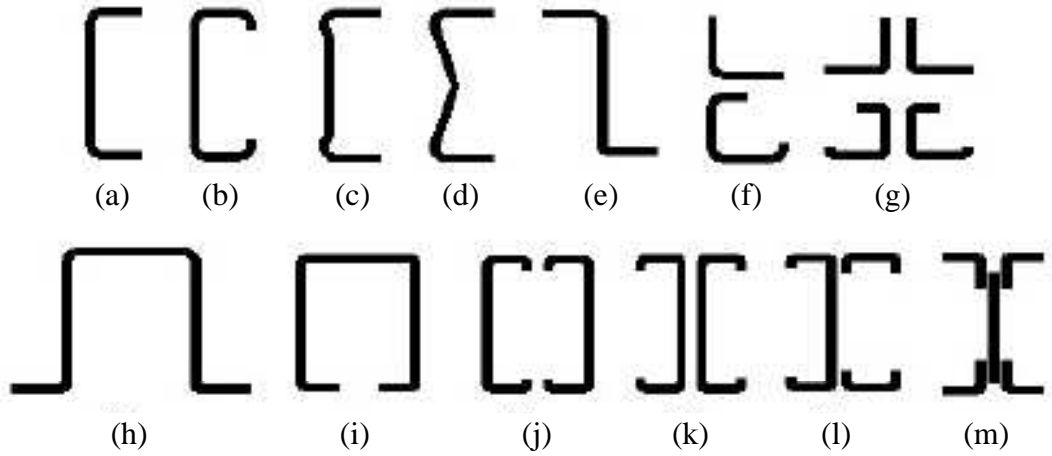
2.2 Soğukta Şekil Verilerek Üretilen Profillerin Kullanım Alanları

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik elemanlar kullanım amacına uygun iki ana grupta incelenebilir:

- Yapı sistemlerinin ana taşıyıcı elemanları
- Çatı ve yan duvar kaplamaları

2.2.1 Yapı Sistemlerinin Ana Taşıyıcı Elemanları

Şekil 2.3'de yapıların ana taşıyıcı sistemlerinde kullanılan soğukta şekil verilmiş ince cidarlı kesitler görülmektedir. Bu kesit tipleri arasında en çok kullanılanlar U(a), C(b), M (c,d) ve Şapka (h) kesitlerdir.



Şekil 2.3 İnce cidarlı yapı elemanları

Genel olarak, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı ana taşıyıcı elemanların yüksekliği, 50 mm ile 300 mm arasında; et kalınlıkları ise 2 mm ile 6 mm arasında değişmektedir.

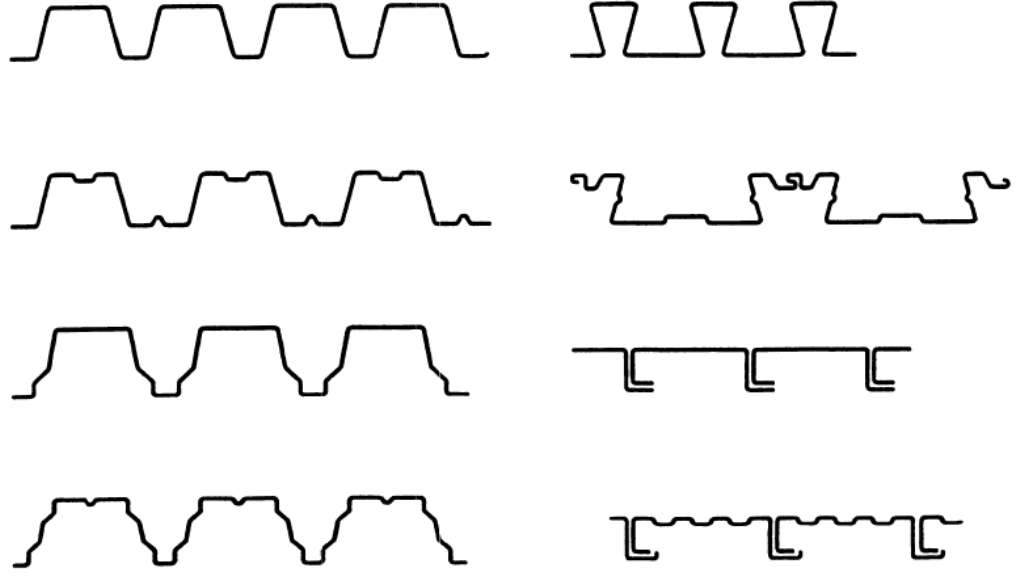
2.2.2 Çatı ve Yan Duvar Kaplamaları

Çatı ve yan duvar kaplaması olarak kullanılan taşıyıcı elemanlar iki amaçla kullanılırlar [2];

a) Çatı kaplaması veya yan duvar kaplaması olarak aşık veya kuşaklar arasında, düzlemlerine dik etkiyen rüzgar veya kar yükü ve ölü yükleri; taşımak ve ayrıca yapının içini dış ortamdaki ayırmak .

Bunlar 0,3 mm den 1,20 mm ye kadar değişen kalınlıklarda alüminyum alaşım malzemeden; galvanizlenmiş veya darbeye dayanıklı fırın boyayla boyanmış çelik malzemeden Şekil 2.4 de görülen enkesit şekillerinde üretilirler. Ülkemizde bu elemanların belirli enkesit şekilleri için üretimi vardır.

b) Çatı ve yan duvar paneli olarak kendi düzlemleri içinde kesme kuvveti taşıyarak yan duvar çaprazı veya çatı düzlemi çaprazı görevini görürler (Şekil 2.5-a). Böyle bir yük taşıma kapasitesine sahip olabilmeleri için; yan duvar veya çatı düzlemi



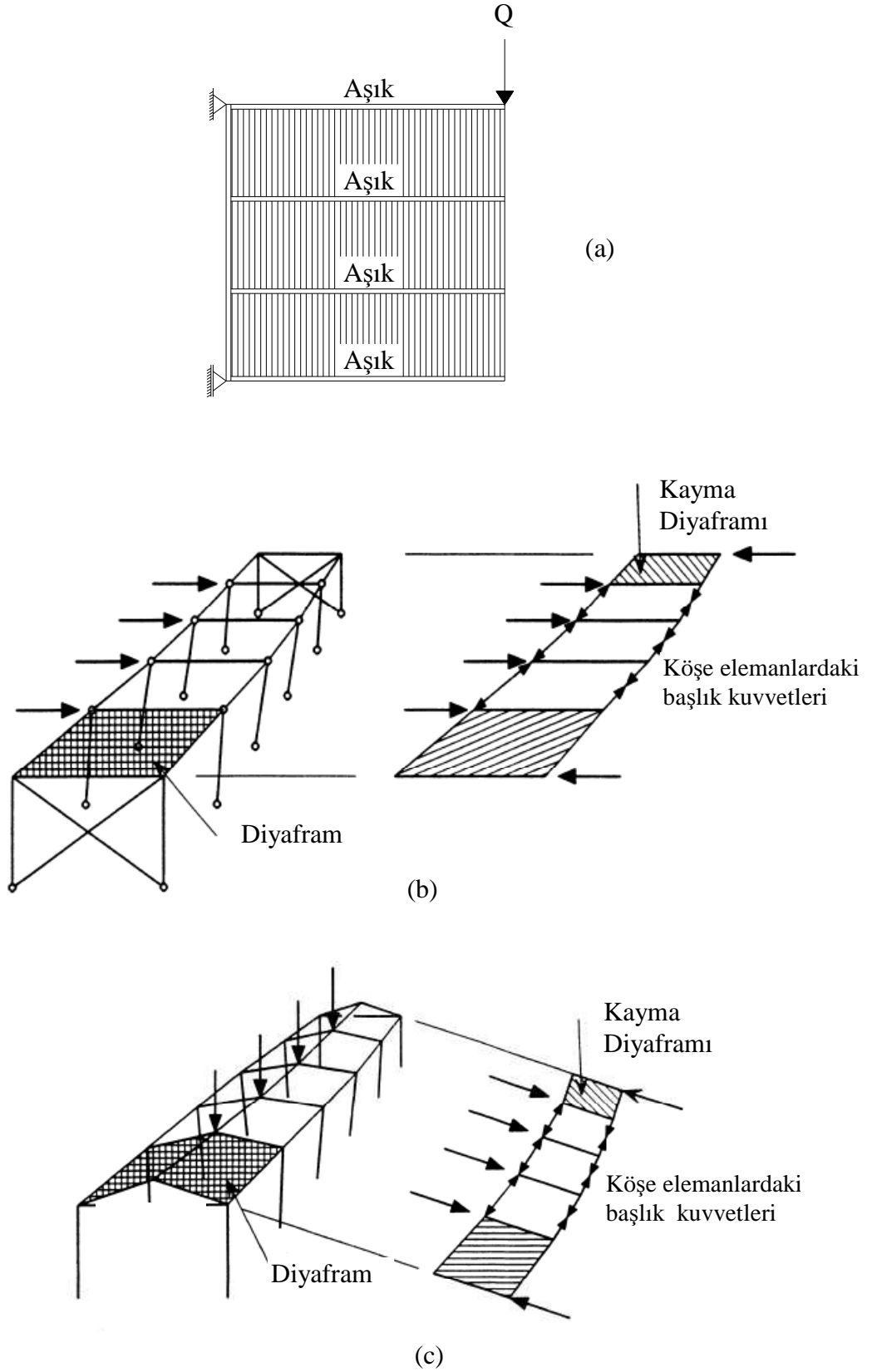
Şekil 2.4 Çatı kaplaması ve döşeme panelleri

aşıklarıyla, ana taşıyıcı çerçeve üst başlığına kesme kuvveti taşıma kapasitesine olan özel saç vidalarıyla bağlanmaları gerekir.

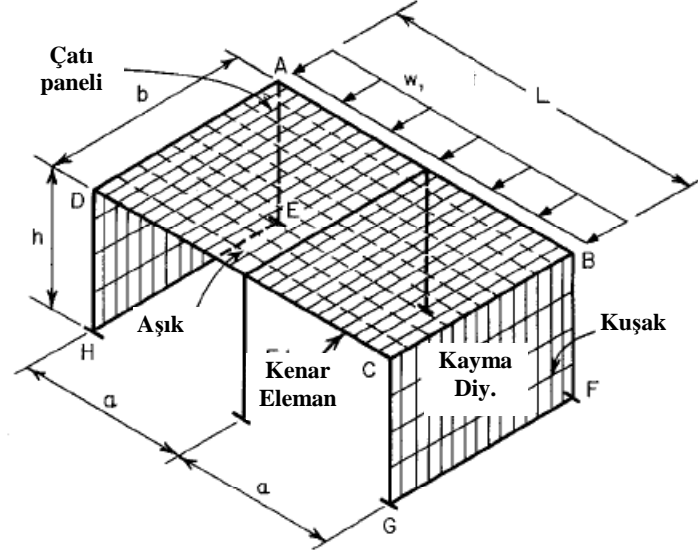
Şekil 2.5-b'de bu tür çatı panellerinin, ortogonal çerçeve sisteminden oluşan bir yapıda; yanal yüklerin etkisinde çerçeve sisteminin birbirinden bağımsız çalışması yerine; kalkan duvar kayma panellerini mesnet gibi kullanarak çerçevelerin bir bütün şeklinde çalışmasını sağlayıp optimum yük taşıma mekanizması sağlayışı görülmektedir.

Şekil 2.5-c'de kırıklı kirişli çerçeve sisteminde yatay ve düşey yüklerin etkisinde aynı mekanizmanın oluşumu görülmektedir.

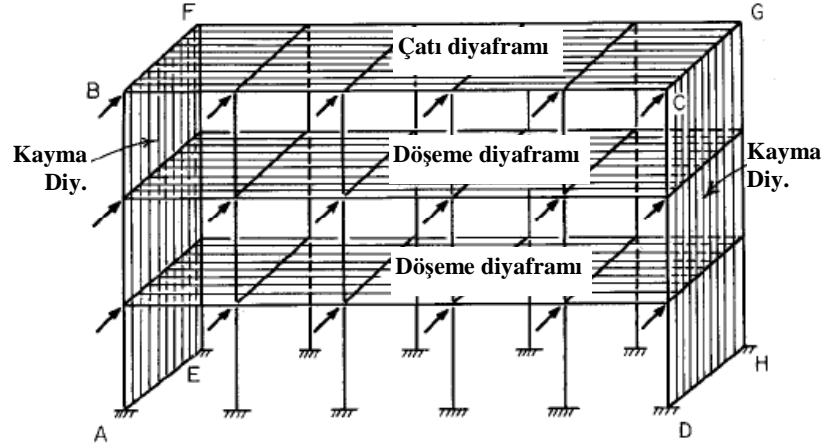
Şekil 2.6-a ve 2.6-b'de tek ve çok katlı ortogonal çerçeve sistemli yapılarda, kayma panellerinin yatay yükler altında düşey ve yatay çapraz sistemi yerine kullanılışı görülmektedir.



Şekil 2.5 Kayma panellerinin yapılarda ilave yük taşıma kapasite sağlaması [18]



(a)



(b)

Şekil 2.6 Ortogonal çerçeveli sistemlerde oluşan kayma panelleri [2]

2.3 Prefabrik Endüstri ve Konut Yapıları

Giriş bölümünde sözü edilen özellikleri nedeniyle soğukta şekil verilmiş çelik taşıyıcı elemanların oluşturduğu yapılar, doğal olarak prefabrik özelliindedir. Yapıyı oluşturan, taşıyıcı özellikteki elemanlarla, birinci derecede taşıyıcı özelliği olmayan detay parçaları ve kaplama elemanları, önceden imal edilip koruyucu ve dekoratif özellikteki boyalarla boyandıktan sonra, yapı yerinde monte edilirler. Hafif olmaları nedeniyle, hem stoklama ve hem de nakliye açısından oldukça elverişlidirler [2].

Bu yüzden soğukta şekil verilmiş elemanların oluşturduğu yapılar şu üstünlüklere sahiptir.

- a) fabrika koşullarında üretilen elemanlardan oluşturulduklarından bu yapılar; hem detayları ve hem de görünüşü itibariyle mimari projesinde tasarlanmış olan özelliklere tam olarak uyacak şekilde imal edilebilirler.
- b) Kısa sürede monte edilebilirler.
- c) Bakım masrafları düşüktür.
- d) Tadil ve tevsi edilmeleri çok kolaydır.
- e) Sökülüp, tekrar monte edilme özellikleri vardır.
- f) Çok sayıda imal edilip stoklanmaları mümkündür.
- g) Afet evleri, sosyal konut, çiftlik yapıları ve depolar için çok uygun ve ekonomiktir.

Prefabrik yapı, uygulama açısından, iki grupta inceleyebiliriz.

- Panelize sistemler
- Modüler sistemler

Panelize sistemlerde; düz duvar panelleri, döşeme ve çatı elemanları fabrika ortamında imal edildikten sonra, şantiye sahasına taşınır ve yerine monte edilir.

Modüler sistemlerde ise; üç boyutlu yapı birimleri fabrikada imal edilir, inşaat sahasına taşınır, vinçlerle yerine kaldırılır ve kaynak, perçin, cıvata vb. birleşim elemanları kullanılarak monte edilir.

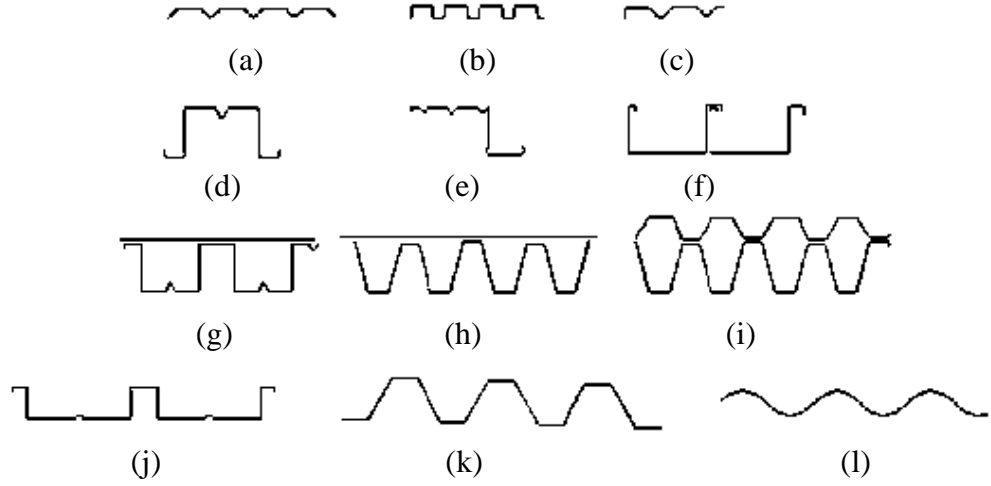
2.4 Avantajları ve Dezavantajları

2.4.1 Avantajları

Genel olarak soğukta şekil verilmiş ince cidarlı taşıyıcı elemanların yapı tekniğinde sağladığı yararlar şöyle sıralanabilir [2].

- a) Sıcak hadde profillerine oranla, orta büyüklükte açıklıklar ve orta şiddette dış yükler için çok daha ekonomik boyutlamaya olanak sağlar.

- b) *Yük taşıma kapasitesi / Ağırlık oranı* oldukça yüksek, optimum kesit şekillerinin ekonomik ve süratli olarak üretilmesi, soğukta şekil verilerek mümkün olmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Sanayi yapılarında, çatı kaplaması, döşeme sistemi ve cephe kaplaması olarak kullanılan soğukta şekil verilmiş kesitler [12]

- c) Yüksek kapasitede süratli bir yapı üretimi olanağı sağlar. Yapı sistemlerinin montaja hazır biçimde çok sayıda üretilip stoklanması mümkündür.
- d) Yapı elemanlarının hafif oluşu, bunların stok mahallinden monte edilecek bölgeye taşınmalarının ekonomik ve süratli bir şekilde gerçekleştirilebilmelerine olanak sağlar.
- e) Hızlı ve ucuz montaja olanak verir. Yapının imalatı, hava koşullarından etkilenmez.
- f) Yapı elemanları prefabrik olarak imal edileceklerinden üniform kalite sağlayabilmektedir.
- g) Hem mimari detayların çözümü kolaylaştıran ve hem de optimum taşıma kapasitesi sağlayan kesit şekillerini kolayca üretmek mümkündür.

2.4.2 Dezavantajları

- a) Büyük açıklıklar ve büyük yükler altında ekonomik sonuçlar elde edilmez.
- b) Üretilebilecek kat sayısı sınırlıdır.
- c) Eğer malzeme üzerinde uygulanan şekil verme işleminin birkaç kademede

yapılması gerekliyse, her defasında Şekil verme işlemi iÇin gerekli olan kuvvetin artırılması gerekir.

- d) Şekil verme işleminde arka arkaya yapılan işlem sayısı sınırlıdır. BirkaÇ iŐlemden sonra malzeme iŐzerinde biiyik zorlamalar meydana gelebilir ve bu da malzemede kırılma ve Őatlamalara sebep verebilir.

2.5 Soğukta Şekil Verme işleminin, Malzemenin Mekanik iŐzellikleri iŐzerine Etkisi

Soğukta Şekil verme işlemi sırasında kullanılan yiŐntemler, Çelik malzemenin mekanik iŐzellikleri iŐzerinde bazı deĐiŐiklikler meydana getirir.

Soğukta Şekil verme işleminin biiyikliğii ve Őiddeti, iŐnemli iŐlŐiide yapılan soğuk Şekil vermenin yayılıŐına bağlıdır. Ayrıca, soğuk işleminin etkilerinin biiyikliğii, kullanılan Çelik malzemenin tiiroi, ŐeliĐin iŐretim yiŐntemi ve kimyasal kompozisyonu ile ve kuvvetle değişim giiğsterir [7].

Soğukta Şekil verme işlemi, eleman ekseninin enine ve boyuna doğrultuda plastik Şekil değiştirmeler meydana getirir.

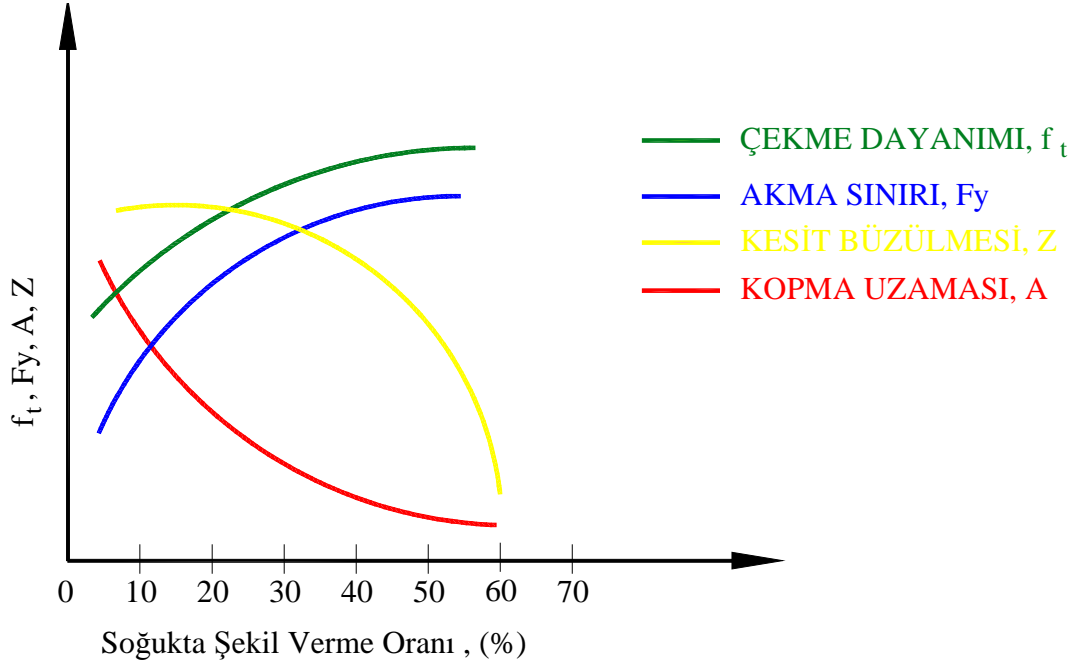
Soğukta Şekil verme işlemi genelde Çelik malzemenin akma dayanımını ve Çekme dayanımını artırırken siiiikliği azaltır ve malzeme daha gevrek bir hal alır.

Soğukta Şekil verme miktarının artışı ile birlikte, Çelik malzemenin dayanım ve siiielik parametrelerinin değişimi Şekil 2.8’de Şematik olarak verilmiştir.

Soğukta Şekil verilmiş Çelik taşıyıcı elemanların yik taşıma kapasiteleri, elastik yerel burkulma veya tiiysel burkulmanın kritik olduğu haller dışında, kullanılan malzemenin akma sınır gerilmesine bağlıdır.

Genel olarak soğukta Şekil verilmiş elemanların iŐretiminde kullanılan Çelik malzeme iÇin Şekil 2.9’de giiroiildiğii gibi iki tip gerilme-deformasyon eğrisi siiiz konusudur. Bunlardan birincisi, Şekil 2.9-a’da giiroiildiğii gibi ani akma iŐzelliĐi

sergilenmektedir. İkincisi ise Şekil 2.9-b’de görüldüğü gibi yüklemenin başlangıcından itibaren tedrici akma sergilenmektedir. Sıcakta haddeleme suretiyle

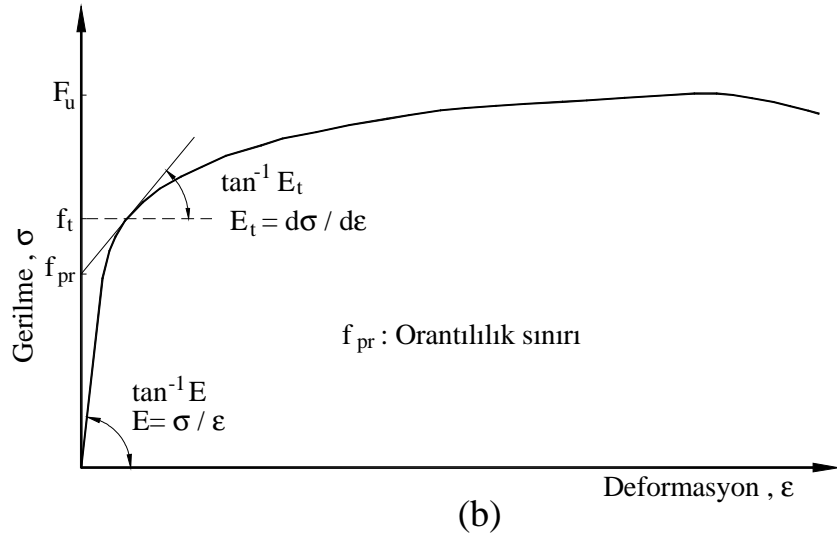
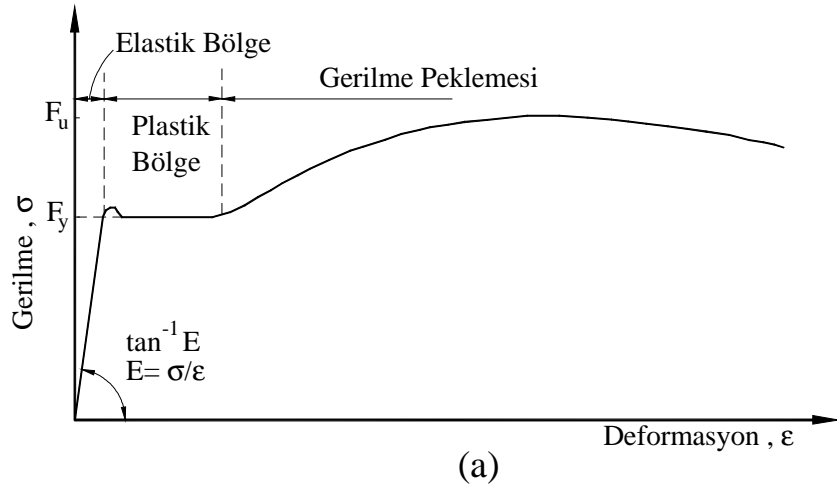


Şekil 2.8 Soğukta şekil verme oranı ile malzeme çekme özelliklerinin değişimi [3]

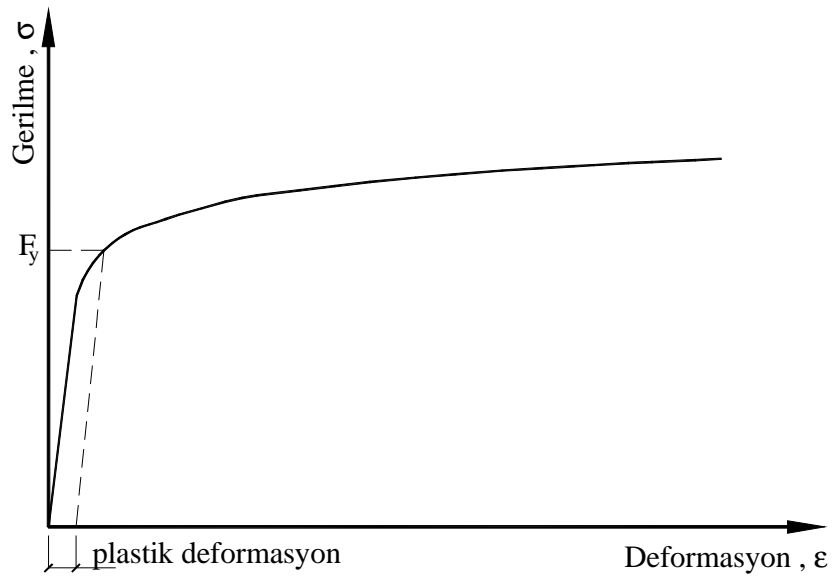
üretilen çelik malzeme, Şekil 2.9-a ‘da görüldüğü gibi ani akma özelliği gösterir. Bu tip çelik malzemede akma sınırı, gerilme-deformasyon eğrisinin yatay hale geldiği gerilme seviyesi ile tanımlanır. Öte yandan, soğukta haddeleme şeklinde üretilen çelik malzemede ise, Şekil 2.9-b ‘de görüldüğü gibi gerilme-deformasyon eğrisinin tedrici akma özelliği gösterdiğinden akma sınırı “Kalıcı Plastik Deformasyon” yöntemiyle saptanır [1].

Bu yöntemde akma gerilmesi, %0,2 değerindeki kalıcı plastik deformasyonu ϵ ekseninde temsil edilen noktadan, Şekil 2.10’de görüldüğü gibi, gerilme-deformasyon eğrisinin başlangıçta sahip olduğu doğrusal kısma çizilen paralelin eğriyi kestiği nokta ile tanımlanır.

TS 2162 [17]’nin kapsamına giren çelik cinsleri, sıcakta haddeleme ile üretilmiş çelik malzeme için geçerli olduğundan Şekil 2.9-a’da görüldüğü gibi ani akma özelliği gösteren bir gerilme deformasyon eğrisine sahiptir.



Şekil 2.9 Çelik malzemenin Gerilme-Deformasyon eğrileri [2]



Şekil 2.10 Kalıcı plastik deformasyonu gösteren Gerilme-Deformasyon eğrisi [2]

2.5.1 Kesitin Köşe ve Düzlem Elemanları Üzerinde Etkisi

Kullanılan soğuk şekil verme yöntemleri, çelik malzemenin mekanik özellikleri üzerinde etkilidir. Özellikle kesitlerin köşe bölgelerinin mekanik özelliklerinde, uygulanan soğuk şekil verme işleminden sonra önemli değişimler meydana gelir. Bunun nedeni, kesitin köşelerinin, düzlem kısımlarından çok yüksek oranda soğuk şekillendirme işlemine tabi tutulmasıdır [6]. Bu nedenle, yükleme altında, kesitte burkulma veya akma davranışı, ilk olarak soğuk şekil verme işleminden sonra malzemenin akma dayanımının daha küçük olduğu düzlem kısımlarında başlar. Bu andan itibaren kesite uygulanan herhangi bir ilave yük kesitin köşelerine doğru dağılır [2].

Soğukta şekil verilmiş kesitlerin düzlem kısımlarından alınan numunelerin “Gerilme-Şekil değiştirme” eğrilerinde çelik malzemenin türüne bağlı olarak akma platosu meydana gelirken, köşe kıvrımları üzerinden alınan numunelerin “ Gerilme-Şekil değiştirme” eğrilerinde ise böyle bir akma platosu oluşmadığı gözlemlenmiştir [8].

Soğukta şekil verme işleminden dolayı kesitte büyük deformasyonlar meydana gelir. Kesitin düzlem kısımlarında meydana gelen bu deformasyonlar “elastik” seviyelerdedir, köşe bölgelerinde oluşan deformasyonlar ise genel olarak “plastik” tir. Soğukta şekil verme işlemi tamamlanır, uygulanan yük kaldırılır ve kesit serbest bırakılır ise, kesitin düzlem kısımlarındaki elastik şekil değiştirmeler, köşe bölgelerdeki plastik deformasyonların varlığından dolayı tamamıyla geri dönüşüm yapamaz [9].

Köşelerde oluşan büyük plastik deformasyonlar, köşelerin düzlem kısımlarla birleşim yerlerine kadar ulaşmazlar. Örneğin, eksantrik preste kıvrılmış kanal kesitlerde, köşelerde meydana gelen plastik şekil değiştirmelerin etkisinin köşe orta noktasından kenarlara en fazla kesit kalınlığı kadar yayılabildiği gözlemlenmiştir [8].

Soğuk şekil verme yöntemleri, eleman ekseninin enine ve boyuna doğrultusunda plastik şekil değiştirmeler meydana getirir. Soğuk işlenmiş bir elemanın kesiti boyunca değişik yerlerden kesilen çekme numuneleri üzerinde yapılan çekme testleri, kesitin köşe bölgelerinde meydana gelen akma dayanımı artışının, düzlem

kısımları boyunca meydana gelen akma dayanımı artışından daha büyük olduğu gösterilmiştir [7].

Karren ve Winter tarafından yapılan deneysel çalışmalar neticesinde soğuk şekil verilmiş kesitlerin köşelerinin akma dayanımlarının, işlenmemiş malzemenin akma dayanımına göre %100 artış gösterdiği, bunun yanında köşelerin çekme dayanımlarının işlenmemiş malzemenin çekme dayanımına göre %47 artış gösterdiği gözlemlenmiştir .

Keza, kesitin köşe bölgesinde, soğuk işlem miktarındaki artışla birlikte uzama % si hızlı bir şekilde düşer. Uzamadaki azalma, işlenmemiş malzemenin uzama yüzdesi ile kıyaslandığında %20 ile %90 arasında değişmektedir [8].

Soğukta şekil verme işleminin, kesit köşe elemanlarının mekanik özellikleri üzerindeki etkileri genellikle aşağıdaki etkenlere bağlıdır [2].

1. Çelik Malzemenin türüne,
2. Uygulanan gerilmenin türüne (basınç veya çekme gerilmesi),
3. Soğuk şekil verme işleminin yönüne göre gerilmenin yönü (enine veya boyuna),
4. F_u / F_y oranına,
5. İç eğrilik yarı çapınının / et kalınlığına oranına (R/t)
6. Soğukta şekil verme miktarına

Küçük (R/t) oranları, bir köşe elemanında büyük miktarda soğuk işleme karşılık gelir ve bu nedenle, daha küçük (R/t) oranlarında, malzemenin akma noktasında daha büyük artışlar meydana gelir.

2.5.2 Şekil Değiştirme Sertleşmesi

Malzemeye akma sınırının üstünde bir gerilme uygulanarak sertliğini artırma olayına “*Şekil Değiştirme Sertliği*” denilir. Yumuşak bir çelik numune, akma bölgesinin üstünde yüklendiği zaman, daha fazla deformasyon yapabilmesi için bir gerilme artışının olması gereklidir. Akmanın bu türünü temsil eden σ - ϵ eğrisinin plastik

deformasyon artışı ile gerilme artışının olduğu bölge “*Şekil Değiştirme Sertleşme Bölgesi*” olarak bilinir ve akma bölgesi ile çekme dayanımı arasında kalır.

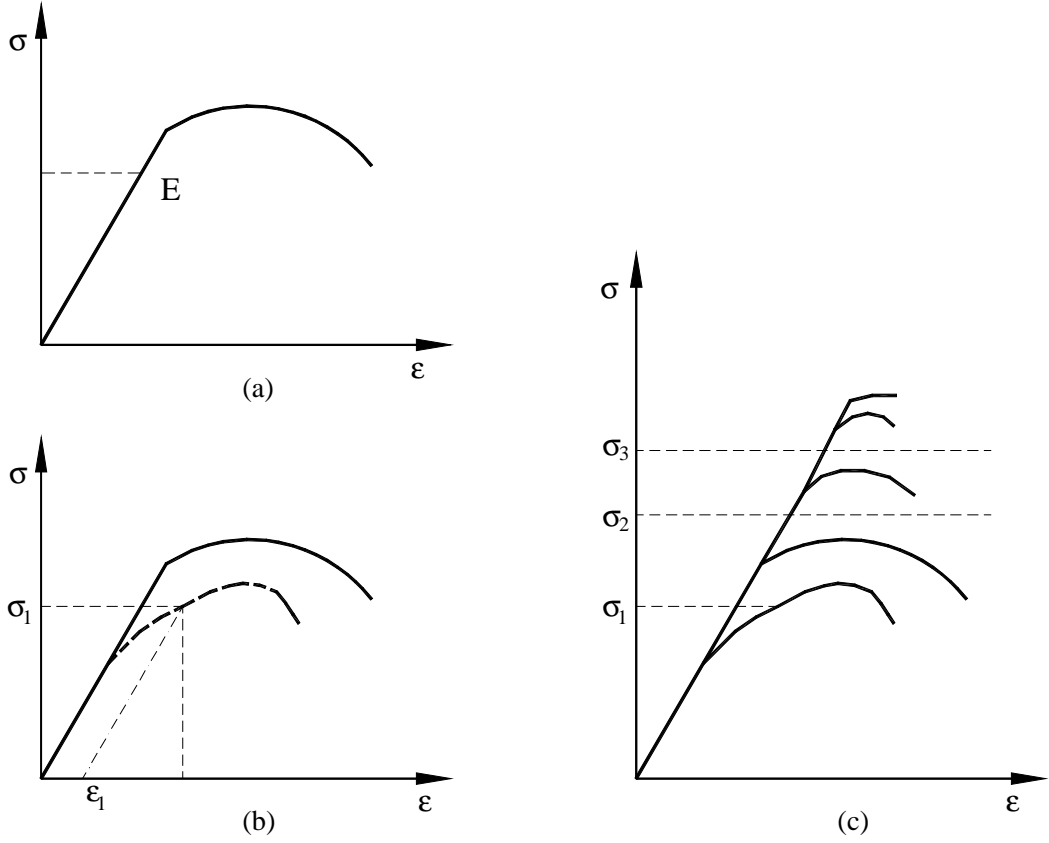
Elastik bölgede, akma gerilmesine kadar uzatılan malzeme üzerinde gerilme kaldırılır ise, malzeme eski boyuna geri döner (Şekil 2.11-a). Elastik bölgenin üstünde F_1 gerilmesi uygulanır ve bırakılır ise ϵ_1 kadar kalıcı şekil değiştirme meydana gelir. Malzemeye tekrar gerilme uygulanacak olursa, malzemenin elastik şekil değiştirme sınırı $F_E=F_1$ olur ve malzemenin akma sınırı ve çekme dayanımı artar, fakat şekil değiştirme miktarı ϵ_t azalır (Şekil 2.11-a). F_1 kadar gerilme uygulanıp bırakılan malzemeye F_1 'in üstünde F_2 kadarlık bir gerilme uygulanıp tekrar bırakılır ise malzemenin elastik şekil değiştirme gerilmesi F_1 'den F_2 'ye yükselir, malzemenin akma sınırı, çekme dayanımı daha da artar ve toplam şekil değiştirme miktarı biraz daha azalır (Şekil 2.11-b). Bu işlemler tekrarlanır ise öyle bir noktaya gelinir ki, bu nokta da malzemenin elastik şekil değiştirme gerilmesi ile kopma gerilmesi aynı olur (Şekil 2.11-c). Malzeme bu gerilmenin üzerinde plastik şekil değiştirmeye uğratılmaz.

Şekil değiştirme sertleşmesi olarak bilinen, soğuk şekil vermenin ani etkisi, bir akma dayanımı artışı meydana getirir, fakat çekme dayanımı üzerinde hiçbir etkisi yoktur.

Büyük F_u/F_y oranlı işlenmemiş bir malzeme, şekil değiştirme sertleşmesi bakımından büyük bir potansiyele (enerjiye) sahiptir. F_u/F_y oranının artışı ile, soğuk işlemin, çelik malzemenin akma dayanımındaki artış üzerindeki etkisi de artar [7].

Farklı F_u / F_y oranlarına sahip iki çeliğin kıyaslanması sonucu, bu oranın daha büyük olduğu malzemedeki daha büyük şekil değiştirme sertleşmesi etkisini oluşturduğu görülmüştür. Yani aynı akma dayanımlı fakat farklı çekme dayanımlı iki çelik malzeme, aynı miktardaki soğuk işlemde farklı davranış sergiler.

Genel bir sonuç olarak, değişik türlerdeki sünek yapı çelikleri (yaklaşık olarak aynı akma dayanımlı, aynı kopma dayanımlı, aynı sünekliğe sahip, fakat farklı yöntemler kullanılarak üretilmiş olan), aynı miktardaki soğuk işlemde önemli davranış farklılıkları gösterir.



Şekil 2.11 Çekme deneyi esnasında plastik şekil değiştirme ile akma sınırının artması [3]

Yine, aynı akma dayanımına, fakat farklı çekme dayanımına sahip iki çelik malzemeden çekme dayanımı daha büyük olan daha çok şekil değiştirme sertleşmesine maruz kalır. Bu durum, soğuk şekil verilmiş ince cidarlı yapı çeliklerinin arttırılmış dayanım değerlerinin kullanımında, malzeme tipi, çelik kalitesi ve soğuk şekil verme yönteminin belirlenmesinde öncülük eder.

2.5.3 Soğukta Şekil Verme İşleminin Neden Olduğu Artık Gerilmeler

Artık gerilmeler, imalat ve fabrikasyon sürecinin sonucu olarak, elemanda oluşan iç gerilmelerdir. Çelik yapı elemanlarının imalatı aşamasında, sıcak haddeleme ve kaynaklama işleminden sonra, elemanın düzgün olarak soğutulmaması artık (iç) gerilmelerin oluşumuna neden olur. Genel olarak, soğukta şekil verilmiş çelik kesite uygulanan soğuk işlemin üniform bir biçimde olmaması, kesitin farklı bölgelerinde artık gerilmelerin büyüklüklerinin ve mekanik özelliklerin farklılaşması sonucu

oluşturur [9]. İşlemleri kolaylaştırmak için bu artık gerilmelerin genelde, elemanın kalınlığı boyunca üniform olduğu kabul edilir [10].

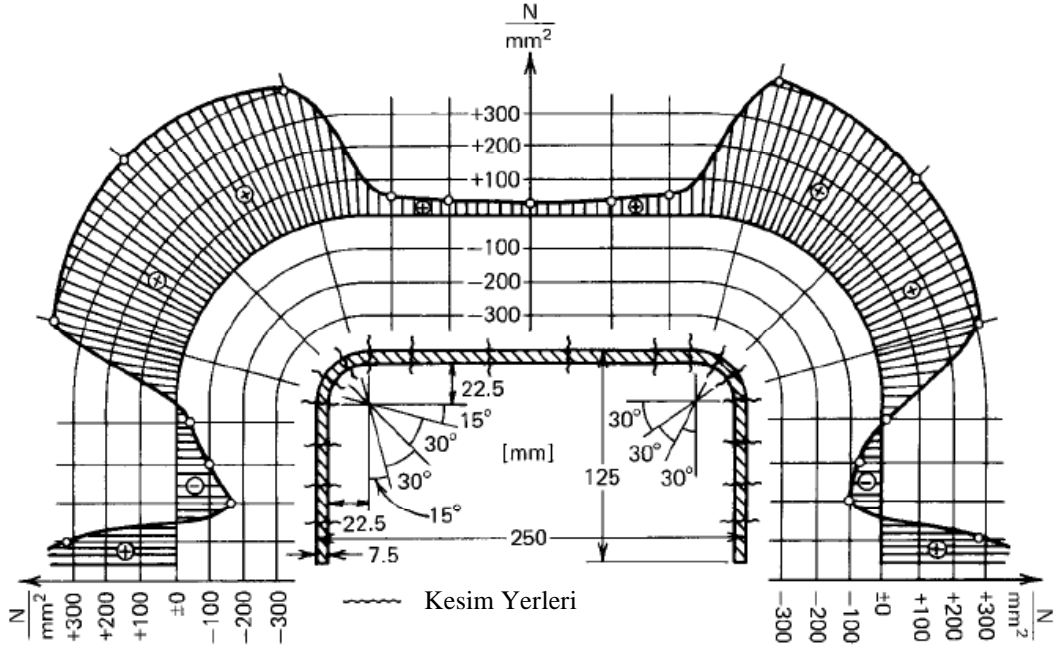
Galambos [10], yapmış olduğu çalışmalarda, artık (iç) gerilmelerin ihmal edilmesi durumunda, bu gerilmelerin elemanda beklenenden daha erken akma davranışı oluşturacağı ve elemanın rijitliğinde de önemli bir azalma meydana getireceği sonucuna varmıştır.

Bu tür gerilmelerin, soğuk şekil verilmiş elemanların gerilme-şekil değiştirme ilişkisi üzerindeki, sıcak haddelenmiş elemanlar üzerindeki etkisi ile benzerdir ve soğuk verme yöntemine bağlı olarak, şekil verme esnasında uygulanan işlemler de iç gerilmelerin oluşumuna neden olur.

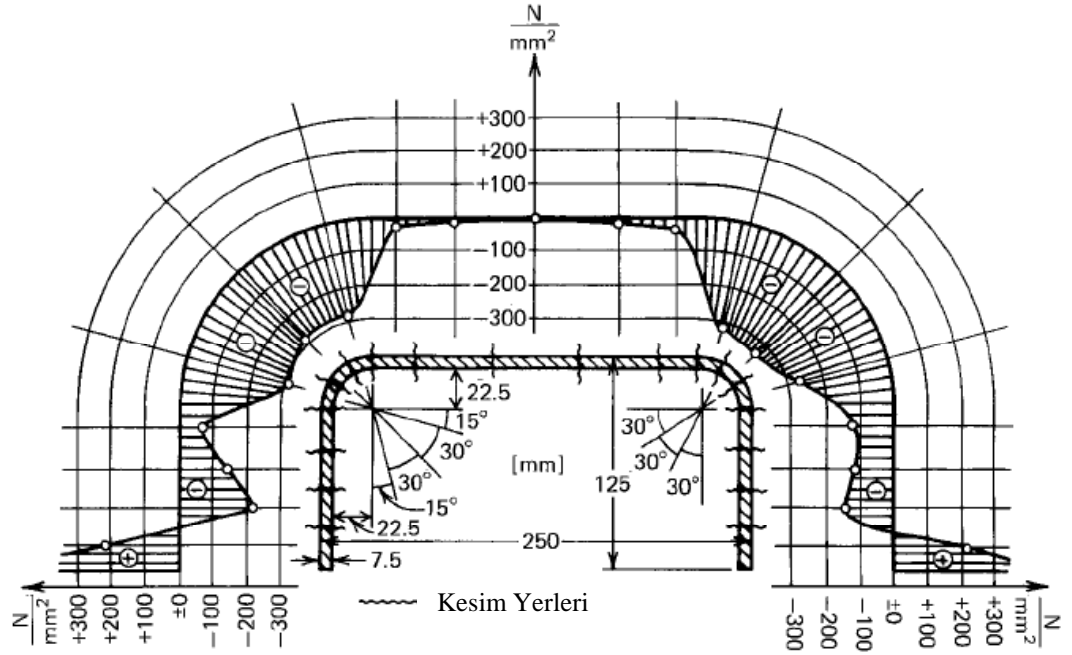
Abdel ve Sivakumaran [9], yapmış oldukları deneysel çalışmalarda, soğuk şekil verilmiş bir kesitin dış yüzeyinde oluşan iç gerilmelerin büyüklüğünün, iç yüzeyde oluşan iç gerilmelerin büyüklüğüne çok yakın fakat ters işaretli olduğu gözlemlenmişlerdir. Yani, kesit kalınlığı boyunca artık gerilme dağılışı, kesitin dış yüzeylerinde çekme gerilmesi olarak, iç yüzeyinde ise değer olarak eşit basınç gerilmesi şeklinde oluşur.

Ingvarsson (1975), tarafından bir kanal kesitin iç ve dış yüzeylerinde yapılan artık gerilme ölçümleri Şekil 2.12'de verilmiştir. Aynı kanal kesit için ölçülen artık gerilmelerin ortalaması Şekil 2.13'de gösterilmiştir.

Yine, Weng ve White (1990) , levha kalınlığı boyunca yapmış oldukları artık gerilme ölçümlerinin sonuçlarına dayanarak, maksimum serbest kalan artık gerilmelerin bükümün iç yüzeyinde ve levhanın doğal yüzeyine yakın yerde oluştuğunu gözlemlenmişlerdir. Bükümün iç yüzeyi üzerinde ölçülen çekme artık gerilmelerinin büyüklüğünün, malzemenin akma gerilmesinin %46 ile %92 arasında bir değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bükümün iç yüzeyi üzerinde çekme artık gerilmelerinin R/t oranı azaldığında, θ büküm açısı azaldığında ve malzemenin akma gerilmesi arttığında, artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

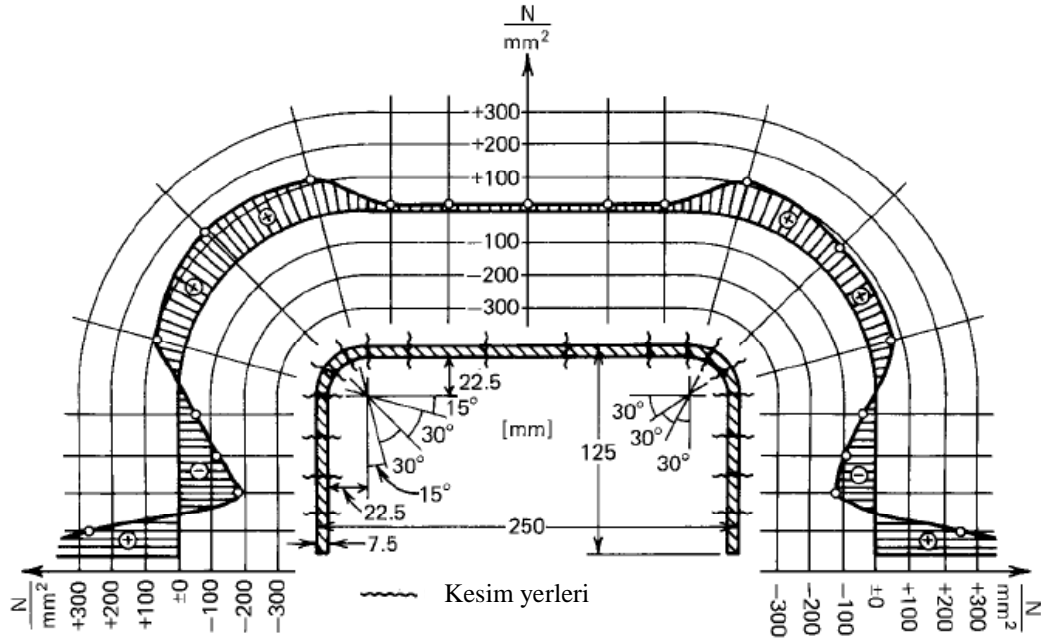


(a) Dış yüzeyinde



(b) İç yüzeyinde

Şekil 2.12 Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı bir kanal kesitin iç ve dış yüzeylerinde yapılan, boyuna artık gerilme dağılımı [2]



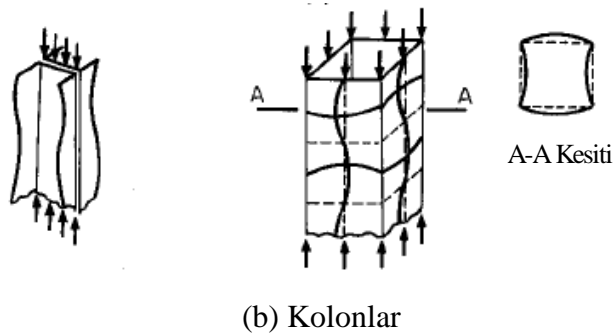
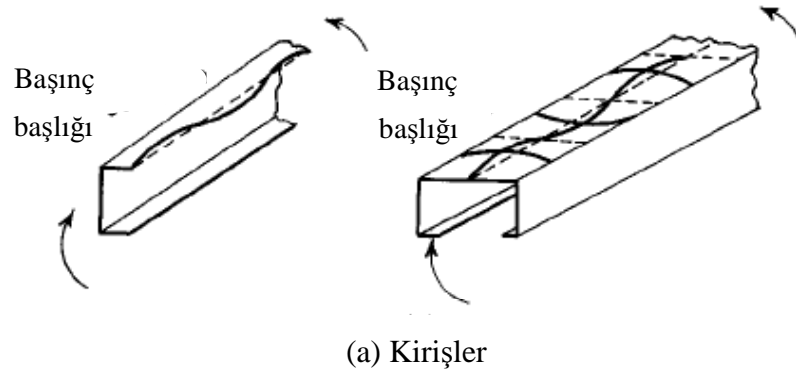
Şekil 2.13 Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı bir kanal kesitte ölçülen boyuna artık gerilmelerin ortalaması [2]

3. BÖLÜM

İNCE CİDARLI ÇELİK ELEMANLARIN DAYANIMI VE HESAP ESASLARI

3.1 Giriş

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı elemanları oluşturan düzlemsel parçaların, genellikle et kalınlıkları ince, genişlik/et kalınlığı oranları büyüktür. Bu elemanların düzlemsel parçalarında, eğilme momenti veya basınç kuvveti etkisi altında oluşan gerilmelerinin değeri akma gerilmesine ulaşmadan yerel burkulma meydana gelir. Şekil 3.1’de, bazı kiriş ve kolon elemanlarında meydana gelen yerel burkulma oluşumu görülmektedir [2].



Şekil 3.1 Basınç elemanındaki yerel burkulmalar [2]

3.2 Soğukta Şekil Verilerek Üretilen Taşıyıcı Elemanlarda Boyutlandırma Problemleri

Eleman et kalınlığının ince oluşu ve soğukta şekil verme işlemi nedeniyle, soğukta şekil verilerek üretilen elemanların kullanıldığı yapıların boyutlandırılması; ağır sıcak hadde ürünleriyle oluşturulan alışılmış çelik yapılardakinden oldukça farklıdır.

3.2.1 İnce Cidarlı Basınç Elemanlarında Yerel Burkulma ve Yerel Burkulma Ötesi Yük Taşıma Kapasiteleri

Soğukta şekil verilmiş elemanları oluşturan düzlemsel elemanların et kalınlıkları, genişliklerine göre oldukça incedirler. Bu nedenle, kendi düzlemlerinde etkiyen basınç, kayma ve eğilme gerilmeleriyle, ezilme gerilmeleri altında; akma gerilmesinin çok altındaki gerilme seviyelerinde burkulmaya maruz kalırlar [2].

Bu alanda yapılan teorik ve deneysel araştırmalar, bu elemanlarda yerel burkulma meydana geldikten sonra, yük taşıma kapasitelerinin tamamen ortadan kalkmayıp, belirli bir miktar daha yük taşıyabildiklerini göstermiştir. Buna, elemanın Yerel Burkulma Ötesi yük taşıma kapasitesi adı verilip; sıcak hadde profillerinin aksine, bu elemanların boyutlandırılmasında önemli ölçüde göz önünde tutulur.

3.2.2 Burulma Rijitliği

Açık enkesitlerin burulma rijitliği, et kalınlıklarının kübü ile orantılı olduğundan; soğukta şekil verilmiş açık enkesitli taşıyıcı elemanların burulma rijitliği oldukça zayıftır. Bu nedenle, örneğin gövde düzlemi içinde etkiyen yanal yüklere maruz U kesitli bir kiriş, kayma merkezi gövde düzlemi dışında kaldığından eğilme deformasyonları yanı sıra önemli ölçüde burulma deformasyonları da yapar. Ayrıca, kayma merkezi ağırlık merkezi ile çakışmayan, açık enkesitli ve ince cidarlı soğukta şekil verilmiş basınç çubuklarında; zayıf burulma rijitliği nedeniyle, eğilmeli-burulmalı burkulma önemli bir boyutlama kriteri haline gelebilir [2].

3.2.3 Birleşim Elemanları

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı taşıyıcı elemanların birleşimlerinde kullanılan önemli birleşim araçlarından biri bulonlardır. Yalnız, alışılmış çelik yapıdakinden farklı olarak; birleşim yerinde bulon çapının, birleştirdiği elemanların et kalınlığına oranı çok fazladır. Bu nedenle bulonlu birleşimlerin soğukta şekil verilmiş ince cidarlı elemanlardaki davranışı, özellikle delik çevresindeki ezilme gerilmeleri açısından, alışılmış çelik yapıdan farklıdır.

Kaynaklı birleşimlerde en çok kullanılan kaynak cinsi direnç kaynağıdır. Ark kaynağı da, bu elemanların birbirine veya bir sıcak haddelenmiş profile kaynaklı birleşiminde sık sık kullanılan bir kaynak türüdür.

3.2.4 Et Kalınlığı Kısıtlaması

Bölüm 1.2.1'de soğukta şekil verilmiş ince cidarlı taşıyıcı elemanların et kalınlıklarının 2 mm ile 6 mm arasında değiştiği belirtilmişti. Ancak bu bir kısıtlama değildir. Bu elemanların boyutlandırmasında en önemli faktör *genişlik/et kalınlık* oranıdır. Tek başına et kalınlığı kritik bir faktör değildir [2].

İnce cidarlı çelik taşıyıcı elemanların korozyon mukavemeti, Cissel ve Quinsey [11] tarafından incelenmiştir. Bu inceleme sonunda, bu elemanların korozyon mukavemetinin, levha et kalınlığından çok eleman üzerine tatbik edilmiş olan koruyucu tabakanın cinsine ve kalitesine bağlı olduğu görülmüştür. Modern koruyucu boya ve galvanizleme teknikleri, korozyon problemini normal sıcak haddelenmiş profillerindekinden farksız hale getirmiştir. Bu nedenle, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik taşıyıcı elemanların minimum et kalınlığının, sadece korozyon gerekçesiyle sınırlandırılması anlamlı değildir.

3.2.5 Plastik Teoriye Göre Boyutlama

AISI standardında komple olarak plastik teoriye göre boyutlama kuralları içermemektedir. Bunun nedeni, bir çok soğukta şekil verilmiş kesit, plastik teori için gereken limitleri aşan *genişlik/et kalınlığı* oranlarına sahiptir. Bu elemanlar, yerel

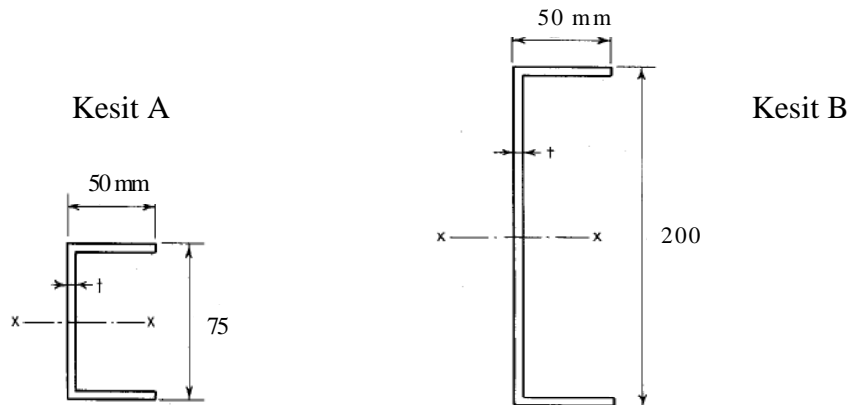
burkulmaya maruz kalmadan plastik mafsall oluşumuna imkan vermemektedir. Yine 1980 den bu yana AISI standardındı, tasarım kurullarında eğilmeye çalışan elemanlarının elastik ötesi ilave kapasitelerinin kullanımı içermektedir.

3.2.6 Enkesit Ataletinin Hesabı

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı taşıyıcı elemanların enkesit ataletinin hesabında işlemleri önemli oranda kısaltan bir kabul yapılır. Bu kabule göre; kesiti oluşturan t et kalınlıklı düzlemsel veya eğrisel kısımlar ortalama çizgileri boyunca konsantre olmuş, doğrusal veya eğrisel çizgi elemanlarla temsil edilmektedirler. Bu şekilde ele alınan kesit şeklinin enkesit atalet hesabına geçilebilir. (Şekil 3.3). Yöntemin yaklaşık olduğu aşikardır fakat birçok uygulama için yeterli seviyede hassastır. Aslında yapılan hata, bu tür enkesitlerin t et kalınlığı diğer boyutları yanında küçük ve hata mertebesi t^2 veya t^3 seviyesinde olduğundan önemsizdir. Ortaya çıkacak hata ile ilgili örnekler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 $-I_x$ de beklenen Hata

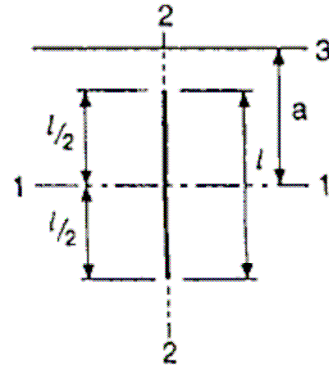
Kesit	Et kalınlığı (mm)	I_x 'de beklenen hata (%)
A	12,70	3,30
	6,35	0,70
	2,54	0,10
B	12,70	0,60
	6,35	0,15
	2,54	0,02



Şekil 3.2 Kesit A ve B' nin boyutları [2]

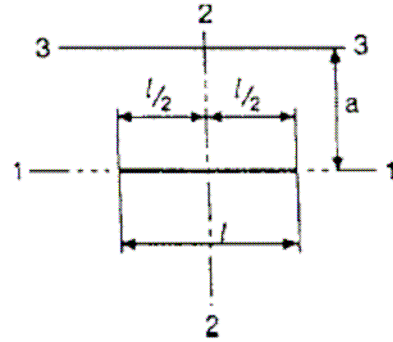
$$I_1 = \frac{l^3}{12} \quad I_2 = 0$$

$$I_3 = la^2 + \frac{l^3}{12} = l \left(a^2 + \frac{l^2}{12} \right)$$



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

$$I_3 = la^2$$

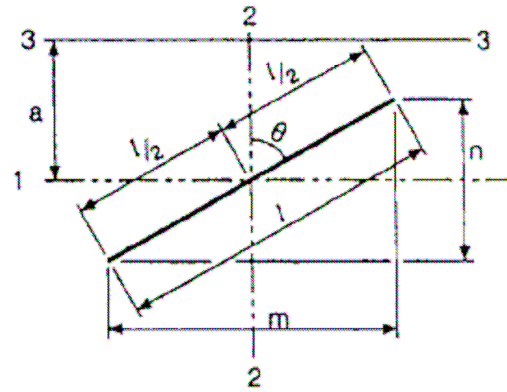


$$I_1 = \left(\frac{\cos^2 \theta}{12} \right) l^3 = \frac{ln^2}{12}$$

$$I_2 = \left(\frac{\sin^2 \theta}{12} \right) l^3 = \frac{lm^2}{12}$$

$$I_{12} = \left(\frac{\sin \theta \cos \theta}{12} \right) l^3 = \frac{lmn}{12}$$

$$I_3 = la^2 + \frac{ln^2}{12} = l \left(a^2 + \frac{n^2}{12} \right)$$



$$l = \frac{\pi r}{2} = 1.57r$$

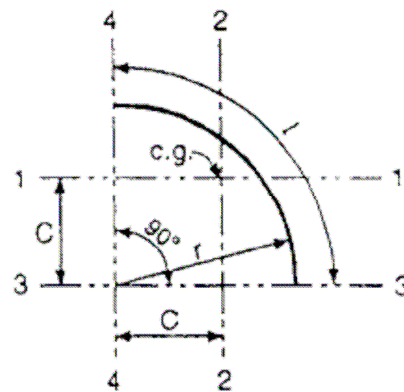
$$C = 0.637r$$

$$I_1 = I_2 = 0.149r^3$$

$$I_{12} = -0.137r^3$$

$$I_3 = I_4 = 0.785r^3$$

$$I_{34} = 0.5r^3$$



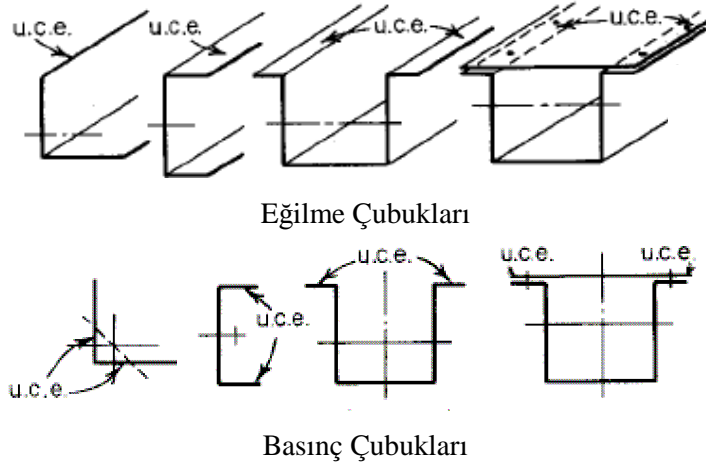
Şekil 3.3 Değişik elemanlara ait atalet değerleri [4]

3.3 Önemli Terimlerin Tanımı

Aşağıda, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı elemanların boyutlandırılması konusunda kullanılacak olan bazı önemli terimlerin tanımı verilecektir.

3.3.1 Rijitleştirilmemiş Basınç Elemanı

Rijitleştirilmemiş bir basınç elemanı, yalnız gerilme yönüne paralel ucunda rijitleştirme yapılmış olan düz bir basınç elemanıdır. Şekil 3.4 de görüldüğü gibi, bir köşebendin düşey kolu, bir kanal kesitin basınç başlığı ve ters çevrilmiş bir şapka kesiti rijitleştirilmemiş basınç elemanıdır. Ayrıca, eğer birleşim noktaları birbirine yeteri kadar yakın ise, yapma kesitlerin birleşim elemanlarının eksen çizgilerinin dışında kalan kısımlarda rijitleştirilmemiş basınç elemanlarına örnek olarak verilebilir [1].

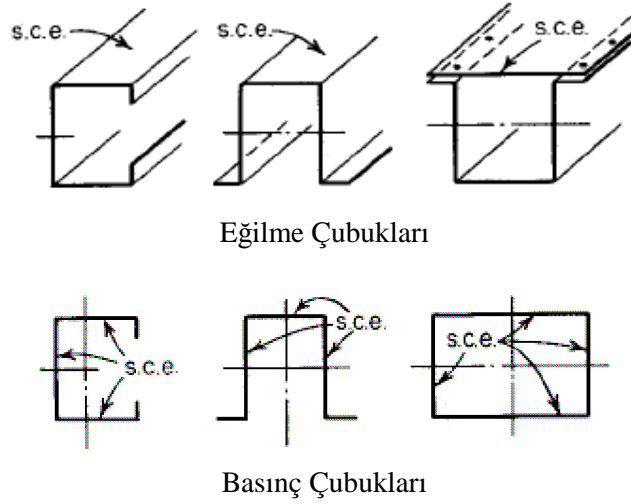


Şekil 3.4 Rijitleştirilmemiş basınç eleman kesitleri [2]

3.3.2 Rijitleştirilmiş veya Kısmi Rijitleştirilmiş Basınç Elemanı

Rijitleştirilmiş veya kısmi rijitleştirilmiş basınç elemanı, gerilme yönüne paralel doğrultuda her iki ucu da bir gövde elemanı, başlık rijitleştirici kıvrım, ara rijitleştiriciler ile Şekil 3.5'de gösterildiği gibi rijitleştirilmiş olan düzlem basınç elemanlarıdır. Şekil 3.5'de gösterilen yapma kesit için, basınç başlığının

birleşimlerinin iki eksen çizgisi arasındaki kısmı, şayet birleşim araçları arası mesafelerle ilgili şartlar sağlanmamışsa eleman olarak düşünülebilir [1].

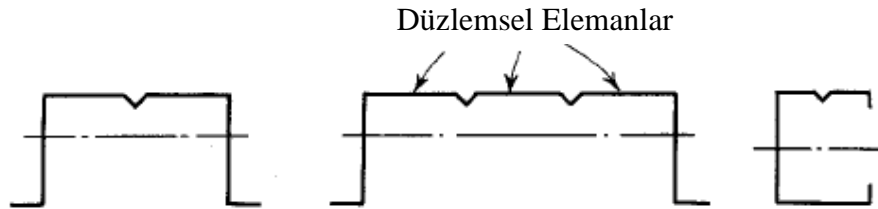


Şekil 3.5 Rijitleştirilmiş basınç eleman kesitleri [2]

3.3.3 Çok Rijitleştirilmiş Basınç Elemanı

Çok rijitleştirilmiş bir eleman, gövdeleri arasında veya bir gövde bir rijitleştirilmiş uç arasında, gerilme doğrultusunda paralel yönde ara rijitleştiriciler kullanılarak rijitlenmiş eleman demektir (Şekil 3.6).

Komşu rijitleştiriciler arasında kalan kısım veya bir gövde ve bir ara rijitleştirici arasında kalan yada bir uç ve bir ara rijitleştirici arasında kalan kısım “Düzlemsel Elemanlar” olarak isimlendirilir.(Şekil 3.6)



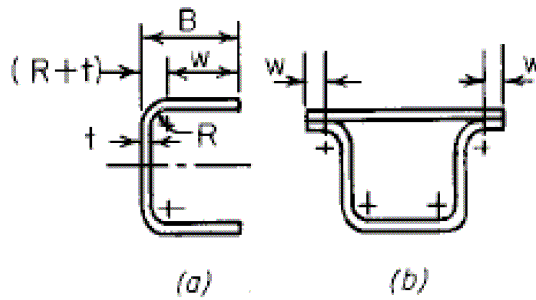
Şekil 3.6 Çok Rijitleştirilmiş basınç eleman kesitleri [2]

3.3.4 Düzlem Kısımın Genişliği (w)

Soğukta şekil verilmiş çelik yapı elemanlarının tasarımında kullanılan “Düzlem Genişlik-w” , elemanın düzlem kısmının uzunluğudur ve kesitin eğri kısmını içermez [2].

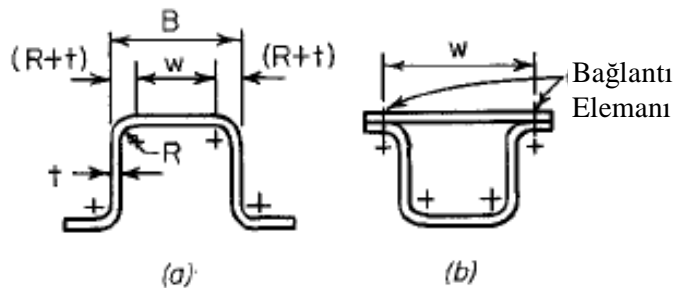
Rijitleştirilmemiş başlıklar için, düzlem kısmın w genişliği, gövdeye komşu olan kıvrımın ucundan başlığın serbest olan ucuna kadar ölçülen, başlık çıkıntısının düzlem kısmının genişliğidir (Şekil 3.7-a).

Şekil 3.7-b’de gösterdiği gibi, yapma kesit için, rijitleştirilmemiş basınç elemanın w düzlem genişliği, birleşim elemanının eksen çizgisi ile serbest uç arasında kalan kısmı olarak ifade edilir.



Şekil 3.7 Rijitleştirilmemiş basınç başlığındaki düzlem kısmın genişliği [2]

Rijitleştirilmiş elemanların w düzlem genişliği, Şekil 3.8-a’da gösterildiği gibi, köşelerdeki eğri kısımları hariç tutarak, komşu rijitleştirici elemanlar arası düzlem kısmın genişliğidir. Karma kesitler için, Şekil 3.8-b’de gösterildiği gibi, rijitleştirilmiş basınç başlığının w genişliği, birleşim araçlarının eksenleri arasında kalan mesafedir.



Şekil 3.8 Rijitleştirilmiş basınç başlığındaki düzlem kısmın genişliği [2]

3.3.5 Düzlem Genişlik / Kalınlık Oranı ,(w/t)

Düzlem Genişlik/Kalınlık oranı, bir elemanın ölçülen düzlem kısmının uzunluğunun levha kalınlığına oranıdır. Bu oran başlıklar için (w/t) olarak ifade edilirken, gövde elemanları için de (h/t) olarak ifade edilir. Standartlarda bu oranlar için belirli sınırlandırmalar söz konusudur. Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'te AISI standardına göre w/t ve h/t oranlarının sınırları verilmiştir [2].

Tablo 3.2 (w/t) oranı

Durumlar	w/t
1. Basınç levhası bir köşesinden basit rijitleştirilmiş	< 60
$I_s < I_a$ ise	< 60
$I_s \geq I_a$ ise	< 90
2. Basınç levhasının her iki köşesi, başka rijitleştirici elemanlar tarafından rijitleştirilmiş	< 500
3. Basınç levhası rijitleştirilmemiş	< 60

Tablo 3.3 (h/t) oranı

Durumlar	h/t
1. Güçlendirilmemiş Gövde durumu	< 200
2. Güçlendirilmiş Gövde durumu	
Mesnet Bölgesinde güçlendirme yapılmış	< 260
Mesnet Bölgesinde ve Orta Bölgede güçlendirme yapılmış	< 300

3.3.6 Etkili Tasarım Genişliği (b)

Etkili tasarım genişliği, (w/t) oranının belirli limitleri aşması durumunda hesaplarda kullanılan azaltılmış levha genişliğidir. Şekil 3.10'de bazı kesitlerin basınç ve çekme elemanlarında oluşan etkili tasarım genişlikleri görülmektedir.

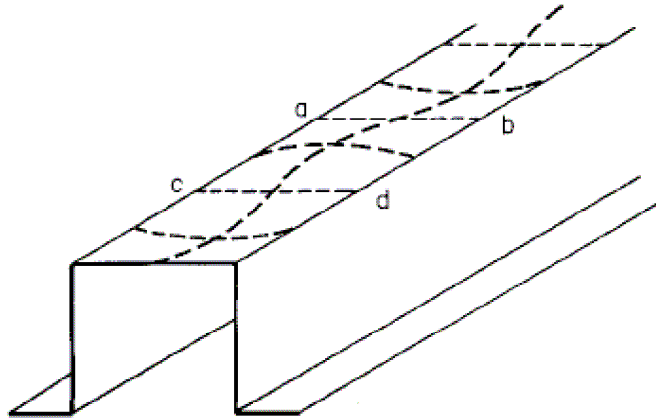
3.3.7 Kalınlık (t)

Soğuk şekil verilmiş kesitlerin tasarımında ve kesit özelliklerinin hesabında kullanılan t kalınlığı, kullanılan çelik levha elemanın kalınlığıdır. Çelik eleman üzerine yapılmış olan her türlü kaplamanın kalınlığı toplam kalınlıktan düşürülmelidir.

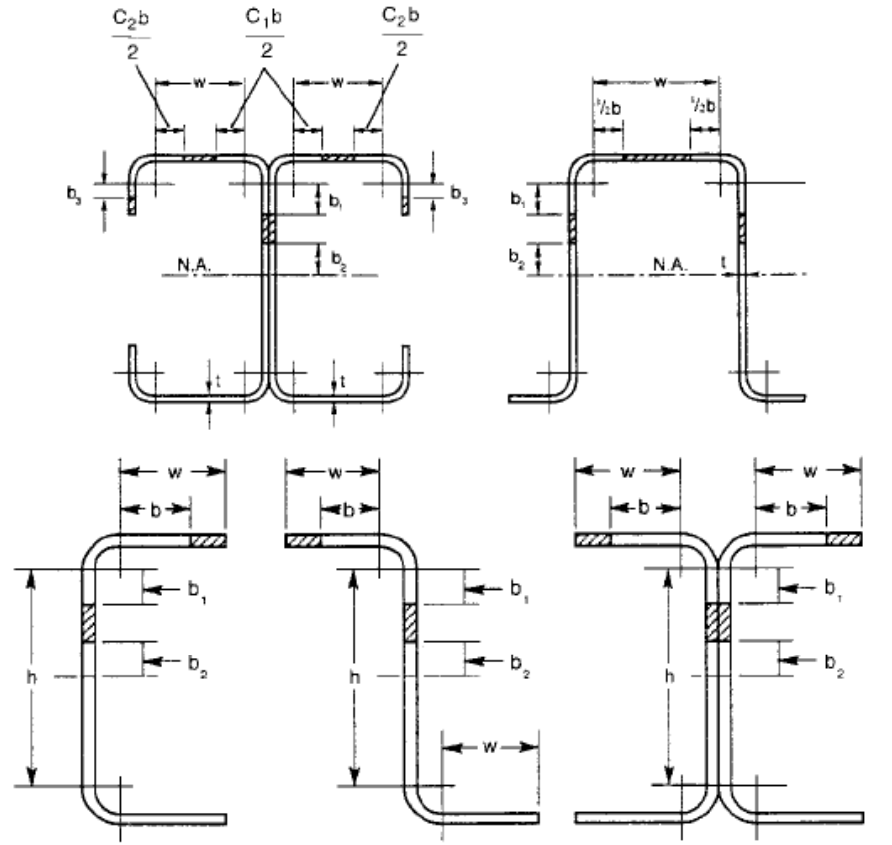
Şantiyede yapılacak kontrollerde kalınlık, elemanın hiçbir bölgesinde, tasarım aşamasında kullanılan kalınlığın % 95 değerinden daha küçük olmamalıdır. Soğuk şekil verme etkilerinden dolayı, köşe bölgeler gibi kalınlıkların değişken olabileceği eğri kısımlar bunun dışındadır. Bununla birlikte, genellikle % 1 ila 3 arasında bir hata payının, kesit özelliklerinin hesaplanmasında ihmal edilebileceği 3.2.6'da ifade edilmişti.

3.4 İnce Cidarlı Levhaların Elastik Yerel Burkulma Gerilmesi

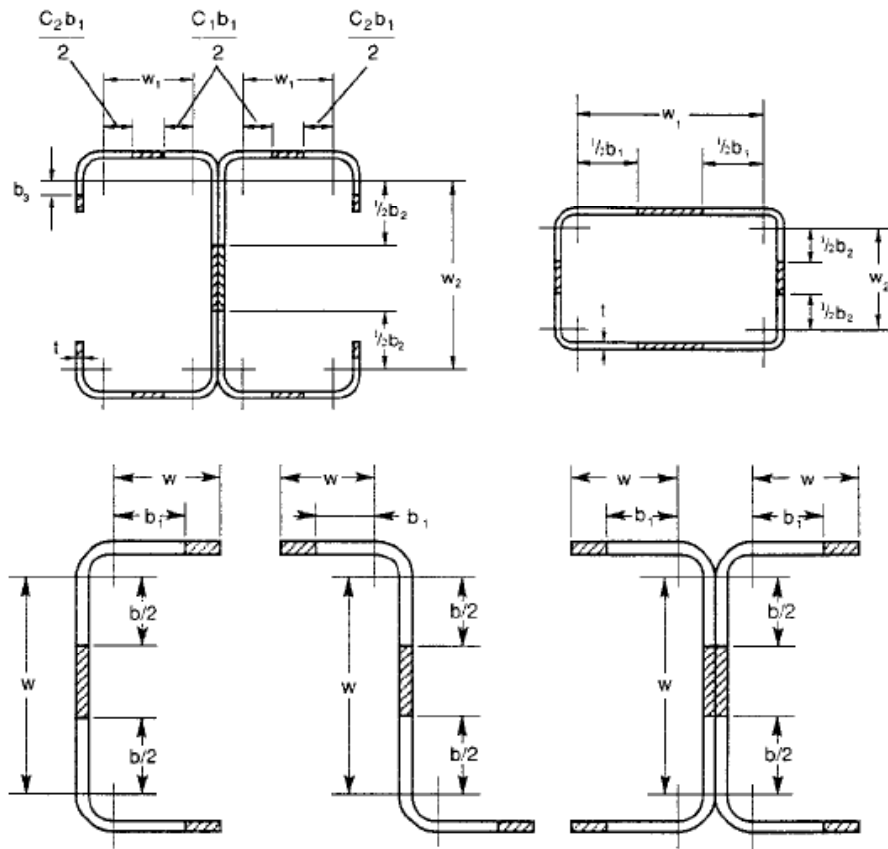
Şekil 3.10'de görülen soğukta şekil verilmiş elemanın flanşı; bu elemanın eğilme momenti veya aksenal basınç kuvveti etkisi altında kalması halinde, elemanın boyuna eksenini doğrultusunda ve düzleminde etkiyen üniform basınç gerilmelerine maruz kalacaktır. Elemanın flanşı, Şekil 3.11'de görüldüğü gibi, eleman boyuna eksenini doğrultusundaki kenarlarından mafsallı olarak mesnetli ve bu eksen doğrultusunda üniform basınç gerilmesi altındaki bir levha gibi düşünülecektir [1].



Şekil 3.9 Şapka kesitli kirişin rijitleştirilmiş basınç başlığındaki yerel burkulma [2]

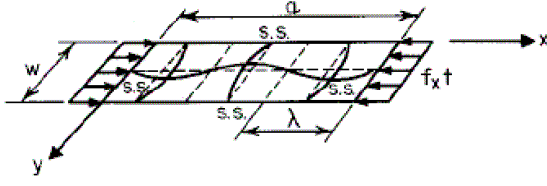


Çekme Elemanları

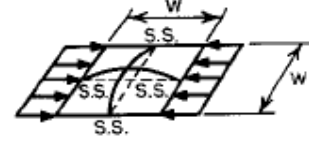


Basınç Elemanları

Şekil 3.10 Basınç ve Çekme elemanlarında etkili tasarım genişlikleri [2]



Şekil 3.11 Basınç gerilmesine maruz dikdörtgen levha [2]



Şekil 3.12 Basınç gerilmesine maruz kare levha [2]

Bu levhanın elastik kritik burkulma gerilmesi, küçük deplasmanlar teorisine göre üretilmiş olan Bryan diferansiyel denkleminin çözümünden elde edilebilir [2].

$$\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} + \frac{f_x \cdot t}{D} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = 0 \quad (3.1)$$

Burada,

$$D = \frac{E \cdot t^3}{12(1 - \mu^2)} \text{ olarak kullanılmıştır.}$$

m ve n, plağın x ve y eksenleri doğrultusundaki burkulma formunu oluşturan yarım sinüs dalgalarının sayısını göstermek üzere, bu form

$$\omega = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} A_{mn} \cdot \sin \frac{m \cdot \pi \cdot x}{a} \cdot \sin \frac{n \cdot \pi \cdot y}{w} \quad (3.2)$$

denkleminle ifade edilir. (3.2) denklemi (3.1) de yerine konursa, gerekli sadeleştirmelerden sonra,

$$\pi^4 \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{w^2} \right)^2 - \frac{f_x t}{D} \cdot \frac{m^2 \pi^2}{a^2} = 0 \quad (3.3)$$

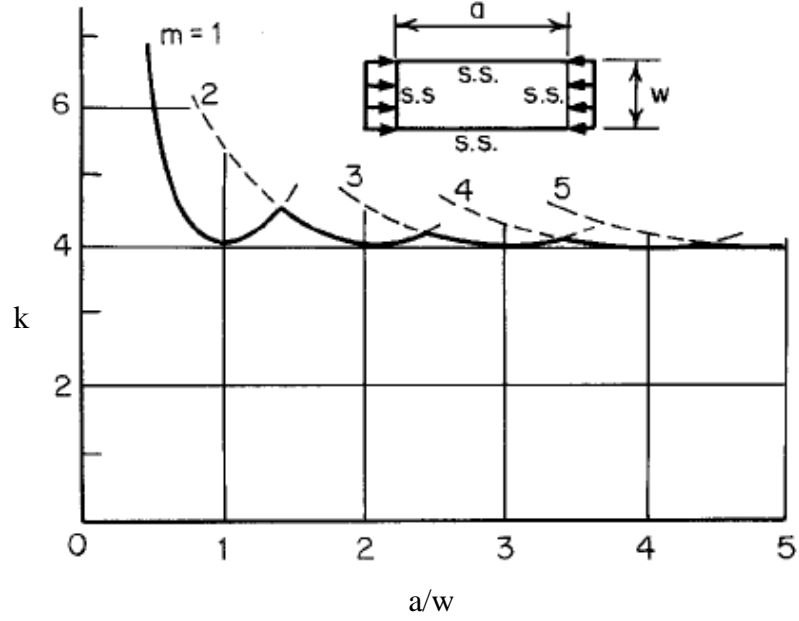
burkulma koşulu elde edilir. Bu koşulun verdiği kritik burkulma gerilmesi

$$f_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2)(w/t)^2} \quad (3.4)$$

burada,

$$k = \left[m \cdot \left(\frac{w}{a} \right) + \frac{1}{m} \cdot \left(\frac{a}{w} \right) \right]^2 \quad (3.5)$$

(3.5) denkleminde verilen k katsayısının değişik a/w oranları farklı ve boyuna yarım sinüs dalgaları için değerleri Şekil 3.13'deki diyagramda verilmiştir.



Şekil 3.13 Düzgün dikdörtgen levha için burkulma katsayısı [2]

Uzun levha halinde, yarım sinüs dalgalarının boyu x ve y doğrultusunda yaklaşık olarak levha genişliği kadardır. Yapı mühendisliğinde nispeten büyük a/w oranına sahip uzun plaklar, önemlidir. Çünkü bu plaklar, Şekil 3.8'den de görüldüğü gibi, taşıyıcı elemanların düzlemsel kısımlarını oluştururlar. Şekil 3.13'den görüldüğü gibi, a/w oranı 4 ten büyük olduğu zaman, dört kenarından basit mesnetli uzun plağın kritik burkulma gerilmesi k=4 alınarak;

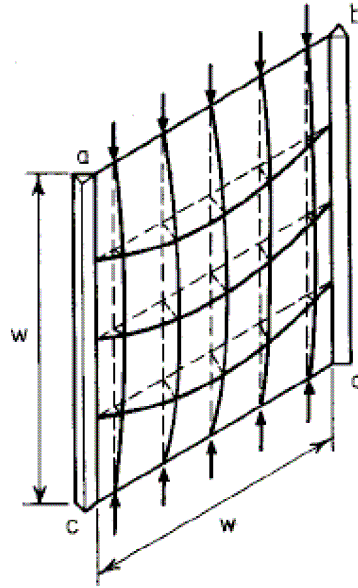
$$f_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{3(1 - \mu^2)(w/t)^2} \quad (3.6)$$

ifadesiyle hesaplanabilir.

Çeşitli mesnet koşulları ve zorlanma Şekilleri için uzun dikdörtgen plakların kritik burkulma gerilmesi hesabında kullanılacak k değerleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

3.5 İnce Cidarlı Levhaların Burkulma Ötesi Yük Taşıma Kapasitesi ve Etkin Genişlik Kavramı

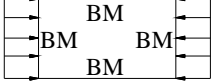
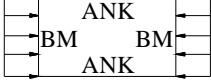
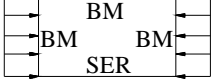
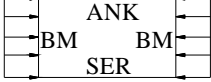
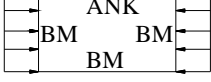
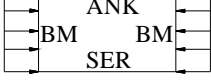
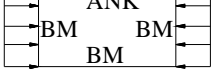
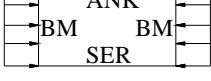
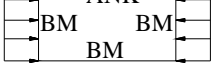
Tek boyutlu elemanlardan farklı olarak, rijitleştirilmiş düzlemsel basınç elemanları, kritik burkulma gerilmesine ulaşıncaya kadar yük taşıma kapasitesini tamamen kaybetmez. Levha üzerindeki gerilme dağılımının değişimiyle yük taşıma fonksiyonunu sürdürür. Bu, özellikle w/t oranı büyük olan bu tür elemanlarda burkulma ötesi yük taşıma kapasitesi olarak adlandırılan önemli bir olgudur. Bu mekanizmanın daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 3.14'deki kare levha modelini ele alalım. Bu model Şekil 3.10'deki elemanın basınç başlığının **abcd** parçasını gösterir. Plak burkulmaya başlar başlamaz modeldeki ızgara çubuk sisteminin yatay olanları, düşeylerin plak düzlemi dışına deformasyonlarını önlemeye çalışacaktır [1].



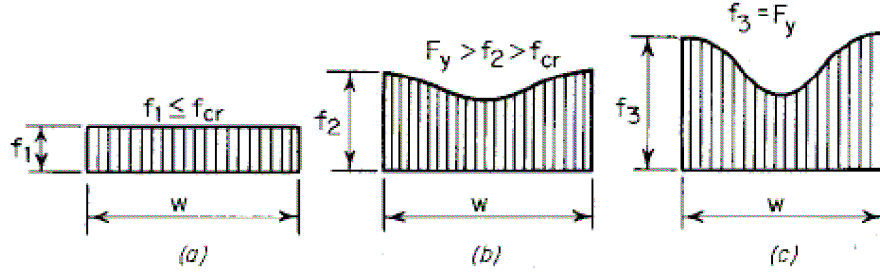
Şekil 3.14 Burkulma ötesi durum için kare levha modeli [2]

Bu mekanizma gerçek levha halinde şu sonuçlara neden olur. Burkulmadan önce levhadaki gerilme dağılımı Şekil 3.15-a'da görüldüğü gibi üniformdur. Burkulmadan sonra, levha ortasındaki belirli bir şerit tarafından taşınan yükün bir kısmı plağın, yükün etki doğrultusuna paralel iki kenarında yer alan ve burkulma deformasyonuna tam olarak katılmamış şeritlerince taşınmaya başlar. Bunun sonucu olarak üniform olmayan gerilme dağılımının yerini, Şekil 3.15-b'de görülen üniform

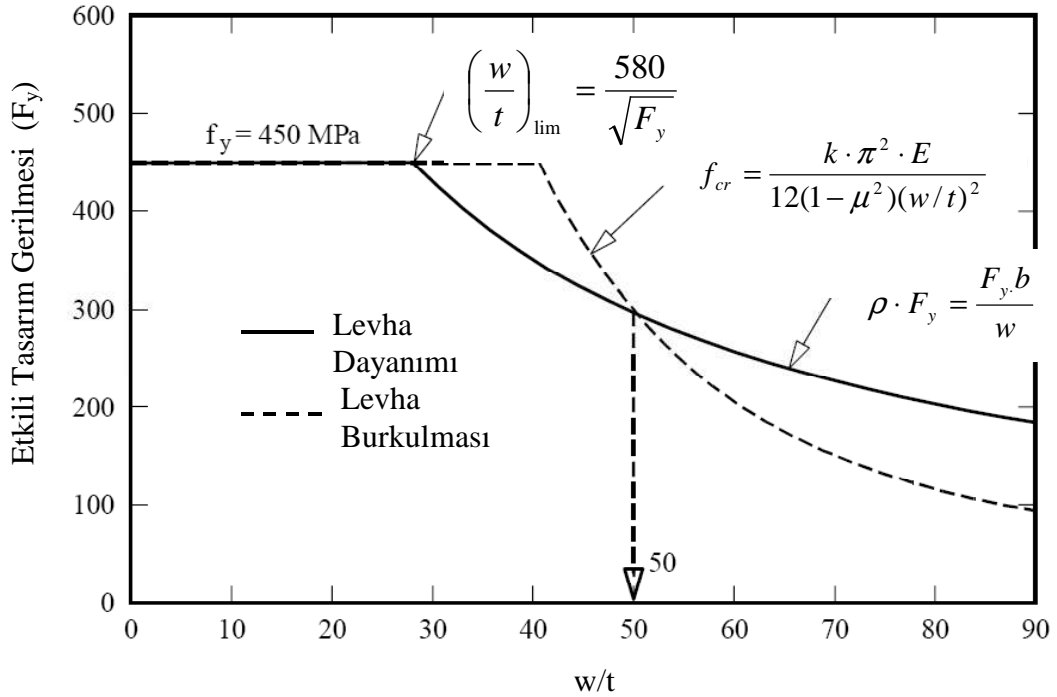
Tablo 3.4 Belirli kritik burkulma gerilmeleri için k katsayıları [2]

Hal	Sınır Şartları	Gerilme tipi	k değeri
(a)		Basınç	4,00
(b)		Basınç	6,97
(c)		Basınç	0,425
(d)		Basınç	1,277
(e)		Basınç	5,42
(f)		Kayma	5,34
(g)		Kayma	8,98
(h)		Eğilme	23,90
(i)		Eğilme	41,80

olmayan gerilme dağılımı alır. Levha gerilmesinin kenar şeritlere kayması olayı, kenar gerilmesinin akma sınırına ulaşmasına kadar devam eder. Şekil 3.15-c'de görülen bu halde artık levhanın yük taşıma kapasitesi sona ermiştir.



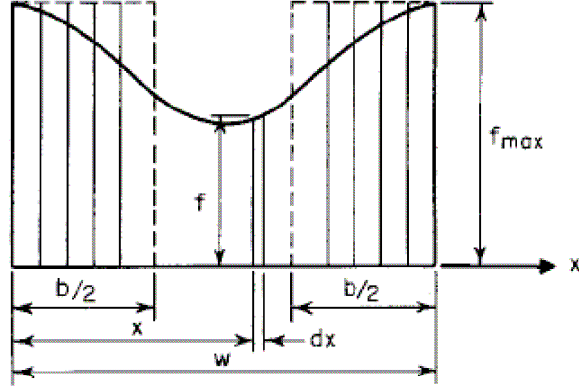
Şekil 3.15 Rijitleştirilmiş basınç elemanında gerilme dağılımının ardışık aşamaları [2]



Şekil 3.16 Rijitleştirilmiş elemandaki Burkulma-Ötesi yük taşıma kapasitesi [4]

Bu mekanizma göz önünde tutularak, ilk defa Von Karman tarafından etkili genişlik kavramı geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, plağın w genişliği üzerine, gerilmenin üniform olmayan dağılımını dikkate almak yerine, toplam yükün b fiktif genişliği üzerine üniform yayılı ve f_{max} kenar gerilmesi şiddetindeki bir gerilme alanı tarafından taşındığı kabul edilir. Bu yaklaşım şekil 3.17'de gösterilmiştir. Bu fiktif b genişliği şöyle bulunur [2].

$$\int_0^w \sigma \cdot dx = b \cdot f_{max} \quad (3.7)$$



Şekil 3.17 Rijitleştirilmiş basınç elemanında etkili genişlik [2]

Ayrıca b etkin genişlik, basınç gerilmesi akma sınırına ulaştığında burkulan bir plağın genişliği olarak da düşünülebilir. Bu nedenle b etkin genişliğinin teorik değeri şöyle saptanabilir;

$$f_{cr} = F_y = \frac{\pi^2 \cdot E}{3(1-\mu^2)(b/t)^2} \Rightarrow \left(\frac{b}{t}\right)^2 = \frac{\pi^2 \cdot E}{3(1-\mu^2) \cdot F_y} \quad (3.8)$$

$$b = t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \cdot \frac{\pi}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} \Rightarrow b = C \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,9 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.9)$$

burada,

$$C = \frac{\pi}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} = 1,9 \quad (\mu = 0,3) \quad (3.10)$$

Denklem 3.9 1932 yılında, rijitleştirilmiş elemanların tasarımı için Von Karman tarafından geliştirilmiştir [2].

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{3(1-\mu^2)(w/t)^2} \quad (3.11)$$

$$w = C \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{cr}}} \quad (3.12)$$

3.9 ve 3.12 denklemlerinden;

$$\frac{b}{w} = \sqrt{\frac{f_{cr}}{F_y}} \quad (3.13)$$

elde edilir.

Yani etkin levha genişliğinin gerçek levha genişliğine oranı levha kritik burkulma gerilmesinin, levha akma gerilmesine oranının kareköküdür.

George WINTER tarafından yapılmış olan kapsamlı deneysel araştırmalar sonucu C katsayısı için fiziksel modeli daha iyi yansıtan boyutsuz amprik ifade öne sürülmüştür. Yaptığı çalışmalar sonucunda WINTER denklem 3.9'un gerilmenin, akma gerilmesinin altında kaldığı durumlar içinde geçerli olacağını göstermiştir. Bu sonuçlar ışığında C için önerilen ifade aşağıda verildiği gibidir [2].

$$C = 1,9 \cdot \left[1 - 0,475 \cdot \left(\frac{t}{w} \right) \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{\max}}} \right] \quad (3.14)$$

Bunun sonucu olarak etkin genişlik için aşağıdaki ifade önerilmiştir.

$$b = C \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \Rightarrow \quad b = 1,9 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{\max}}} \cdot \left[1 - 0,475 \cdot \left(\frac{t}{w} \right) \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{\max}}} \right] \quad (3.15)$$

3.15 denklemini f_{cr}/F_y cinsinden düzenlenirse aşağıdaki ilişkiye ulaşılmaktadır.

$$\frac{b}{w} = \sqrt{\frac{f_{cr}}{F_y}} \cdot (1 - 0,25 \cdot \sqrt{\frac{f_{cr}}{f_{\max}}}) \quad (3.16)$$

Bu ifadenin incelenmesi sonucu, w plak genişliğinin tam olarak etkin (b=w) çalışabilmesi için w/t oranının aşağıdaki limit değerinden küçük olması gerektiği ortaya çıkmıştır.

$$\left(\frac{w}{t}\right)_{\text{lim}} = 0,95 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{\text{max}}}} \quad (3.17)$$

Bu ifadelerde f_{max} , Şekil 3.17’de görüldüğü gibi plâğın maksimum kenar gerilmesidir.

3.9 ve 3.13 denklemlerinden 3.15 ve 3.16 denklemlerine geçilirken genel olarak iki adım atılmıştır.

1. F_y yerine f_{max} koyularak ifadelerin servis yükleri altında da geçerli olması sağlanmıştır.
2. Amprik C ifadesi kullanılarak, çeşitli malzeme ve geometrik kusurlar hesaba katılmıştır.

1946’dan 1968 yılına kadar AISI standardı [14], b etkin genişlik hesabında 3.16 ifadesini kullanıyordu. Fakat bu uzun sürede elde edilen tecrübeler ve yapılan araştırmalar b etkin genişliğin hesabında aşağıdaki ifadenin kullanılmasının daha doğru olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.

$$b = 1,9 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{\text{max}}}} \cdot \left[1 - 0,415 \cdot \left(\frac{t}{w}\right) \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{\text{max}}}} \right] \quad (3.18)$$

Bu ifadenin kullanılmasıyla, w plak genişliğinin tam olarak etkin ($b=w$) çalışabilmesi için w/t oranının aşağıdaki limit değerinden küçük olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

$$\left(\frac{w}{t}\right)_{\text{lim}} = 1,287 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{\text{max}}}} \Rightarrow \left(\frac{w}{t}\right)_{\text{lim}} = \frac{580}{\sqrt{f_{\text{max}}}} \Rightarrow \left(\frac{w}{t}\right)_{\text{lim}} = \frac{580}{\sqrt{F_y}} \quad (3.19)$$

Bu limit değer, 3.18 ifadesinin sol tarafına b/t yerine w/t konarak elde edilecek ikinci derece denklemin w/t için çözülmesi sonucu elde edilir.

Aynı standardın 1996 basımında yapılan düzenlemede [15], 3.18 denklemi $\frac{f_{cr}}{f_{max}}$ cinsinden şu şekilde ifade edilmiştir.

$$\frac{b}{w} = \sqrt{\frac{f_{cr}}{f_{max}}} \left(1 - 0,22 \cdot \sqrt{\frac{f_{cr}}{f_{max}}} \right) \quad (3.20)$$

$$b = \rho \cdot w \quad (3.21)$$

$$\rho = \frac{\left(1 - \frac{0,22}{\frac{f_{max}}{f_{cr}}} \right)}{\frac{f_{max}}{f_{cr}}} \leq 1 \quad (3.22)$$

$$\lambda = \frac{f_{max}}{f_{cr}} \quad (3.23)$$

$$\rho = \frac{\left(1 - \frac{0,22}{\lambda} \right)}{\lambda} \leq 1 \quad (3.24)$$

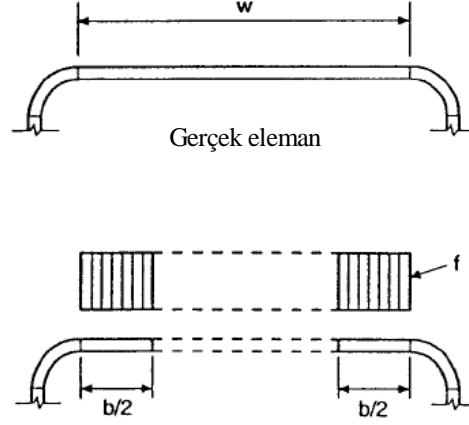
$$\lambda = \frac{1,052}{\sqrt{k}} \cdot \left(\frac{w}{t} \right) \cdot \sqrt{\frac{f}{E}} \quad (3.25)$$

şekil 3.19'da da belirtildiği gibi λ narinliği arttıkça, ρ azalmakta ve dolayısıyla b etkin genişliği azalmaktadır. Bu ilişkide, .

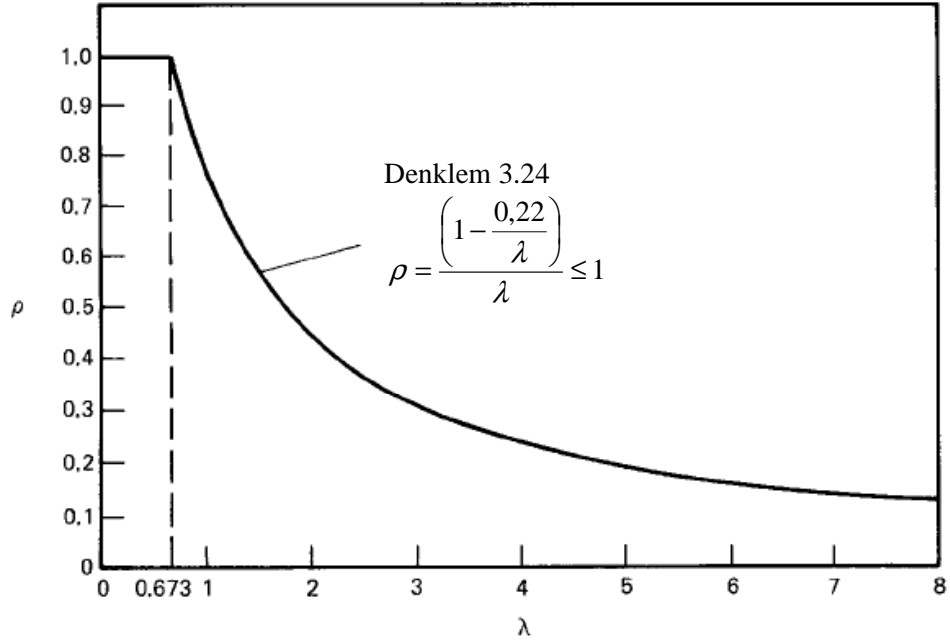
$$\lambda \leq 0,673 \quad b = w \quad (3.26)$$

$$\lambda > 0,673 \quad b = \rho \cdot w \quad (3.27)$$

olarak verilmiştir.



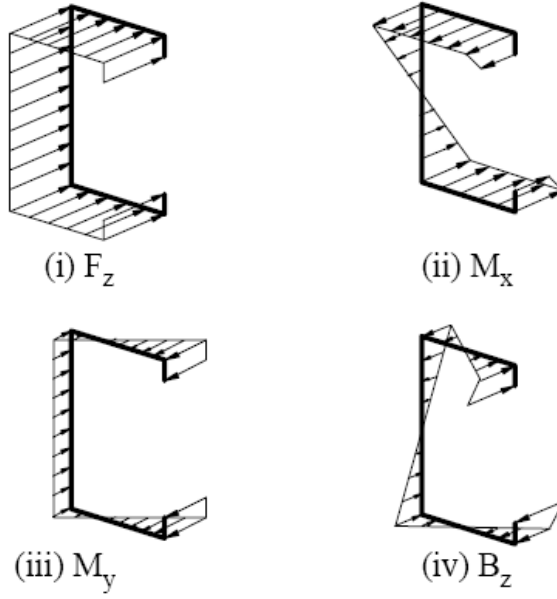
Şekil 3.18 Rijitleştirilmiş basınç elemanındaki gerçek ve etkili genişlik [2]



Şekil 3.19 Azaltma katsayısı, ρ ve Narinlik katsayısı, λ [2]

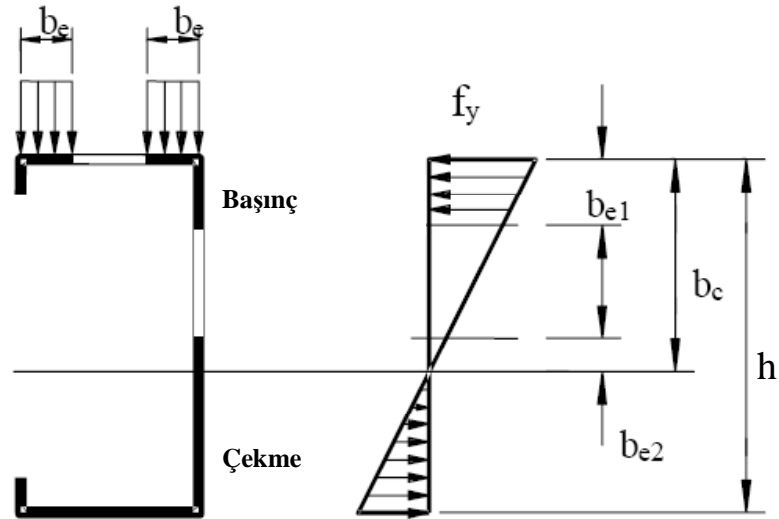
3.6 Kenarlarından Rijitleştirilmiş C Kesitteki Gerilme Dağılımları

Şekil 3.20-a'da Eksenel basınç etkisindeki C profilindeki gerilme dağılımı, Şekil 3.20-b'de Kuvvetli ekseninde Eğilme momentinden ötürü oluşan gerilme dağılımı, Şekil 3.20-c'de Zayıf ekseninde Eğilme momentinden ötürü oluşan gerilme dağılımı, Şekil 3.20-de de ise Burulma etkisinden dolayı oluşan gerilme dağılımları görülmektedir.



Şekil 3.20 Kenarlarından rijitleştirilmiş C kesitte oluşan 4 farklı Gerilme dağılımı [4]

Şekil 3.21’de de eğilme altında C profilde etkili alan üzerinde oluşan gerilme dağılımını göstermektedir.

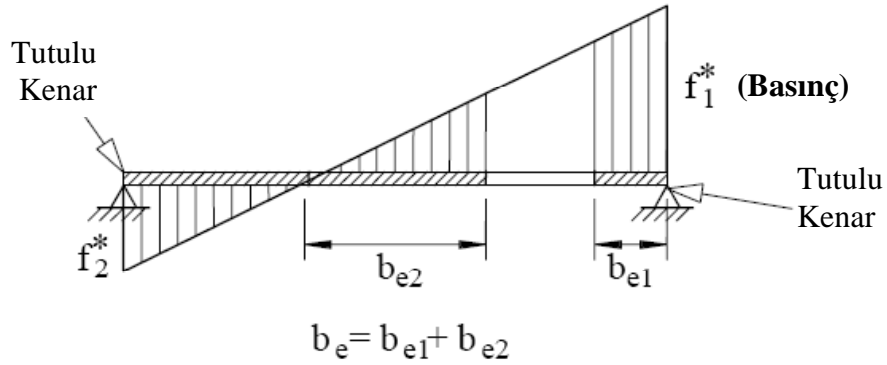


Şekil 3.21 Kenarlarından rijitleştirilmiş C kesitte oluşan Gerilme Dağılımı [4]

3.7 Etkili Gövde Yüksekliği

AISI standardına [15] göre etkili gövde yüksekliğine ait veriler ve gerilme dağılımları Şekil 3.22’de verilmiş olup standardın 1996 yılı versiyonundaki

formüller aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.22 C kesitli elemanın gövdesinde oluşan gerilme dağılımı [4]

$$b_{e1} = b_e / (3 - \psi) \quad (3.28)$$

$$\psi \leq -0,236 \text{ için , } b_{e2} = b_e/2 \quad (3.29)$$

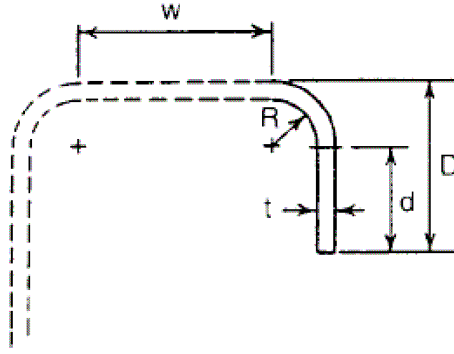
$$\psi > -0,236 \text{ için , } b_{e2} = b_e - b_{e1} \quad (3.30)$$

$$k = 4 + 2(1 - \psi)^3 + 2(1 - \psi) \quad (3.31)$$

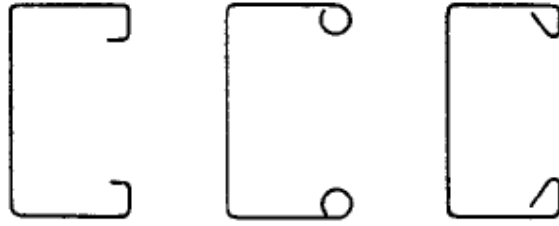
$$\psi = f_2 / f_1 \quad (3.32)$$

3.8 Kenarlarından Rijitleştirilmiş Üniform Yüklü Basınç Elemanı

Şekil 3.23'te gösterildiği gibi kenarından rijitleştirilmiş üniform basınç levhasının hesabında (Şekilde C kesitli eğilme elemanın basınç başlığı) farklı ebat ve şekillerdeki kenar rijitleştirici durumları için farklı levha narinliği hesaplanmaktadır. AISI standardına göre bu hesapta üç farklı durum ele alınmaktadır. Bu durumlar ve her durum için etkili levha genişliği hesabına esas teşkil edecek k burkulma katsayıları için ifadeler aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.23 Kenar rijitleştirici [2]



Şekil 3.24 Basit kenar rijitleştiriciden başka diğer kenar rijitleştiriciler [2]

Dayanım için;

$$S = 1,28 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.33)$$

$$\text{Durum I: } w/t \leq S/3 \quad (3.34)$$

$$I_a = 0 \text{ (kenar rijitleştiriciye gerek yok.)} \quad (3.35)$$

$$b = w \quad (3.36)$$

$$d_s = d_s' \quad (3.37)$$

$$A_s = A_s' \quad (3.38)$$

$$\text{Durum II : } S/3 < w/t < S \quad (3.39)$$

$$I_a = 399 \cdot \left(\left[\frac{w/t}{S} \right] - \sqrt{\frac{k_u}{4}} \right)^3 \cdot t^4 \quad (3.36)$$

$$I_s = \frac{d \cdot t^3}{12} \quad (3.40)$$

$$n=1/2 \quad (3.41)$$

$$C_2 = I_s / I_a \leq 1 \quad (3.42)$$

$$C_1 = 2 - C_2 \quad (3.43)$$

$$k = C_2^n (k_a - k_u) + k_u \quad (3.44)$$

$$k_u = 0,43$$

$$k_a = 5,25 - 5 \cdot (D/w) \leq 4,0 \quad (3.45)$$

$$d_s = C_2 \cdot d_s' \quad (3.46)$$

Köşe Rijitleştirme elemanları Şekil 3.24'deki gibi olursa;

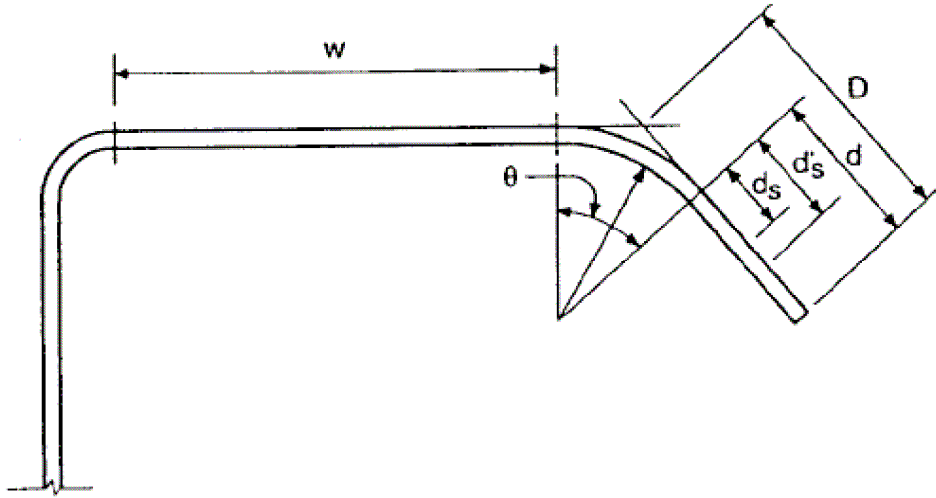
$$k_a = 4,0$$

$$A_s = C_2 A_s' \quad (3.47)$$

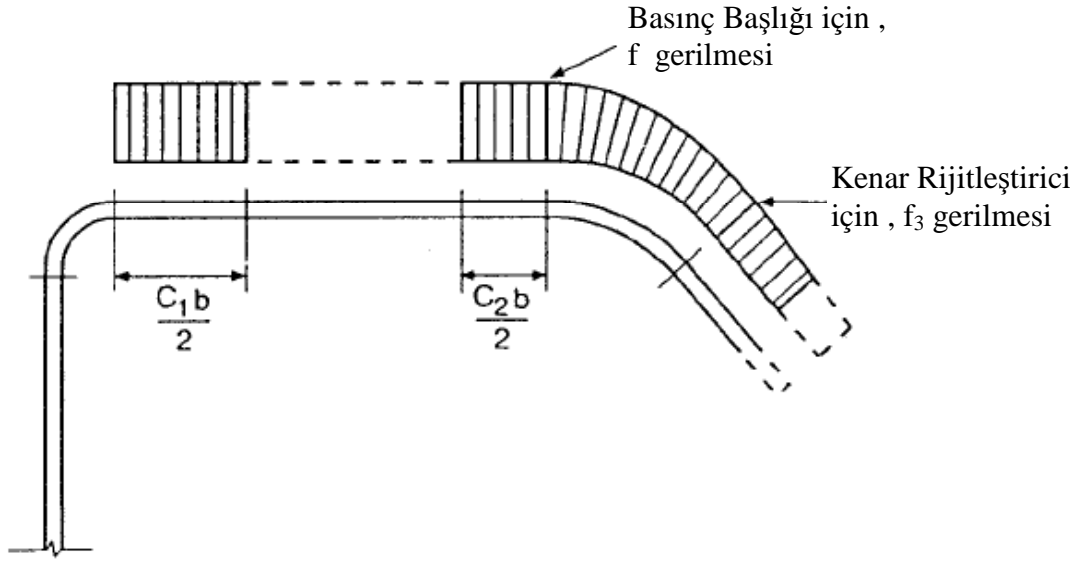
$$\text{Durum III : } w/t \geq S \quad (3.48)$$

$$I_a = 115 \cdot \left(\left[\frac{w/t}{S} \right] + 5 \right) \cdot t^4 \quad (3.49)$$

$n=1/3$ alınarak C_1 , C_2 , b , k , d_s ve A_s Durum II'ye göre hesaplanacaktır.



Şekil 3.25 Kenar rijitleştirici eleman [2]



Şekil 3.26 Basınç elemanı ve kenar rijitleştiricideki etkili bölgeler ve gerilmeleri [2]

Kenar rijitleştirici elemanının durumu Şekil 3.26'teki gibi olursa;

$$I_s = \frac{d \cdot t^3 \cdot \sin^2 \theta}{12} \quad (3.50)$$

$$A_s' = d_s' \cdot t \quad (3.51)$$

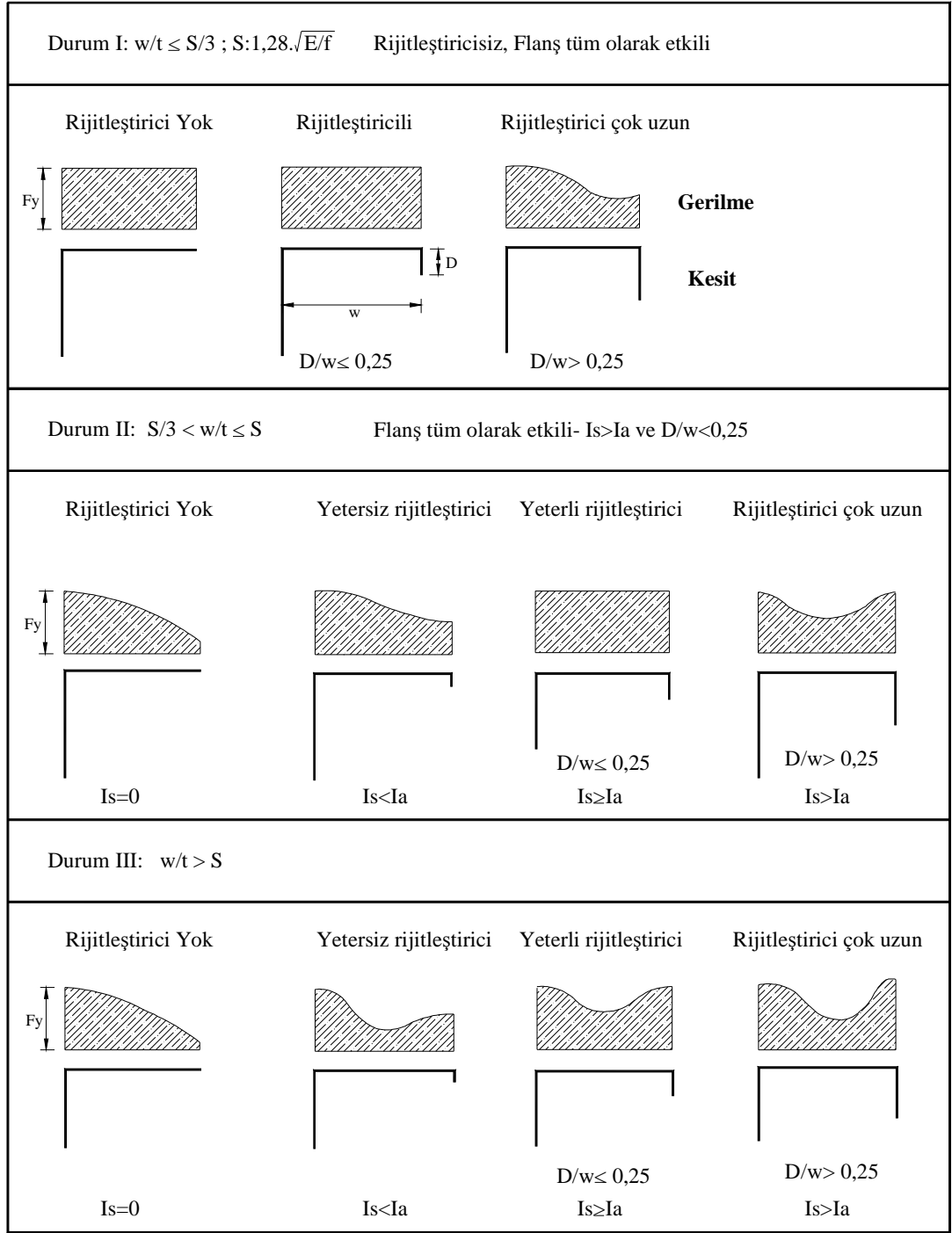
olarak hesaplanacaktır.

Yukarıda anlatılan üç durum için kenarları rijitleştirilmiş basınç levhasında boyuna gerilim dağılımları Şekil 3.27'de gösterilmiştir. I_s mevcut kenar rijitleştiricinin rijitleştirilen basınç levhası düzlemine paralel ve rijitleştirici elemanın ağırlık merkezinden geçen eksene göre atalet momentidir. Dolayısıyla $I_s < I_a$ durumu yetersiz rijitleştirici anlamına gelmektedir. Şekil 3.27'de görüldüğü gibi basınç levhası üzerindeki boyuna gerilme dağılımı aşağıda verilen parametrelere bağlı olarak değişmektedir;

$$1) \quad S = 1,28 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$2) \quad I_s \text{ ve } I_a$$

3) D/w oranı (Kenar rijitleştiricinin boyunun, rijitleştirilen levha genişliğine oranıdır.)



Şekil 3.27 Kenar rijitleştiricinin tasarım kuralları [2]

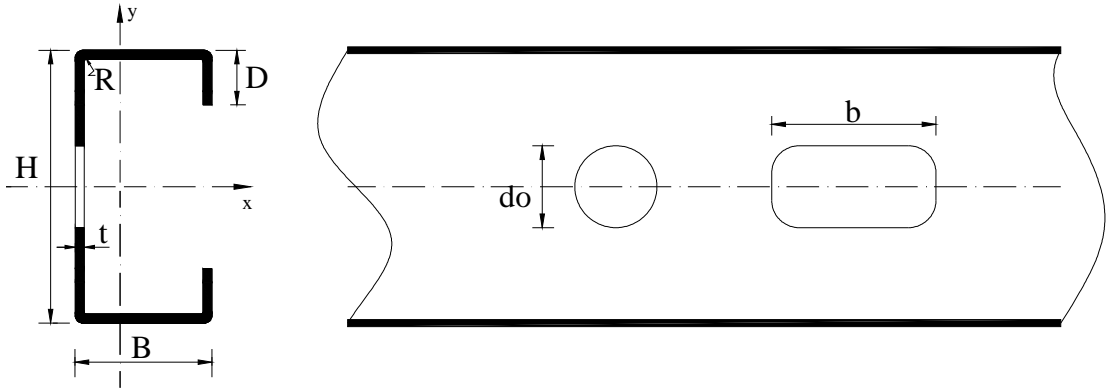
3.9 Kenarlarından Rijitleştirilmiş C kesitlerin Gövdelerinde Delik Olma Durumundaki Tasarım Kuralları

Dayanım; $d_o/h < 0,4$ için bölüm 3.8'de verilen formüller kullanılarak hesaplanacaktır. (b_1 ve b_2 hesabı). Eğer $d_o/h \geq 0,4$ olursa $f=f_1$ ve $k=0,43$ değerleri

kullanılarak etkin mukavemet momenti ve dolayısıyla moment kapasitesi hesaplanacaktır.

Yukarıdaki hesabın geçerli olması için bazı kısıtlamalar getirilmiştir [15]. Bunlar;

1. $d_o / h < 0,7$;
2. $h/t \leq 200$;
3. Delik gövdenin ortasında olmalıdır;
4. Bir delikten diğer deliğe temiz mesafe ≥ 457 mm;
5. Dairesel olmayan deliklerde kıvrım açısı $\geq 2*t$;
6. Dairesel olmayan deliklerde, $d_o \leq 64$ mm ve $b \leq 114$ mm;
7. Düzgün yuvarlak deliklerde delik çapı ≤ 152 mm;
8. $d_o > 14$ mm.



Şekil 3.28 Gövdede delik geometrisi

Gövdede delik bulunması durumunda kesitin kesme dayanım hesabı ile ilgili formüller 4. Bölümde verilmiştir. Ek C'de de verilen örnek problemle de konu uygulamalı olarak açıklanmaktadır.

4. BÖLÜM

EĞİLMEYE ÇALIŞAN ELEMANLARIN BOYUTLANDIRMA KURALLARI

4.1 Giriş

Kirişler bilindiği üzere üzerlerine gelen kuvvet ve/veya momentlerin kesitin kendi düzleminde eğilerek çalışmasıyla taşındığı en önemli yapı elemanlarından. Bu elemanların boyutlandırılmasında göz önüne alınan iki önemli husus kesitin moment taşıma kapasitesi ve elemanın rijitliğidir.

İnce cidarlı çelik eğilme elemanları da esasen yukarıda bahsedilen iki önemli husus göz önüne alınarak boyutlandırılır. Ancak kesitin ince levhalardan oluşması sebebiyle kapasite ve rijitlik hesabında özel kontroller gerekmektedir. Örneğin, bir elemanın flanşının rijitleştirilmiş seviyesine bağlı olarak dayanım hesabı farklı şekillerde hesaplanmaktadır. Bazı durumlarda elemanın yeterli eğilme rijitliğine sahip olmasına karşılık moment taşıma kapasiteleri yanal burkulma olasılığı nedeniyle sınırlandırılabilir. Ayrıca, elemanın gövde levhasında yerel burkulma kontrolü gerekir. Bir diğer örnek olarak soğukta şekil verilmiş ince cidarlı kesitlerde kayma gecikmesi, flanş kıvrılması gibi problemler de göz önüne alınmalıdır. Genel olarak soğukta şekil verilmiş ince cidarlı eğilme elemanlarında aşağıdaki kontrollerin yapılması gerekmektedir;

1. Eğilme Gerilmesi ve Sehime göre boyutlama,
2. Gövdenin kesme altında tasarımı, eğilme ve kesmenin beraber etkidiği durum, Gövde burkulması ve Eğilme ve Gövde burkulmasının beraber etkidiği durum,
3. Elemanın yanal burkulma kontrolü,
4. Kayma gecikmesi (Shear Lag),
5. Flanş kıvrılması (Flange Curling),

Bu bölümde eğilmeye çalışan ince cidarlı çelik elemanların boyutlandırma esasları verilmektedir. Söz konusu esaslar mevcut Amerikan AISI [15] ve TS [16] standartlarında yer alan kurallar çerçevesinde anlatılmıştır.

4.2 Genel Eğilme Momenti Kapasitesi Hesabı

İnce cidarlı çelik eğilme elemanının eğilme momenti taşıma kapasitesinin hesabı için, aşağıda verilen adımlar izlenir;

1. Kiriş kesitinin, Bölüm 3’de belirtilen etkin genişlik esasıyla enkesit atalet momenti hesaplanır.
2. Akma Gerilmesi (F_y) ile Etkin Mukavemet momenti (S_e) çarpılır. ($M_n = S_e * F_y$)
3. Emniyet gerilmeleri esasına göre tasarımda M_n bir azaltma katsayısına (örneğin; $\Omega_b = 1,67$) bölünerek kesitin taşıyabileceği Güvenlikli Moment değeri bulunur. Taşıma gücü esasına göre tasarımda ise hesaplanan M_n değeri birden küçük bir emniyet katsayısı ile çarpılır (örneğin $\phi_b = 0,9$). Bu hesaplanan değerlerin emniyet gerilmeleri esasına göre tasarımda servis yükleri altında hesaplanan moment’den , taşıma esasına göre tasarımda ise arttırılmış yükler altında hesaplanan moment değerinden büyük olmaları gerekmektedir.

Bu konuda Ek A’daki örnek incelenebilir.

4.3 Kiriş Gövdesinin Boyutlandırılması

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik elemanlar sadece eğilme gerilmesi ve sehime göre boyutlandırılması yeterli değildir. Kirişin gövdesinin; kayma, eğilme, kayma ile eğilmenin beraber etkimesi hali, gövdenin burkulması ve eğilme ile gövde burkulmasının beraber etkidiği hal için kontrol edilmesi gerekmektedir [2].

4.3.1 Güçlendirilmiş Gövde Durumu

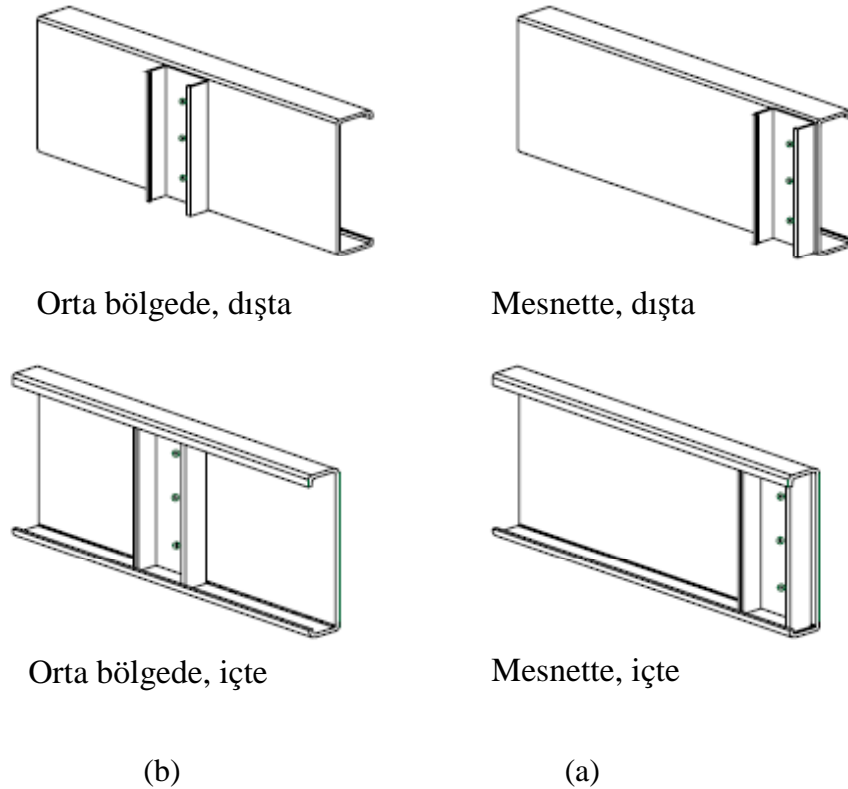
a) Mesnet Bölgesinin Güçlendirilmesi : Kirişlerde, büyük h/t oranlarında ve eksantrik olmayan yüklemelerde mesnet bölgesinde güçlendirme elemanı kullanılması gerekmektedir .

$$P_n = F_{wy} \cdot A_c \quad (4.1)$$

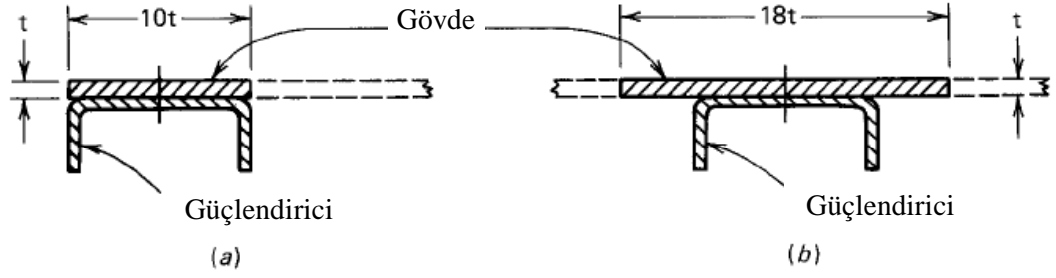
$A_c = 10.t^2 + A_s$ (kirişin sonunda yapılan enine rijitleştirici) –(Şekil 4.2-a)

$A_c = 18.t^2 + A_s$ (kirişin orta bölgesinde ve eksantrik olmayan yüklemeler için enine rijitleştirici) –(Şekil 4.2-b)

İlave olarak, $0,37 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} < w/t_s < 1,28 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}}$ şartı sağlanmalıdır.



Şekil 4.1 Gövdede yapılan güçlendirme türleri [19]



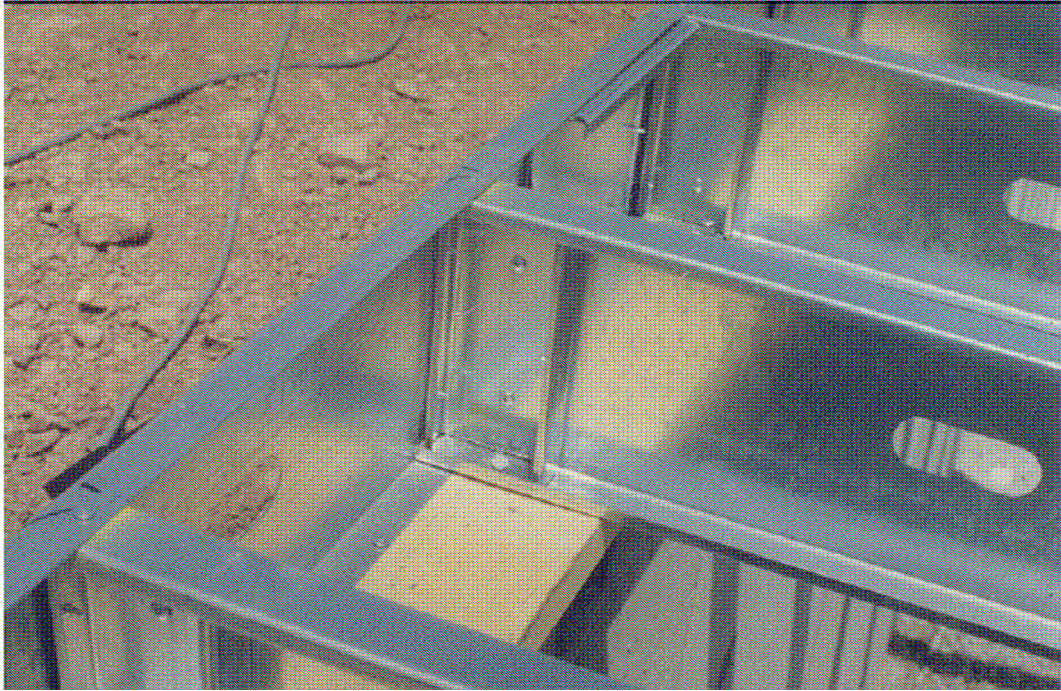
Şekil 4.2 A_c etkili alanı için gövdede güçlendirme [2]

b) Orta Bölgenin Güçlendirilmesi: Orta bölgede kullanılan güçlendirme elemanları aşağıdaki şartları sağlamalıdır.

1. Güçlendirme elemanları arasındaki mesafe, a

$$a \leq \left(\frac{260}{h/t} \right)^2 \cdot h \quad (4.2)$$

$$a \leq 3 \cdot h \quad (4.3)$$



Resim 4.1 Mesnet bölgesinde gövdenin güçlendirilmiş hali [19]

2. Güçlendirme elemanın atalet momenti; I_s

$$I_s \geq h \cdot t^3 \cdot \left(\frac{h}{a} - \frac{0,7 \cdot a}{h} \right) \quad (4.4)$$

$$I_s \geq \left(\frac{h}{50} \right)^4 \quad (4.5)$$

3. Güçlendirme elemanının brüt alanı; A_s

$$A_s \geq \frac{1-C_v}{2} \left[\frac{a}{h} - \frac{(a/h)^2}{(a/h) + \sqrt{1+(a/h)^2}} \right] \cdot Y \cdot D \cdot h \cdot t \quad (4.6)$$

$$C_v = \begin{cases} \frac{1,53 \cdot E \cdot k_v}{F_y \cdot (h/t)^2} & C_v \leq 0,8 \end{cases} \quad (4.7)$$

$$C_v = \begin{cases} \frac{1,11}{(h/t)} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_v}{F_y}} & C_v > 0,8 \end{cases} \quad (4.8)$$

$$k_v = \begin{cases} 4,0 + \frac{5,34}{(a/h)^2} & a/h \leq 1,0 \end{cases} \quad (4.9)$$

$$k_v = \begin{cases} 5,34 + \frac{4,0}{(a/h)^2} & a/h > 1,0 \end{cases} \quad (4.10)$$

4.3.2 Kiriş Gövdesinin Kesme Dayanımı

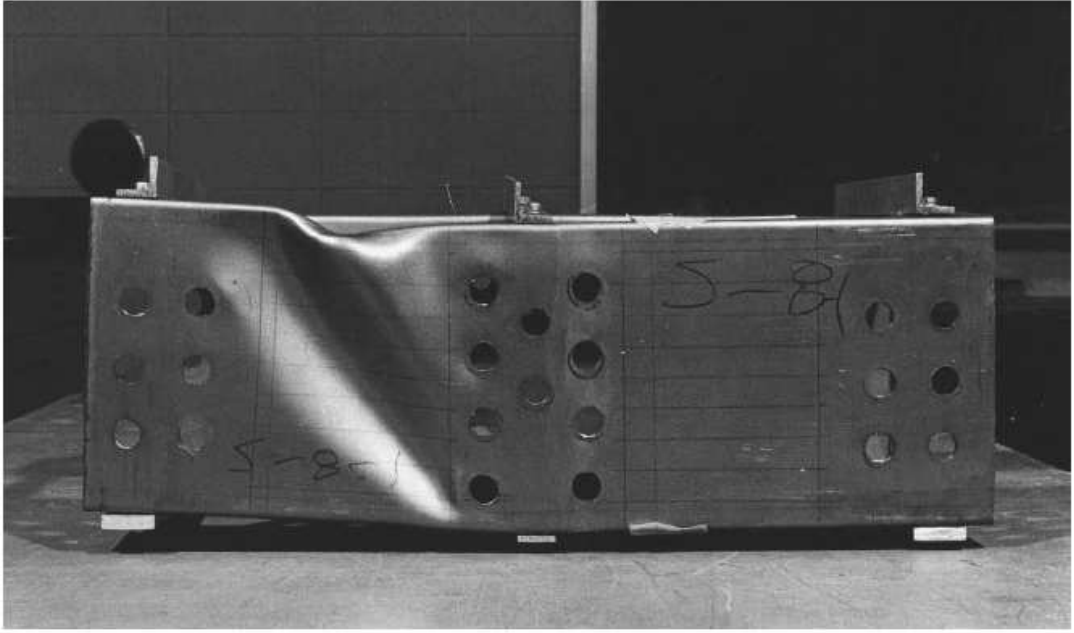
a) Kayma Akması: Nispeten küçük h/t oranına sahip bir gövde levhası kayma gerilmeleri etkisinde kalırsa, gövdenin kesme dayanımı kayma akmasıyla sınırlı olacaktır. Bu seviyede oluşacak kayma gerilmesi $\tau = \frac{F_y}{\sqrt{3}}$ şeklinde verilir. Kesme

kapasitesi ise aşağıdaki formülle ifade edilir [2].

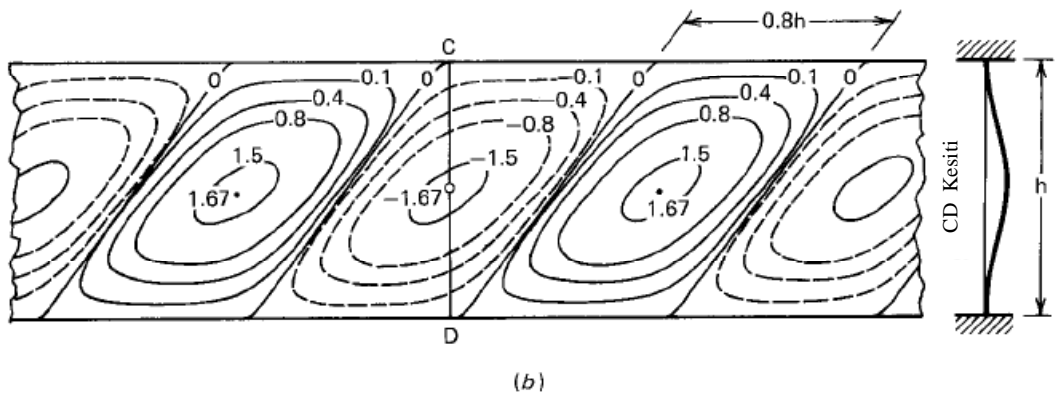
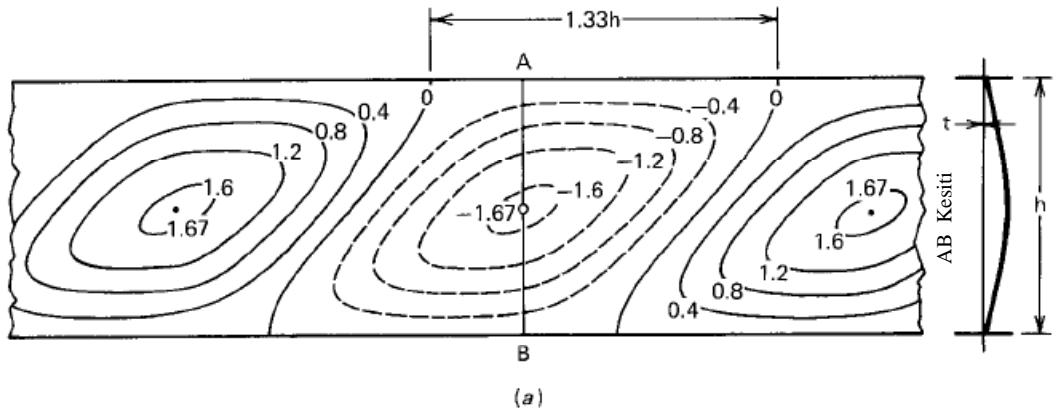
$$V_n = \left(\frac{F_y}{\sqrt{3}} \right) \cdot (h \cdot t) \cong 0,6 \cdot F_y \cdot h \cdot t \quad (4.11)$$

b) Elastik Kayma Burkulması: Daha büyük h/t oranlarına sahip gövde levhalarında, yük taşıma kapasitesi kaybı, kayma modunda bir yerel burkulmanın oluşumuyla ortaya çıkar. Southwell ve Skan tarafından sonsuz uzun plakların kayma modunda burkulması konusunda yapılmış olan çalışmalar, plağın Şekil 4.3'de görüldüğü gibi birbirinden ayrı bir seri yerel burkulma formu oluşturduğunu göstermiştir. Elastik kritik kayma burkulma gerilmesi aşağıda verilen formülle hesaplanabilir.

$$\tau_{cr} = \frac{k_v \cdot \pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2) (h/t)^2} \quad (4.12)$$

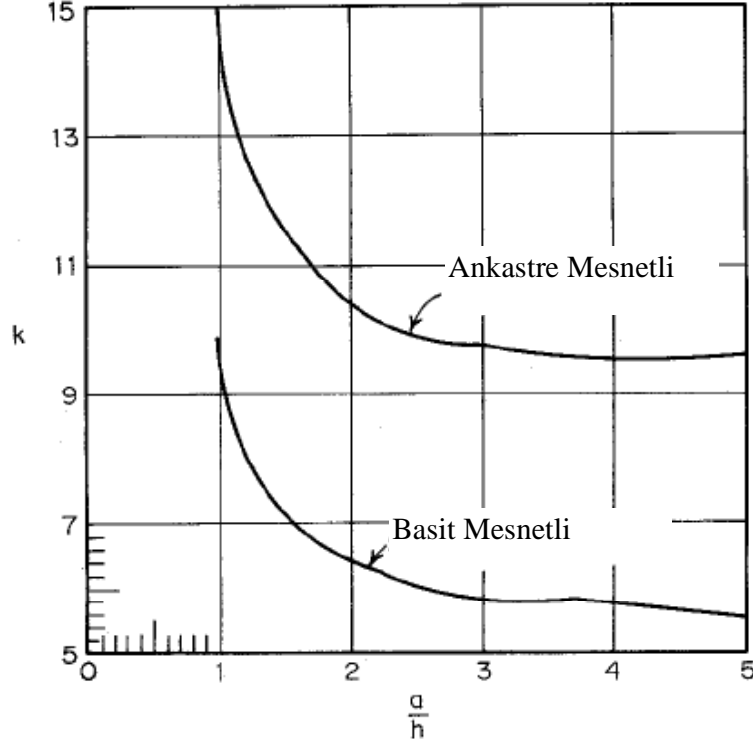


Resim 4.2 Gövdenin kesme kuvveti altında burkulması [2]



Şekil 4.3 Sonsuz uzun levhada kayma burkulması [2]

Yukarıdaki 4.8 denkleminde, k_v değeri sınır şartlarını ve a/h (plak uzunluğu/genişliği) oranına bağlıdır. Bu durum Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4 Farklı sınır şartları için k - a/h ilişkileri [2]

Uzun bir plak için, basit mesnetli olması halinde $k_v=5,34$; ankastre mesnetli olması halinde ise $k_v=8,98$ olarak bulunur.

$\mu=0,3$ için;

$$\tau_{cr} = \frac{0,905 \cdot k_v \cdot E}{(h/t)^2} \quad (4.13)$$

$$\tau_{cr} = 0,8 \cdot \tau_y \quad (4.14)$$

$$V_n = \frac{0,905 \cdot k_v \cdot E}{(h/t)^2} \cdot (h \cdot t) = \frac{0,905 \cdot k_v \cdot E \cdot t^3}{h} \quad (4.15)$$

c) Elastik olmayan bölgedeki Kayma Burkulması: Orta büyüklükte h/t oranına sahip plaklarda burkulma elastik olmayan bölgede gerçekleŐebilir. Bu durumda, elastik

olmayan bölgede kritik burkulma gerilmesi, Basler tarafından aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir [2].

$$\tau_{cr} = \sqrt{\tau_{pr} \cdot \tau_{cri}} \quad (4.16)$$

$$\tau_{cri} = \frac{k_v \cdot \pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2) (h/t)^2} \quad (4.17)$$

$$\tau_{pr} = 0,8 \cdot \tau_y = 0,8 \cdot \frac{F_y}{\sqrt{3}} = 0,46 \cdot F_y \quad (4.18)$$

$$\tau_{cr} = \frac{0,64 \cdot \sqrt{k_v \cdot F_y \cdot E}}{h/t} \quad (4.19)$$

$$V_n = \frac{0,64 \cdot \sqrt{k_v \cdot F_y \cdot E}}{h/t} \cdot (h \cdot t) = 0,64 \cdot t^2 \cdot \sqrt{k_v \cdot F_y \cdot E} \quad (4.20)$$

d) AISI' [15] ya göre Deliksiz Gövdelerdeki Kayma Dayanım Kuralları:

$$\text{Durum I: } \frac{h}{t} \leq 0,96 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_v}{F_y}} \quad (4.21)$$

$$V_n = 0,60 \cdot F_y \cdot h \cdot t \quad (4.22)$$

$$\text{Durum II: } 0,96 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_v}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 1,415 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_v}{F_y}} \quad (4.23)$$

$$V_n = 0,64 \cdot t^2 \cdot \sqrt{k_v \cdot F_y \cdot E} \quad (4.24)$$

$$\text{Durum III: } \frac{h}{t} > 1,415 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_v}{F_y}} \quad (4.25)$$

$$V_n = \frac{k_v \cdot \pi^2 \cdot E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot h} = \frac{0,905 \cdot E \cdot k_v \cdot t^3}{h} \quad (4.26)$$

1. Güçlendirilmemiş gövde için; $k_v = 5,34$

2. Güçlendirilmiş gövde;

- $a/h \leq 1,0$ için;

$$k_v = 4,00 + \frac{5,34}{(a/h)^2} \quad (4.27)$$

- $a/h > 1,0$ için;

$$k_v = 5,34 + \frac{4,00}{(a/h)^2} \quad (4.28)$$

e) AISI [15] ya göre Delikli Gövdelerdeki Kayma Dayanım Kuralları:

İlk olarak aşağıdaki kısıtlamalar uygulanmalıdır.

1. $d_o / h < 0,7$;
2. $h/t \leq 200$;
3. Delik gövdenin ortasında olmalıdır.;
4. Bir delikten diğer deliğe temiz mesafe ≥ 457 mm;
5. Yuvarlak olmayan deliklerde kıvrım açısı $\geq 2 \cdot t$;
6. Yuvarlak olmayan deliklerde, $d_o \leq 64$ mm ve $b \leq 114$ mm;
7. Düzgün yuvarlak deliklerde delik çapı ≤ 152 mm;
8. $d_o > 14$ mm.

$$V_{n1} = q_s \cdot V_n \quad (4.29)$$

- $c/t \geq 54$

$$q_s = 1,0 \quad (4.30)$$

- $5 \leq c/t < 54$

$$q_s = \frac{c}{54 \cdot t} \quad (4.31)$$

$$\text{➤ } c = \frac{h}{2} - \frac{d_o}{2,83} \quad (\text{Dairesel delikler}) \quad (4.32)$$

$$\text{➤ } c = \frac{h}{2} - \frac{d_o}{2} \quad (\text{Dairesel olmayan delikler}) \quad (4.33)$$

4.4 TS 11372'e göre Kenarları rijitleştirilmiş C kesitlerin Eğilme ve Kayma Gerilmesi Hesaplama Kuralları

4.4.1 Etkili Enkesit Ataletinin Hesabı

$$\frac{w}{t} \leq \left(15 + 30 \cdot \sqrt{\frac{D}{H}} \right) \cdot \sqrt{\frac{235}{\sigma_e}} \quad (4.34)$$

sağlamazsa başlıkta etkin genişlik hesabı yapılmalıdır [13].

$$I_s \geq \begin{cases} 1,84 \cdot t^4 \cdot \sqrt{\left(\frac{w}{t}\right)^2 - 144} \\ 9,2 \cdot t^4 \end{cases} \quad (4.35)$$

$$D \geq \begin{cases} 2,8 \cdot t \cdot \sqrt{\left(\frac{w}{t}\right)^2 - 144} \\ 4,8 \cdot t \end{cases} \quad (4.36)$$

Bu iki şartı sağlamayan elemanlar, rijitleştirici sayılmazlar ve cidar rijitleştirilmiş kabul edilmez [16].

Etkili genişlik;

$$\bullet \quad \frac{w}{t} \leq 0,95 \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{em}}} \quad b=w \quad (4.37)$$

$$\bullet \quad 0,95 \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{em}}} < \frac{w}{t} \leq 60 \quad b = 0,95 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{em}}} \quad (4.38)$$

$$\bullet \quad 60 < \frac{w}{t} \leq 90 \quad b = \left(0,95 \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{em}}} - \frac{w}{10 \cdot t} + 6 \right) \cdot t \quad (4.39)$$

$$\blacklozenge \quad \frac{w}{t} \leq 60 \quad \text{ise kenar rijitleştirici alanı tamamen göz önüne alınır. } A_{re}=A_r$$

$$\blacklozenge \quad 60 < \frac{w}{t} \leq 90 \quad \text{ise } \frac{A_{re}}{A_r} = 1 - \left(\frac{w}{30 \cdot t} - 2 \right) \cdot \left(1 - \frac{b}{w} \right) \quad (4.40)$$

4.4.2 Genel Eğilme Momenti Kapasitesi Hesabı

Rijitleştirilmiş düzlemsel basınç elemanı tipinde flanşa sahip bir kesitin, eğilme momenti taşıma kapasitesinin hesabı için, aşağıda belirlenen değerlerin saptanması gerekir;

1. Kiriş kesitinin, 4.4.1'de belirtilen etkin genişlik esasıyla enkesit atalet momenti hesaplanır.
2. Akma Gerilmesi (F_y) ile bir azaltma katsayı (0,6) ile çarpılarak emniyet gerilmesi bulunur.
3. Emniyet gerilmesi ile etkili mukavemet momenti çarpılarak emniyetli eğilme moment değeri bulunur.

Bu konuda Ek B'daki örnek incelenebilir.

4.4.3 Kiriş Gövdesindeki Kayma Gerilmesi

$$\bullet \frac{h}{t} \leq \frac{1450}{F_y} \text{ için, } \tau_{oem} = \frac{409,8 \cdot \sqrt{F_y}}{(h/t)} \quad (4.41)$$

Ayrıca $\tau_{oem} \leq 0,4 \cdot F_y$ şartı sağlanmalıdır.

$$\bullet \frac{h}{t} > \frac{1450}{F_y} \text{ için, } \tau_{oem} = \frac{600.000}{(h/t)^2} \quad (4.42)$$

Bu iki durumdan kesitin emniyetli kayma gerilme değeri bulunur ve gövde alanı ile çarpılarak kesitin taşıyabileceği maksimum kesme kuvveti değeri elde edilir.

$$V_a = \tau_{oem} \cdot A_g \quad (4.43)$$

5. BÖLÜM

EĞİLMEYE ÇALIŞAN İNCE CİDARLI C-KESİT ELEMANLARIN İNCELENMESİ

5.1 Giriş

Üçüncü ve Dördüncü bölümlerde anlatılanlar kapsamında bu bölümde kenarları rijitleştirilmiş ince cidarlı C kesit elemanların eğilme ve kesme dayanımları parametrik olarak incelenmiştir. Ayrıca eleman gövde levhasında açılan farklı boyutlardaki dairesel deliklerin eğilme ve kesme dayanımları üzerine etkisi çalışılmış ve irdelenmiştir.

Birinci bölümde de belirtildiği gibi çalışma kapsamında yapılan parametrik analizler için bir bilgisayar programı yazılmış ve program sayesinde elde edilen sonuçlar grafikleştirilerek, bu grafikler üzerinden karşılaştırılmalı yorumlar yapılmıştır.

Çalışmada temel olarak farklı kesit geometrilerinin delikli ve deliksiz durumlar için kesit eğilme momenti dayanımı ve kesme dayanımı üzerine etkisi iki farklı standart (AISI-96, TS 11372) kuralları kullanılarak incelenmiştir. Bu kapsamda farklı geometrileri oluşturmak üzere kullanılan değişkenler öncelikle kesit derinliği, H , başlık elemanları narinlikleri, λ ve delik çapının kesit derinliğine oranı d_o/h tır.

Hesaplanan dayanım değerleri (M_n , V_n) standartlarda verilen nominal dayanım değerleri olup tasarım değerleri değildir. Delikli durum hesaplarında sadece AISI-96 göz önüne alınarak yapılmıştır. TS 11372'de gövdede delik durumu ele alınmamaktadır.

Ele alınan ince cidarlı C kesit profillerin gövde düzlemine paralel yükleme olarak, düzgün yayılı yükleme altında olduğu, noktasal herhangi bir yükün olmadığı ve yeterli seviyede yanal ötelenmesinin engellendiği varsayılarak analizler yapılmıştır.

Ayrıca malzeme kalitesi değişken bir parametre değildir. Hesaplarda S 220 ($F_y=220$ MPa) kalite çelik kabul edilmiştir.

Aşağıda çalışma sonucu olarak üretilen eğriler verilmiş ve ortaya çıkan ilişkiler kritik olarak irdelenmiştir.

5.2 Eğilme Dayanımının İncelenmesi

Şekil 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 ve 5.5 te beş farklı basınç başlığı narinliği için eğilme dayanımı kesit derinliği ilişkileri verilmiştir. Seçilen narinlik değerleri, bölüm üç de bahsedilen üniform basınç altındaki levhalar için verilen kritik narinlik değerinden ($\lambda=0,673$) küçük ve büyük olacak şekilde geniş bir aralıkta seçilmiştir. Değerler arasındaki artım farkı eşittir. Eğrilerden görüldüğü üzere kesit derinliğinin artmasıyla birlikte moment kapasitesi lineere yakın bir davranış trendi içinde artmaktadır. Bahsi geçen eğriler AISI-96 standardı kurallarına göre oluşturulmuştur

Şekil 5.6 da ise yukarıda bahsedilen eğilme dayanımı kesit derinliği ilişkisi tüm basınç başlığı narinlikleri için tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu grafikte görüldüğü gibi basınç başlığı narinliği arttıkça moment kapasitesi azalmaktadır. Dikkati çeken bir nokta, iki ardışık basınç başlığı narinliği için hesaplanan eğilme dayanımları arasında fark özellikle kesit derinliği arttıkça azalmaktadır.

Şekil 5.7 ve 5.8 de eğilme dayanımı kesit derinliği ilişkisi seçilen iki başlık narinliği için standartlarda belirtildiği gibi etkili levha genişlikleri düşünülerek ve karşılaştırma amaçlı olmak üzere etkili genişlikler düşünülmeden oluşturulan eğriler üzerinden verilmiştir. Beklendiği gibi, etkili genişliklerin göz önüne alınması eğilme dayanımının azalması anlamına gelmektedir. Daha büyük başlık narinliğinde söz konusu azalma daha büyük olmaktadır.

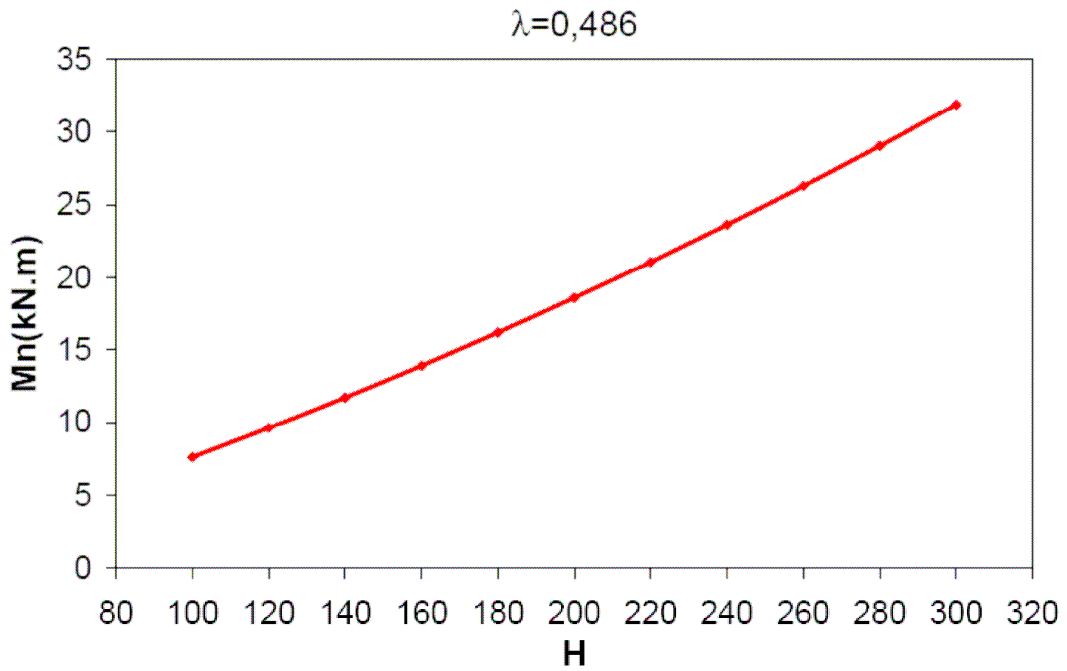
Yukarıda anlatılan ve Şekil 5.6 da verilen beş farklı narinlik durumunun karşılaştırılması ile ilgili grafik AISI-96 standardı kurallarına göre oluşturulmuştur. Benzer bir karşılaştırma Şekil 5.9 da TS 11372 için verilmiştir. Şekil 5.6 ve 5.9 birbirleriyle karşılaştırıldığında farklı narinlikler için oluşturulan dayanım eğrilerinin

AISI-96'ya göre TS 11372'de birbirlerine oldukça yakın oldukları gözlemlenmektedir. Söz konusu farklılık Şekil 5.10, 5.11 ve 5.12 de farklı narinlikler için ayrı ayrı verilen grafiklerde de belirtilmektedir. Bu grafikler en düşük, en yüksek ve orta narinlik değerleri için oluşturulmuştur. Dikkat edilecek olursa, en düşük narinlik değeri için AISI ve TS eğrileri yaklaşık olarak üst üste oturmaktadır. Artan narinlik değerleri için iki standarda göre hesaplanan dayanım değerleri arasındaki fark artmaktadır.

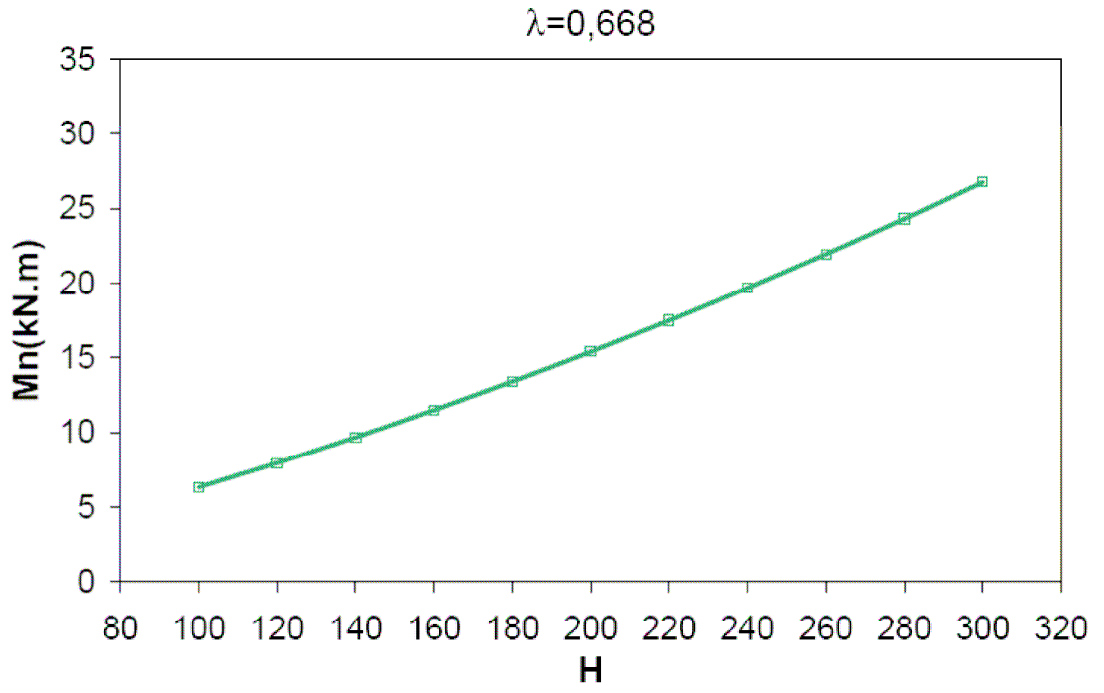
Şekil 5.13'te TS 11372 nin ve AISI-96 nin nominal moment dayanımı için verdiği değerler arasındaki farklar beş farklı narinlik değeri için değeri için yüzde olarak gösterilmiştir. Burada dikkat edilirse, belli bir narinlik değerinden ($\lambda=0,673$) sonra grafiğin eğimi değişmekte ve bu değerden sonra yaklaşık lineer olarak fark artmaktadır. Üçüncü bölümde de bahsedildiği gibi $\lambda=0,673$ narinlik değeri aşılması durumunda basınç altındaki levhada etkin genişliğin kullanılması gereken bir kritik değerdir. Bu da göstermektedir ki etkin genişlik AISI-96 standardında TS 11372'ye göre daha emniyetli olacak şekilde daha düşük değerlerde hesaplanmaktadır, dolayısıyla AISI-96'ya göre hesaplanan moment dayanım değerleri daha düşük olmaktadır.

Şekil 5.15, 5.16 ve 5.17'de üç değişik kesit derinliği için ($H=100, 200$ ve 300 mm) delik çapının kesit derinliğine oranı (d_o/h) ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki üç farklı basınç başlığı narinliği için verilmiştir. Bu grafiklerde ele alınan d_o/h oranları 0(deliksiz durum)-0,2-0,3-0,4-0,5-0,6-0,7-0,8 ve 0,9 dur. Şekil 5.14'te söz konusu d_o/h oranları şematik olarak gösterilmiştir. Eğrilere dikkat edilirse $d_o/h=0,4$ olması durumuna kadar yatay doğrusal bir ilişki vardır, yani bu delik çapı değerine kadar moment dayanımı değişmemektedir. $d_o/h=0,4$ değerinde ani bir düşüş gözlemlenmekte olup bu düşüş kesit derinliği arttıkça artmaktadır. Örneğin $d_o/h=0,4$ değerinde ve $\lambda=0,893$ için $H=100$ mm de ki düşüş %1 civarında iken $H=300$ mm deki düşüş %12 civarındadır. $d_o/h=0,4$ değerinden sonra lineer olarak dayanım değeri azaltmakta olup AISI-96'da belirtilen sınır değer olan $d_o/h=0,7$ değerini aşınca da eğrilerin eğimi farklılaşmakta ve dayanımdaki azalma artmaktadır. Bu azalma kesit derinliği H ' ın büyük değerlerinde ($H=300$ mm) daha fazladır.

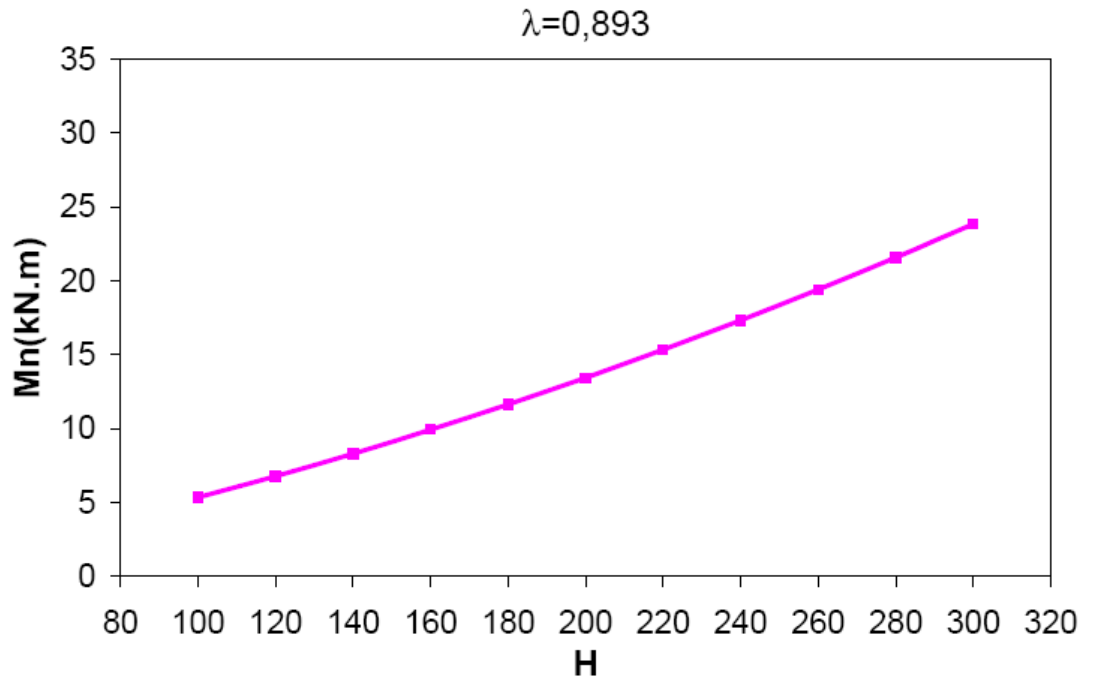
Şekil 5.18, 5.19 ve 5.20 de üç farklı narinlik için kesit derinliğinin artmasıyla oluşan eğilme dayanımı değerleri dört farklı d_o/h için verilmiştir. Burada kesit derinliğinin 100, 200 ve 300 mm durumlarında oluşan dayanım değerleri incelenmiştir. $d_o/h=0,4$ ve $0,7$ için eğrilerin yaklaşık olarak üst üste düştüğü, $0,2$ ile $0,9$ durumları için ise diğer iki eğriden uzaklaştığı görülmüştür. Yukarıda da bahsedildiği gibi bu uzaklaşma $H=300$ mm de en büyük değeri almaktadır. $d_o/h=0,2$ olması halinde dayanım hesaplarında kullanılan k katsayısının farklı alınmaktadır. $d_o/h=0,9$ değeri için ise standart herhangi bir hesap yöntemi vermemektedir. Gözlemlenen bu uzaklaşmaların sebepleri olarak bu iki husus verilebilir.



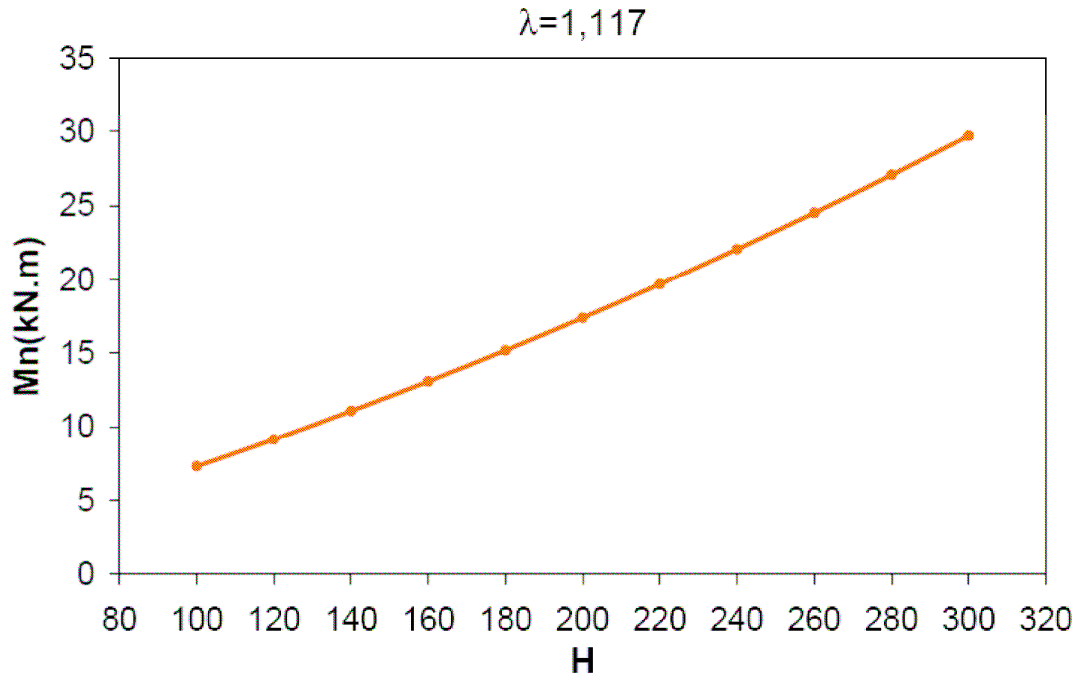
Şekil 5.1



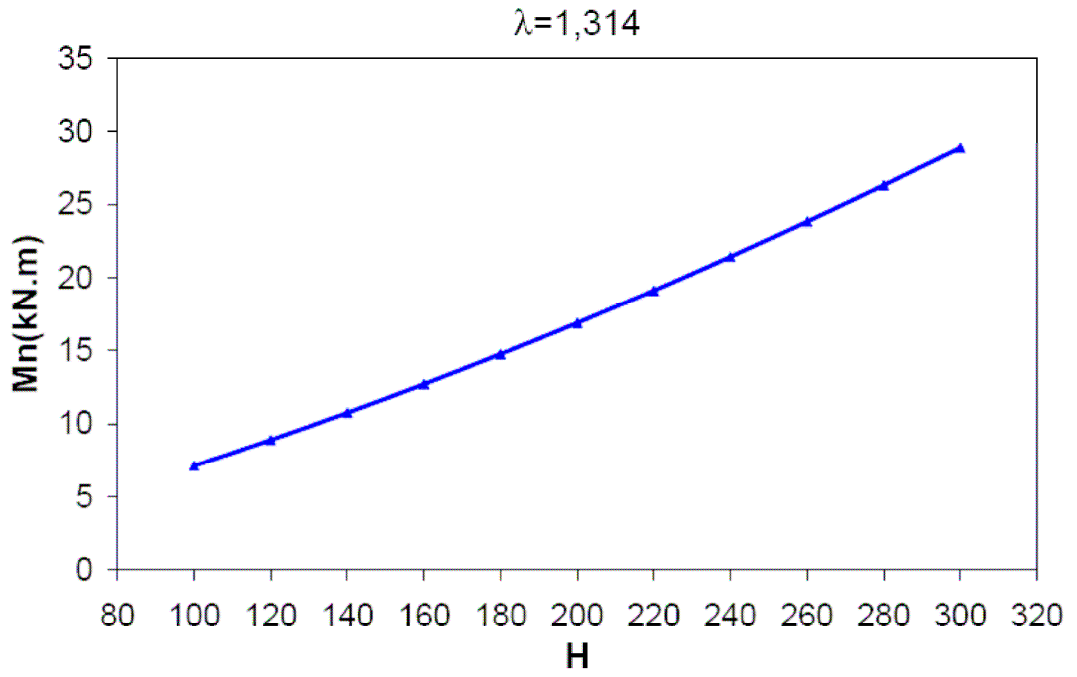
Şekil 5.2



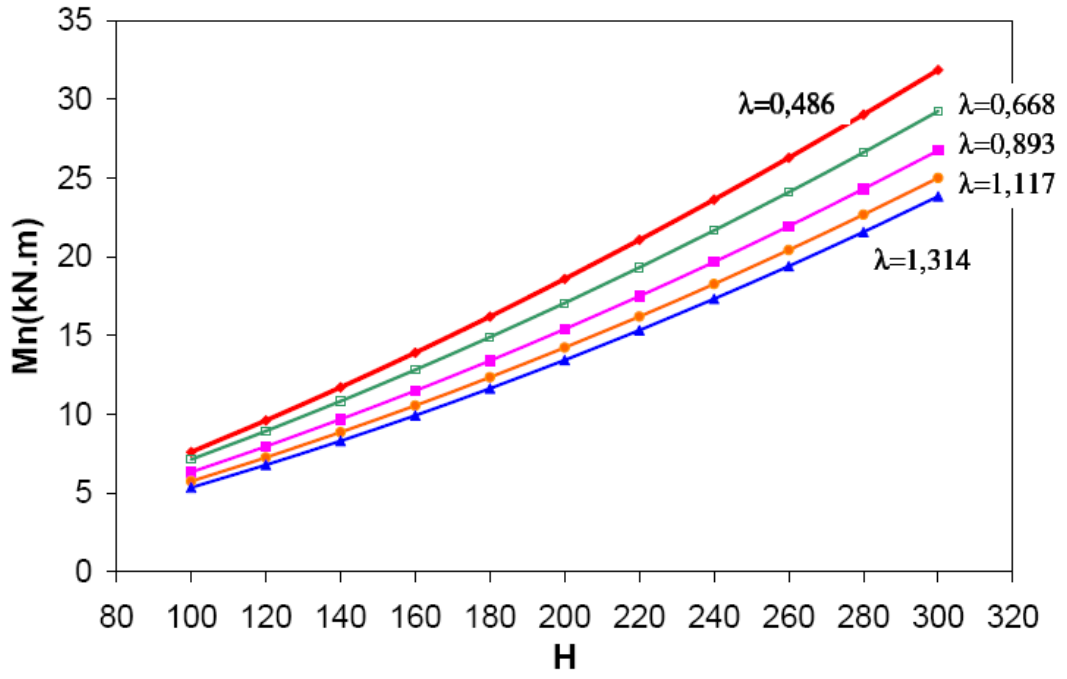
Şekil 5.3



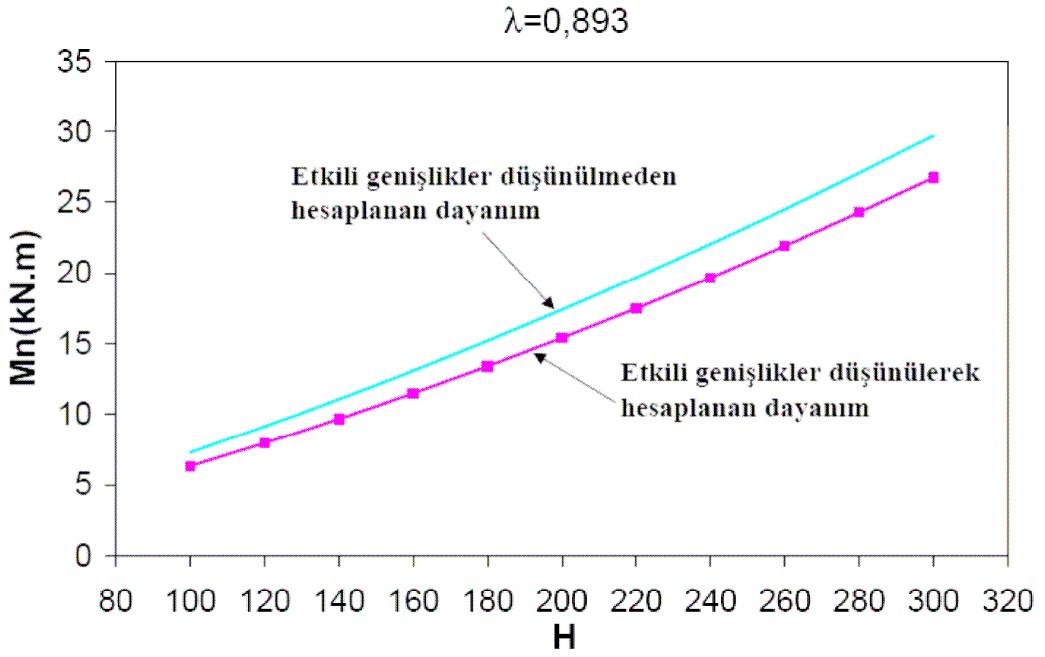
Şekil 5.4



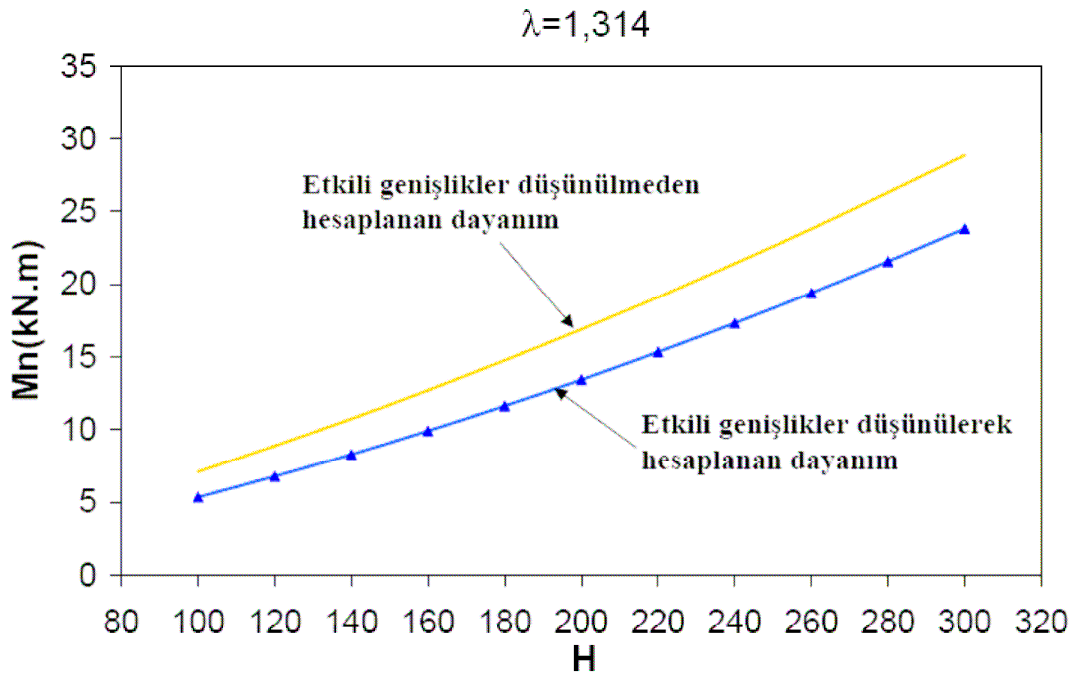
Şekil 5.5



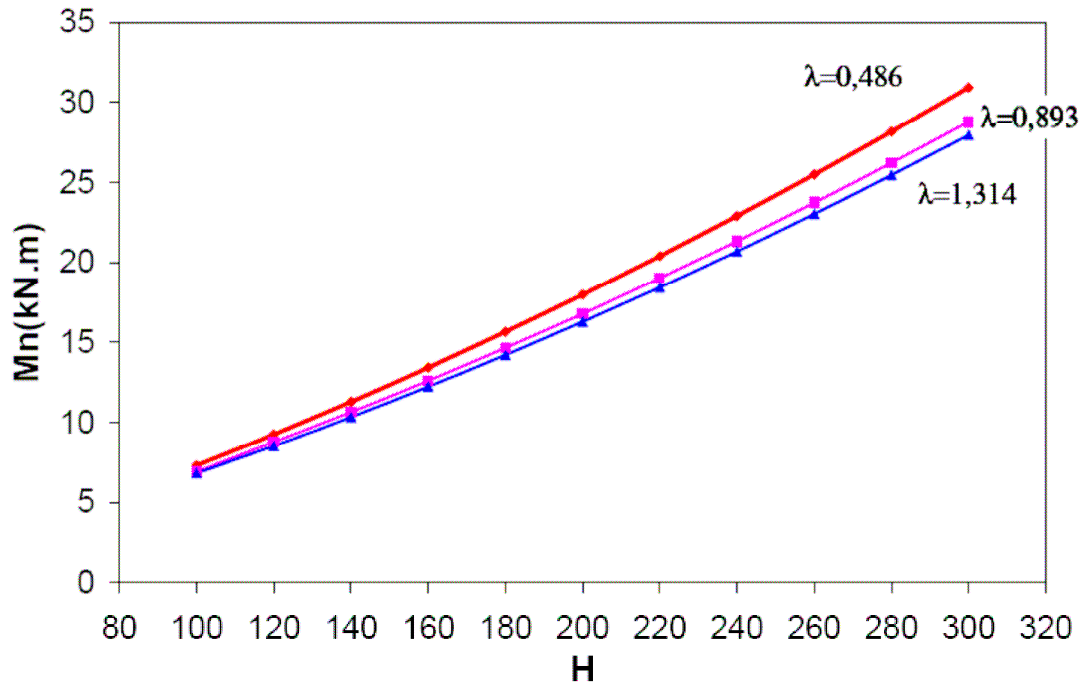
Şekil 5.6



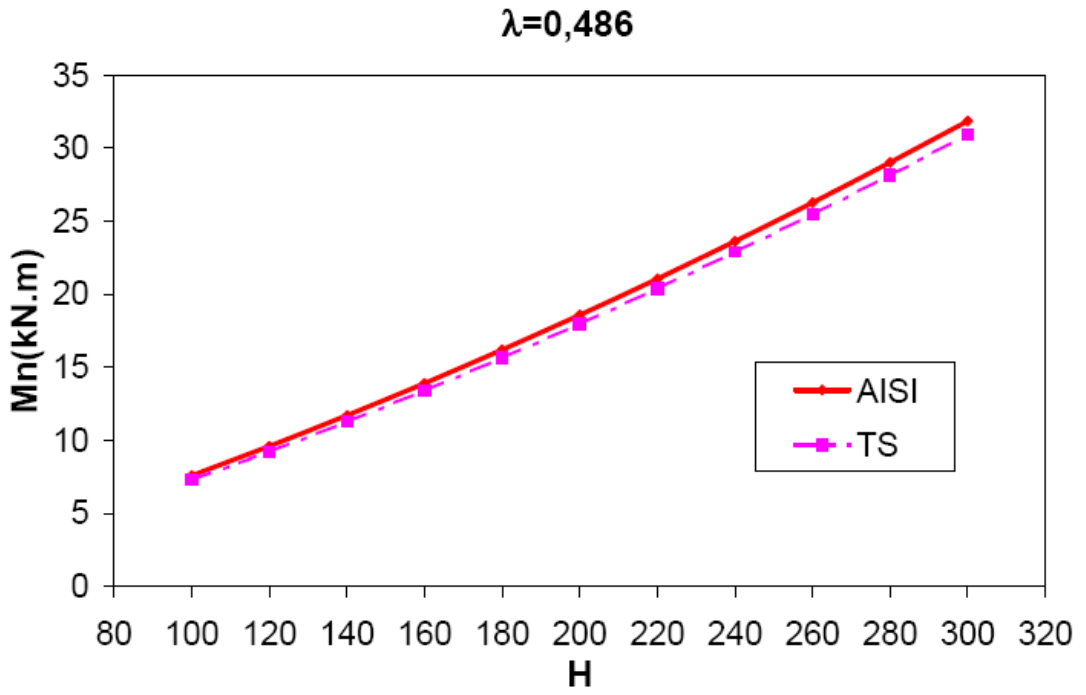
Şekil 5.7



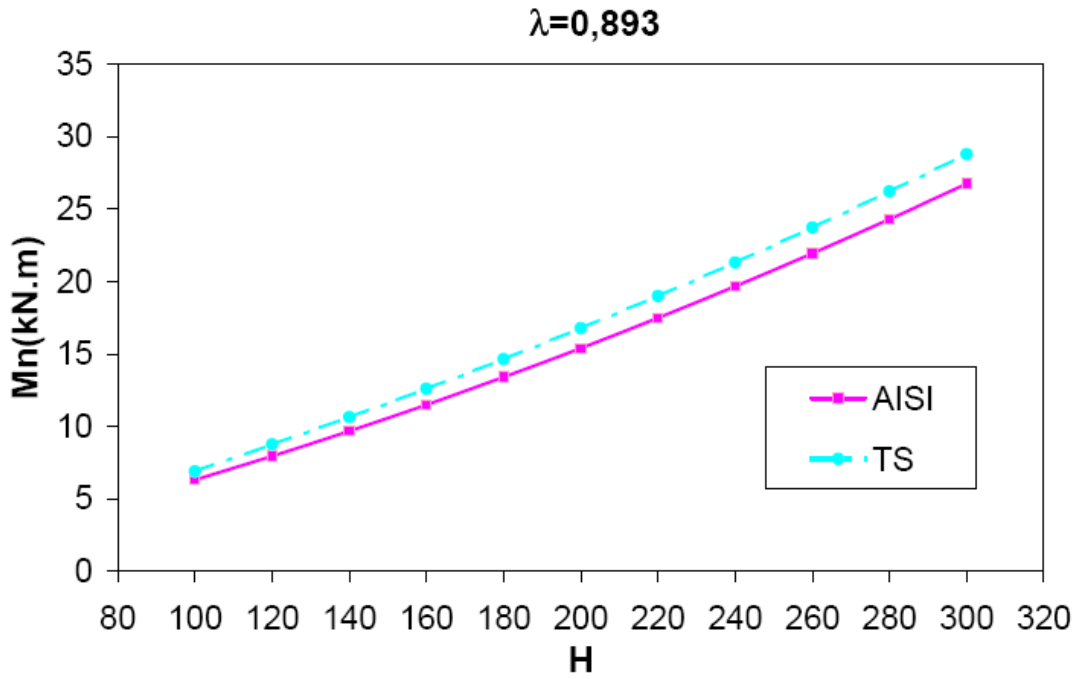
Şekil 5.8



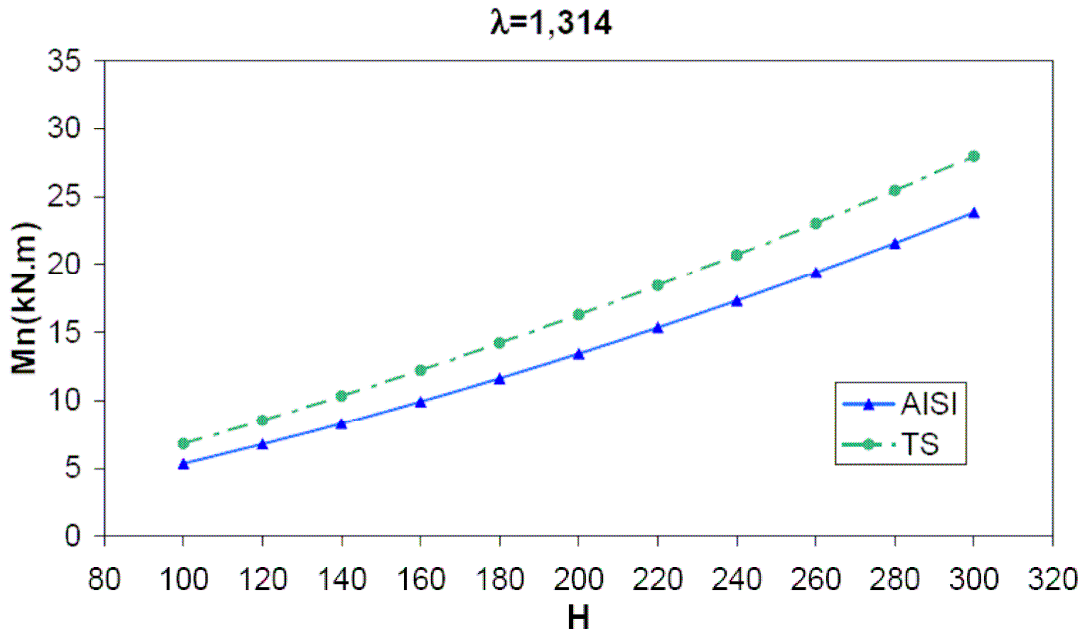
Şekil 5.9



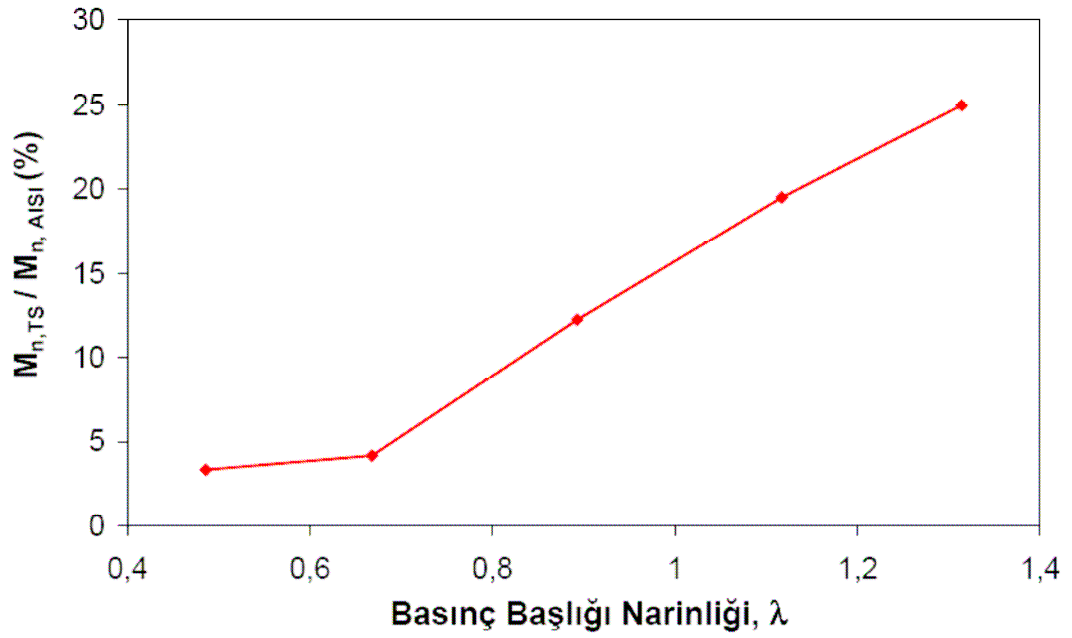
Şekil 5.10



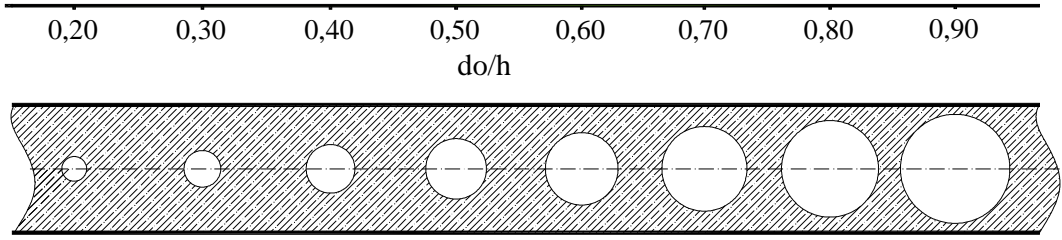
Şekil 5.11



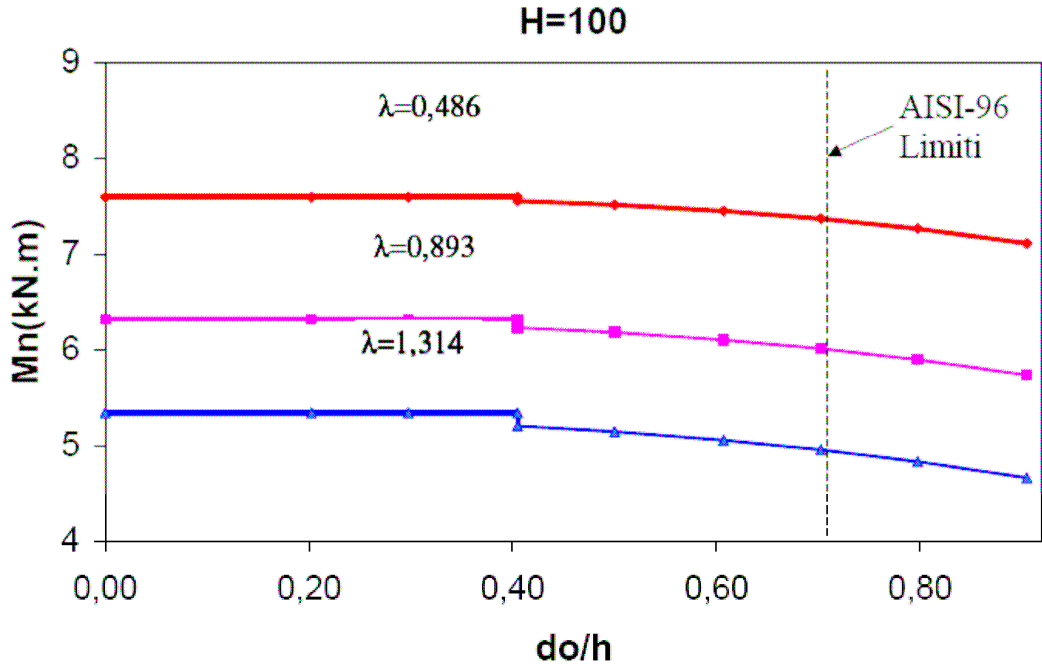
Şekil 5.12



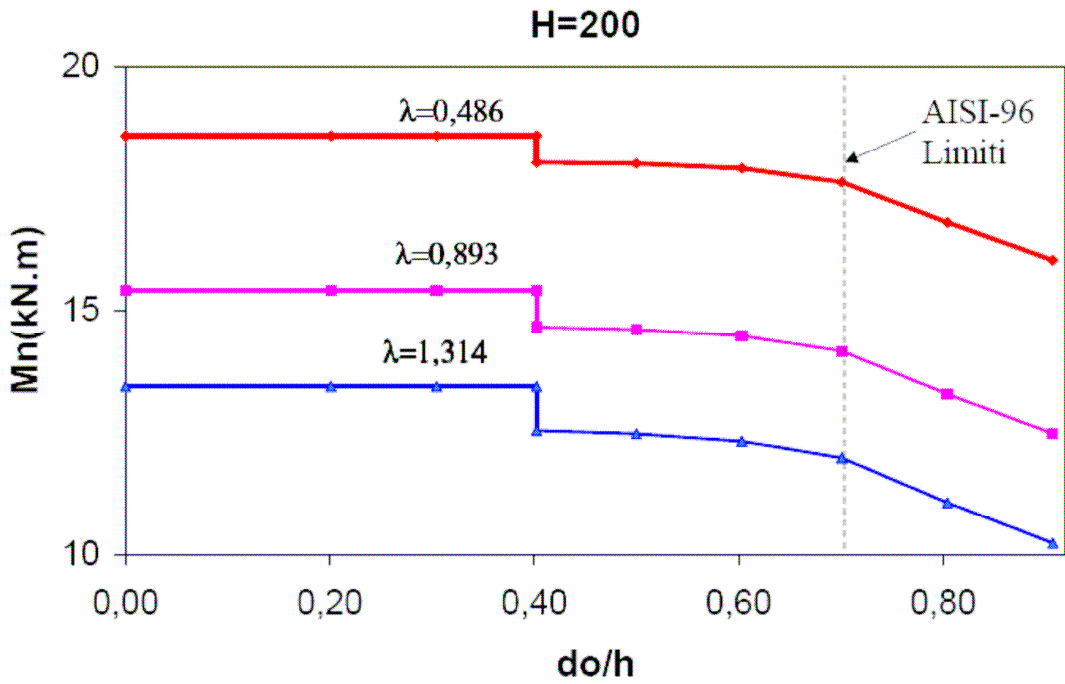
Şekil 5.13



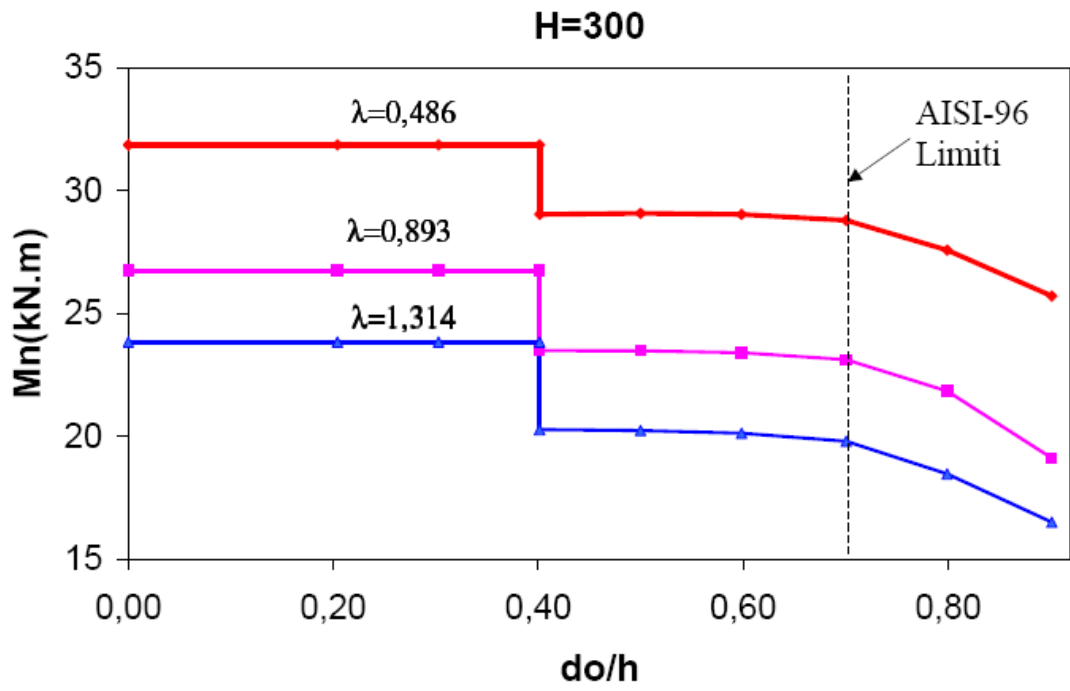
Şekil 5.14



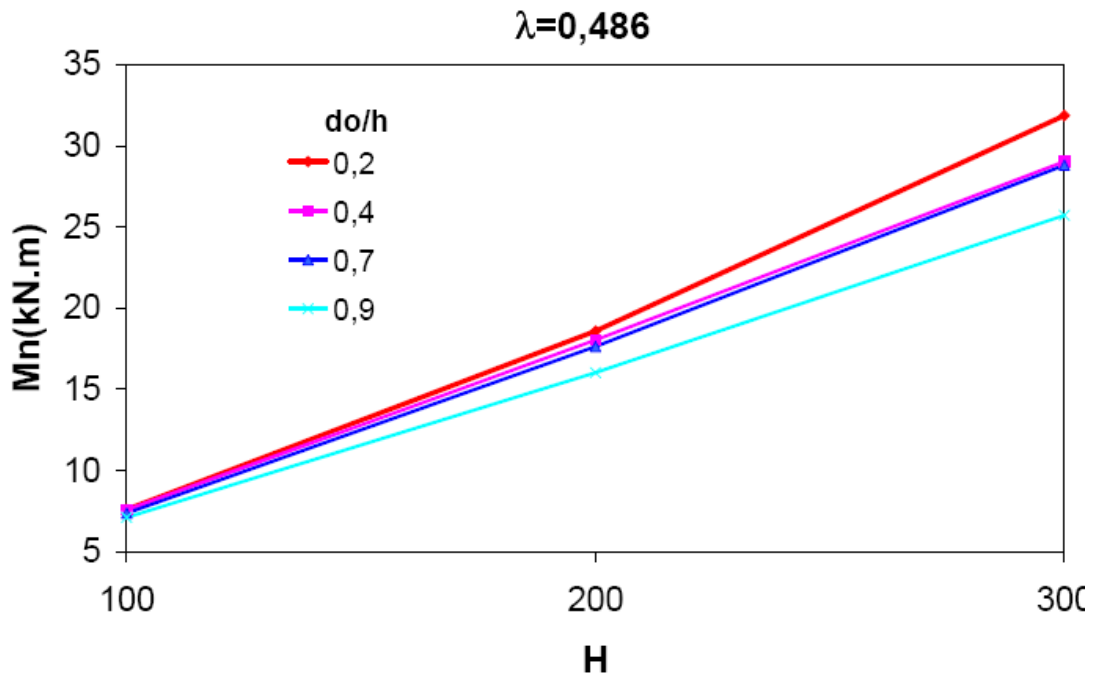
Şekil 5.15



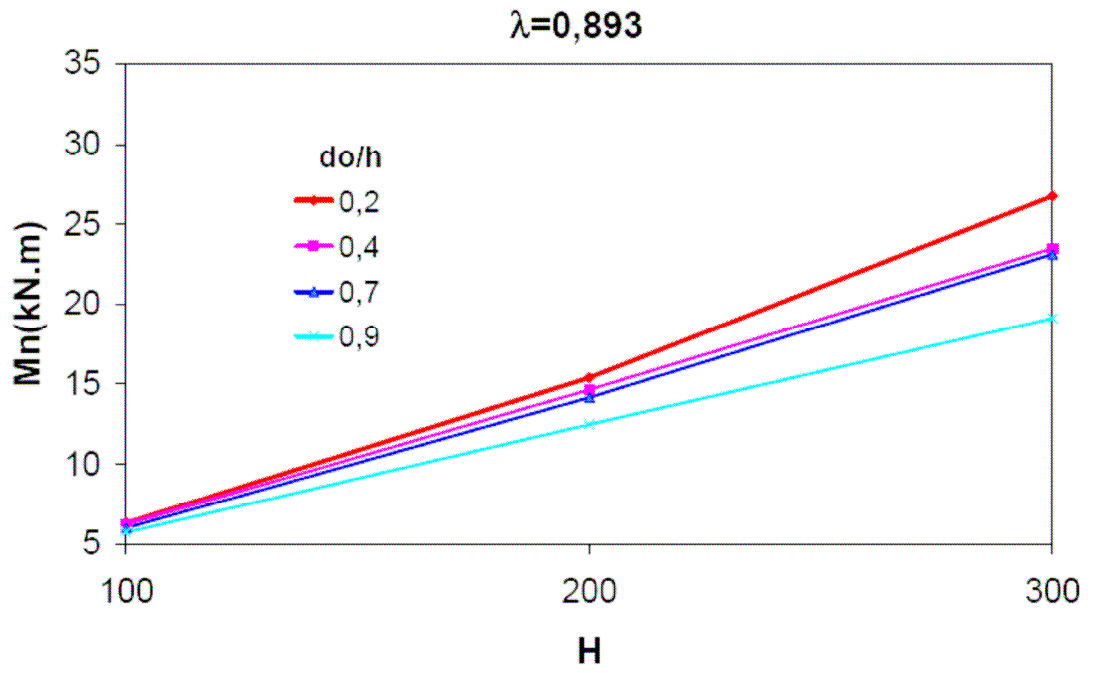
Şekil 5.16



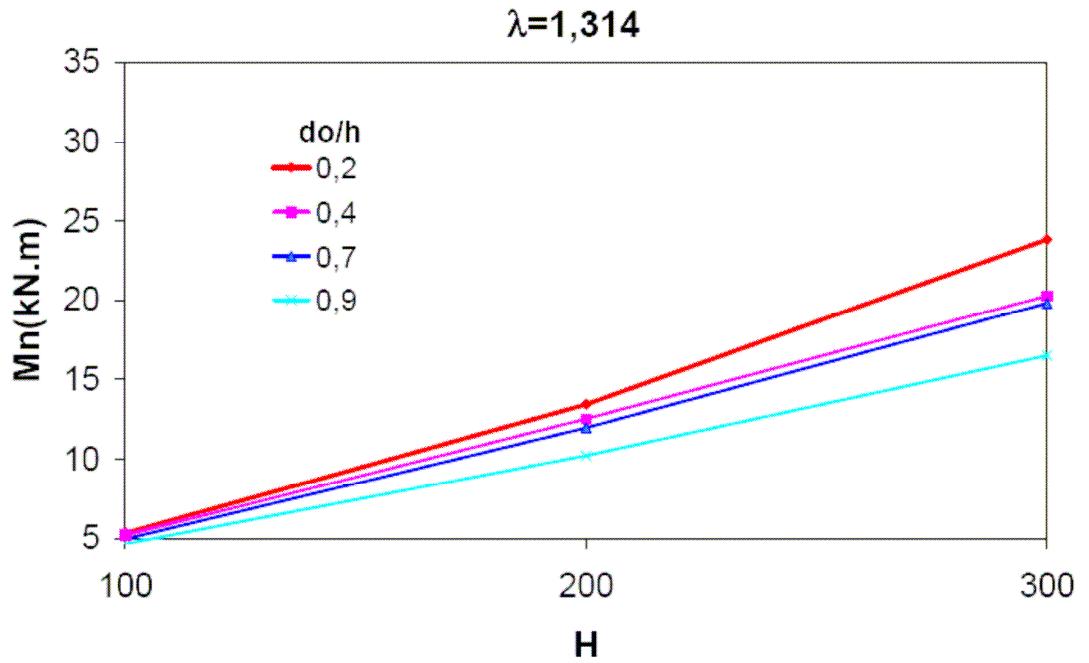
Şekil 5.17



Şekil 5.18



Şekil 5.19



Şekil 5.20

5.3 Kesme Dayanımının İncelenmesi

Yukarıda moment dayanımının incelenmesi bölümünde izlenen parametrik karşılaştırma yöntemi bu bölümde kesme dayanımının incelenmesi için de benimsenmiştir. Bu doğrultuda farklı kesit geometrileri ve gövdedeki delik boyutları için TS 11373 ve AISI-96'nın dayanım tahminleri çeşitli grafikler üzerinde verilmiştir.

Şekil 5.21 de geniş bir kesit derinliği aralığı için TS ve AISI'nın nominal kesme dayanımı (V_n) değerleri grafik olarak sunulmuştur. Grafikteki eğrilerin oluşturulmasında Bölüm 4'de detaylı olarak verilen kesme dayanım hesap formülleri kullanılmıştır. Eğriler incelendiğinde hesap formüllerinde tanımlandığı şekilde üç farklı bölge söz konusudur. Grafik üzerinde de belirtildiği gibi bu üç bölge gövde narinliğinin (h/t) fonksiyonu olarak birbirinden ayrılmaktadır. Buna göre bu üç bölgede kesme altındaki gövde levhası farklı göçme davranışları sergilemektedir. Gövde levhasının narin olmadığı (pratik anlamda kalın olduğu) birinci bölgede levha kayma akması sonucu göçmektedir. Üçüncü bölgede levha akmadan önce elastik olarak burkulmaktadır. Ara bölge olan ikinci bölgede ise gövde levhası akması takiben elastik ötesi burkulmaya maruz kalmaktadır.

Şekil 5.21'de ayrıca V_n - H ilişkisi TS 11372 ve AISI-96 ya göre ayrı verilmiştir. İki standarda göre bölgeleri birbirinden ayıran gövde narinlik değerleri uyuşmakla birlikte kesme dayanımı, genel olarak TS ye göre bir miktar daha yüksek verilmektedir.

Şekil 5.22, 5.23 ve 5.24 de farklı kesit derinlikleri ($H=100, 200$ ve 300 mm) ve dört farklı levha kalınlığı ($t=2, 3, 4$ ve 6 mm) için kesme dayanımı (V_n) ile d_o/h ilişkileri verilmiştir. Bu grafiklerde ele alınan d_o/h oranları 0(deliksiz durum)-0,2-0,3-0,4-0,5-0,6-0,7-0,8 ve 0,9 dur. Şekillerdeki ortak özellik kesit gövdesine delik açılması durumu için deliksiz durumda hesap edilen kesme dayanımından çok daha düşük bir kesme dayanımı değerinin veriliyor oluşudur. Bu düşüş et kalınlığı arttıkça artmaktadır. Tablo 5.1 de AISI-96'ya göre farklı levha kalınlıkları için deliksiz ve $d_o/h=0,2$ oranında delikli durumlar arasındaki Kesme Dayanımı (V_n) değişim

yüzdeleri H=200 mm için verilmiştir. Bu örnekte de görüldüğü üzere t=2 mm için düşüş %26 iken, t=6 mm için düşüş %76'ya kadar çıkmaktadır.

Tablo 5.1 AISI-96'ya göre farklı levha kalınlıkları için deliksiz ve $d_o/h=0,2$ oranında delikli durumlar arasındaki Kesme Dayanımı (V_n) değişim yüzdeleri (H=200 mm)

Kalınlık	$d_o/h=0$	$d_o/h=0,2$	(%) Azalma
t=2 mm	39,53	29,26	26
t=3 mm	72,86	35,53	51
t=4 mm	96,10	34,76	64
t=6 mm	140,98	33,25	76

Şekil 5.25, 5.26 ve 5.27 de yukarıda tartışılan üç şekil, deliksiz duruma yer verilmeden sadece delikli durumların inceleneceği şekilde aynen verilmiştir. Bir başka ifadeyle bu şekillerde kesme dayanımının değişimi sadece delikli durumlar için incelenmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi TS 11372'de gövdede delik durumu ele alınmamaktadır dolayısıyla şekillerdeki eğriler AISI-96'ya göre çıkartılmıştır.

Şekillerde gözlemlenen ortak bir özellik kesme dayanımının delik çapının artması ile birlikte doğrusal olarak azalmasıdır.

Bölüm 4 de delikli durum için verilen kesme dayanımı formülleri aşağıda tekrarlanmıştır;

$$V_{n1} = q_s \cdot V_n$$

- $c/t \geq 54$

$$q_s = 1,0$$

- $5 \leq c/t \leq 54$

$$q_s = \frac{c}{54 \cdot t}$$

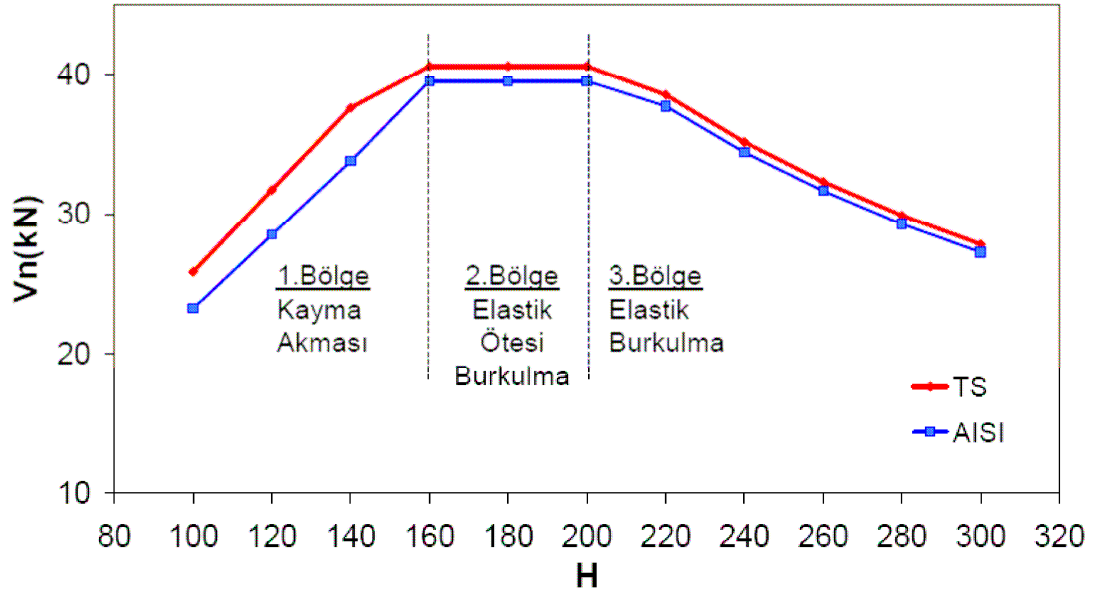
$$\text{➤ } c = \frac{h}{2} - \frac{d_o}{2,83} \quad (\text{Dairesel delikler})$$

$$\text{➤ } c = \frac{h}{2} - \frac{d_o}{2} \quad (\text{Dairesel olmayan delikler})$$

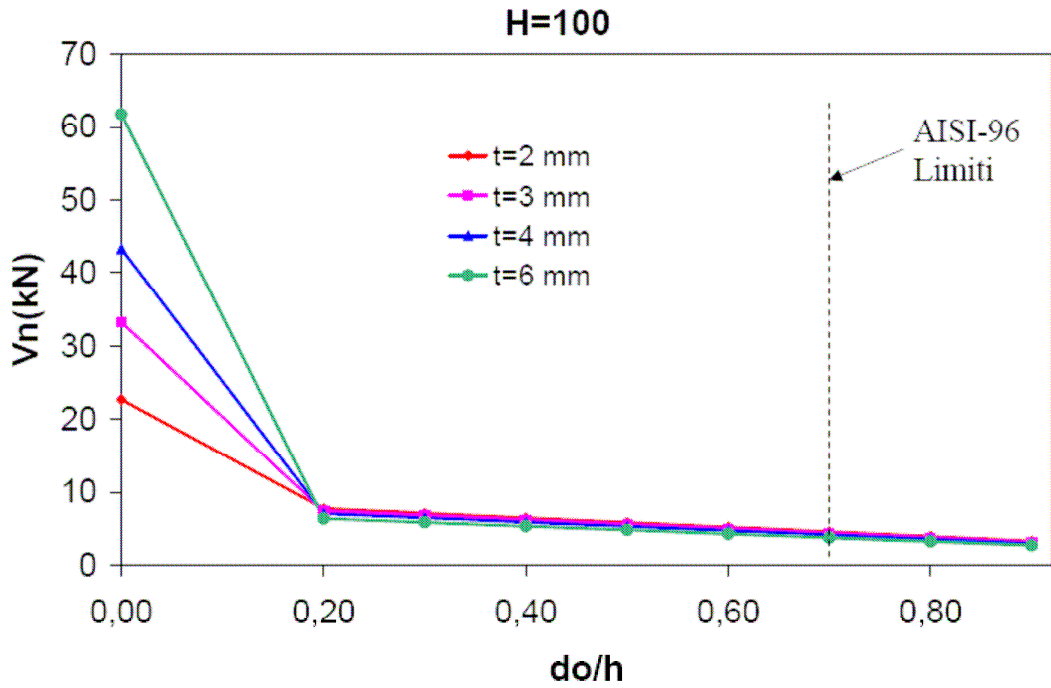
Bu ifadelerde görüldüğü gibi gövdede deliksiz bölgenin yarısı olarak ifade edilen c değerinin t levha kalınlığına oranı (c/t) kesme dayanımı V_n nin hesabında belirleyici bir parametredir. c/t değerinin 54'ten büyük olması durumu için kesme dayanımı hesabı deliksiz durum ile aynı olmakla birlikte 54'ten küçük değerler için kesme dayanımı c/t ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bir başka deyişle kesme dayanımı sabit bir c değeri için levha kalınlığı t ile ters orantı olarak değişmektedir. Bu hesaplarda esas olan deliksiz durum için hesaplanan kesme dayanımı V_n nin delik etkisini göz önüne almak üzere bir azaltma katsayısı q_s ile çarpılmasıdır.

Şekil 5.25, 5.26 ve 5.27'de farklı levha kalınlıkları için verilen kesme dayanımı d_o/h ilişkileri yukarıda bahsi geçen ifadeler dikkate alınarak çıkartılmıştır. Dikkat edilecek olursa sadece Şekil 5.25 te belli bir d_o/h oranı için t levha kalınlığı arttıkça kesme dayanımı azalmaktadır. Diğer şekillerde ise belli bir d_o/h oranı için bu doğru orantı söz konusu değildir. Bunun sebebi farklı H kesit derinliklerinde ve farklı t levha kalınlıklarında ortaya çıkan narinlikler sonucu dayanım hesabının farklı şekillerde farklı formüller ile hesaplanıyor oluşudur. Bu formüllere tekabül eden üç farklı davranış bölgesi Şekil 5.21 de daha önce açıklanmış olan bölgelerdir. Bu grafiklerden çıkarılabilecek pratik bir sonuç; örneğin pratikte uygulanabilecek $H=300$ mm- $d_o/h=0,4$ durumu için levha kalınlığının $t=6$ mm yerine 4 mm alınması daha fazla kesme dayanımı sağlamaktadır. Bunun sebebi ise $t=4$ mm durumunun elastik ötesi burkulma bölgesine, $t=6$ mm durumunun ise kayma akması bölgesine tekabül ediyor olmasıdır. Dikkat edilecek olursa Şekil 5.21 de elastik ötesi burkulma bölgesi (2.Bölge) en yüksek kesme dayanımı veren bölgedir.

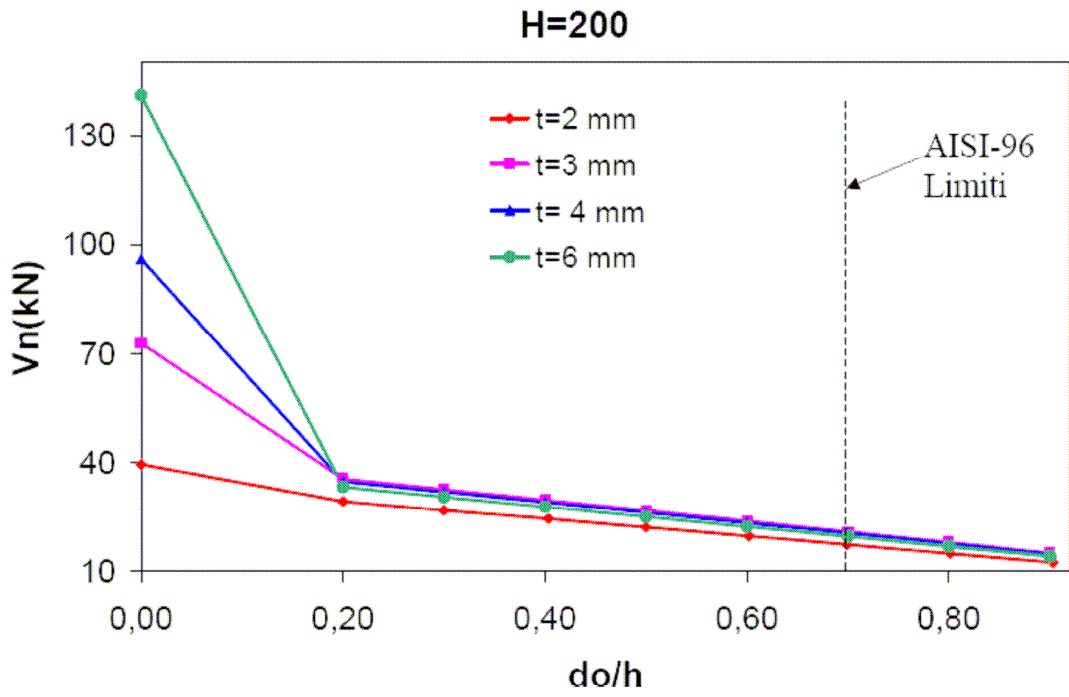
Son olarak Şekil 5.28 de Şekil 5.21 de deliksiz durum için verilen V_n-H ilişkisi üzerine aynı ilişki 3 farklı d_o/h oranı için verilmiştir. Buradan görüleceği gibi deliksiz durum için söz konusu olan üç farklı davranış bölgesindeki V_n-H ilişkisinin formu delikli durum için farklılık arz etmektedir. Yeni form farklı delik geometrileri için benzerlik göstermektedir. Buna göre deliksiz durumdaki birinci ve ikinci bölgelerdeki formdan farklı olarak delikli durumda sürekli bir artım söz konusudur. Ayrıca üçüncü bölgede de deliksiz durum için sürekli bir azalma varken deliksiz durumlarda farklı H yükseklikleri için V_n dayanımı sabit kalmaktadır.



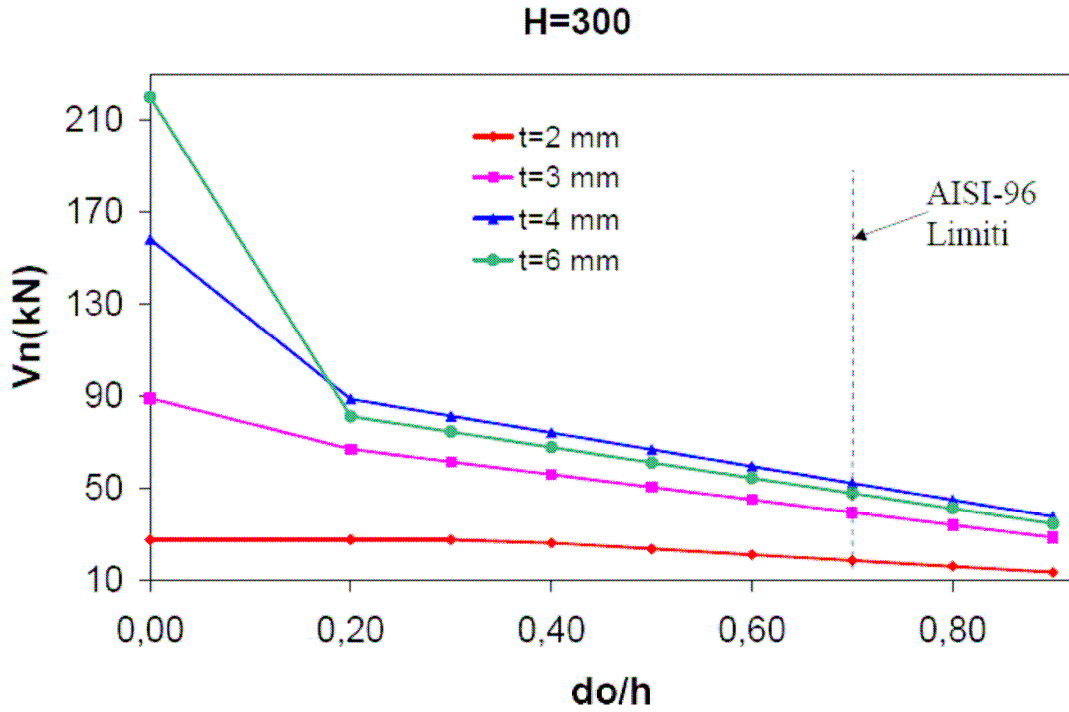
Şekil 5.21



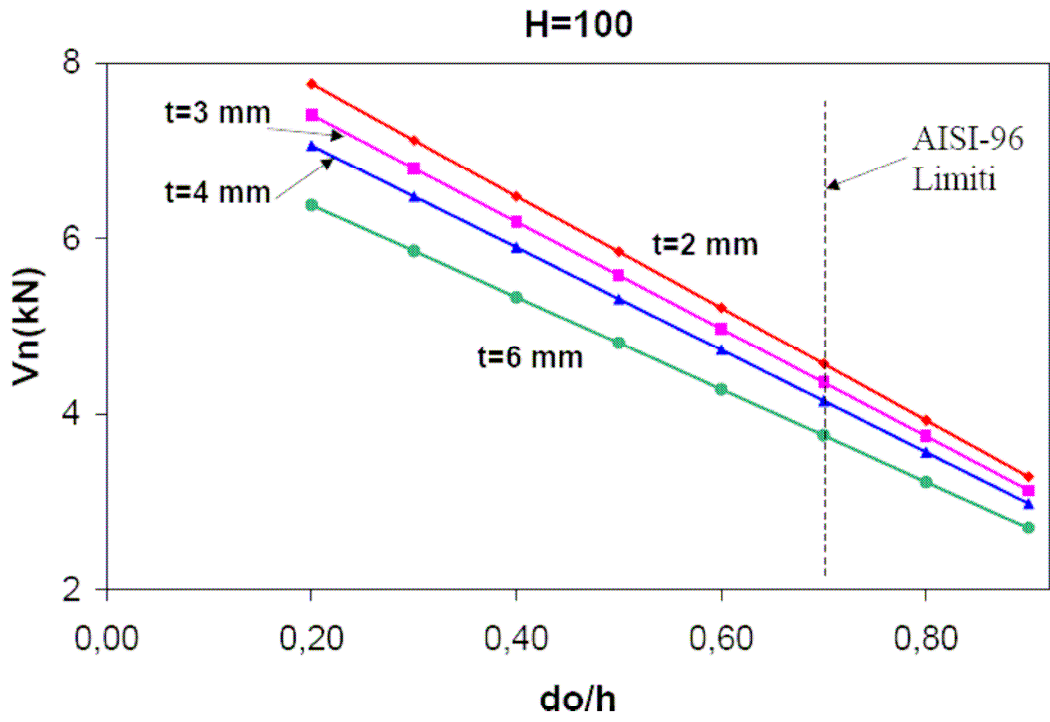
Şekil 5.22



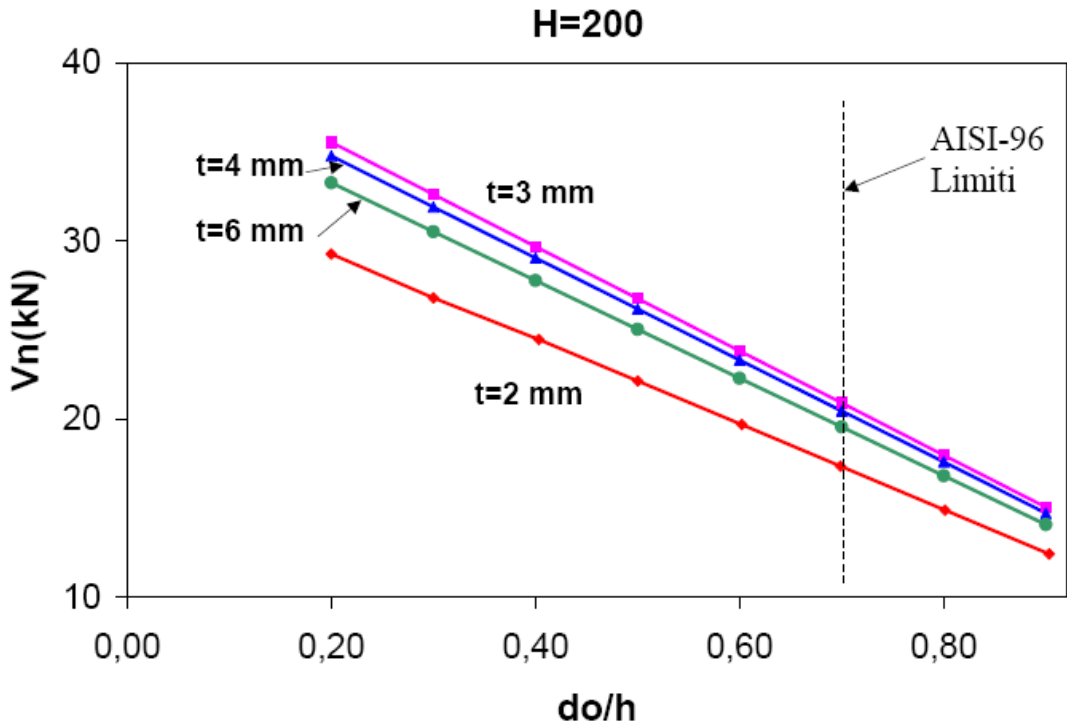
Şekil 5.23



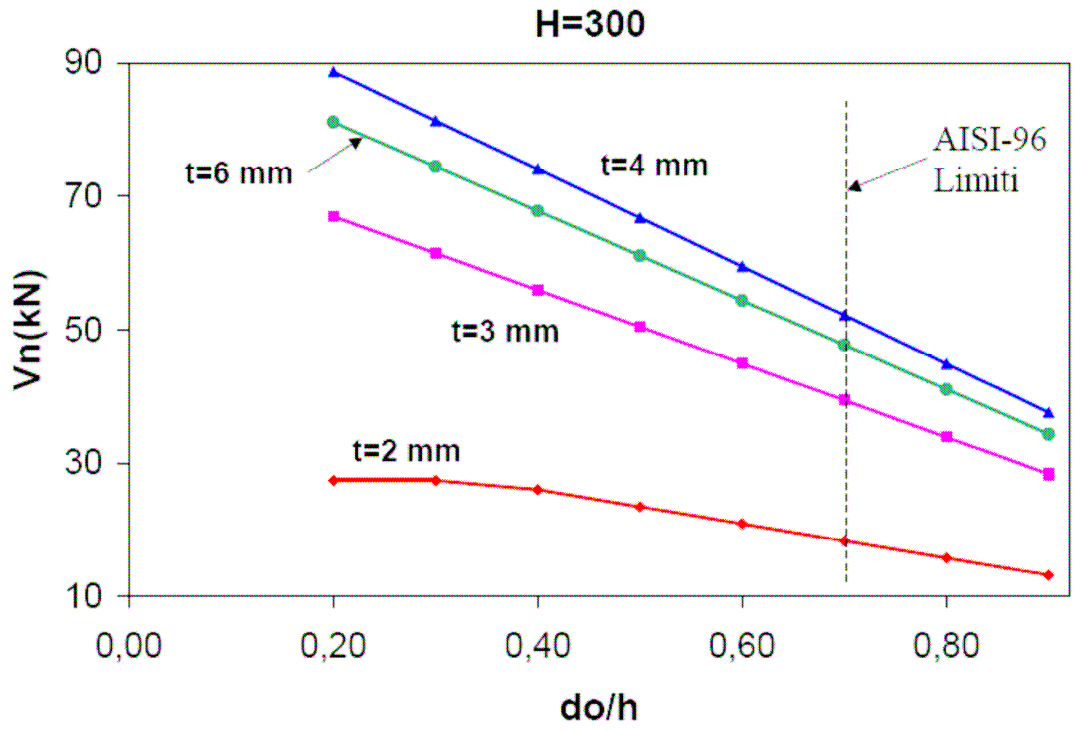
Şekil 5.24



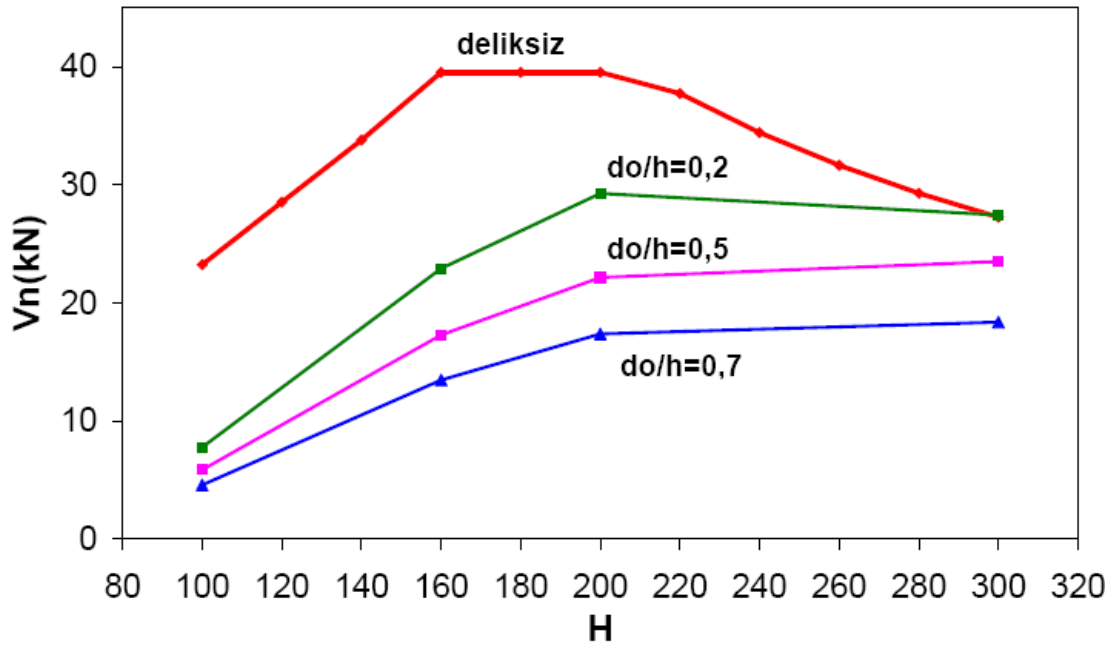
Şekil 5.25



Şekil 5.26



Şekil 5.27



Şekil 5.28

6. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı kenarları rijitleştirilmiş C kesit elemanların eğilme ve kesme kuvveti etkisi altında davranışları seçilen yürürlükteki iki yönetmelik kuralları çerçevesinde parametrik olarak incelenmiştir. Ayrıca kesitin gövdesine delik açılması durumunda da oluşan davranışa bakılmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular ve öneriler maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır.

1. Nominal eğilme momenti kapasitesi ile basınç başlığı narinlik değerleri arasında doğru orantılı bir ilişkili olduğu ve kapasitede AISI-96 da belirtilen $\lambda=0,673$ değerinden sonra beklendiği gibi azalma olduğu görülmüştür.
2. TS 11372’de narinlik tanımı yapılmamış olup bu yüzden AISI-96’nın narin kabul ettiği kesitleri tam etkin veya az narin kabul ederek moment dayanımı hesaplamaktadır. Narinlik değeri arttıkça standartlar arasındaki farkın arttığı görülmüştür. Ayrıca $\lambda=0,673$ değerinden sonra iki standart arasındaki farkın eğiminin değişmekte olduğu gözlemlenmiştir. AISI-96 standardında verilmiş olan narinlik tanımının ve narinlik sınırının dünya çapında kabul görmüş tüm standartlarda da mevcut olduğu tespit edilmiştir.
3. TS 11372 de gövdede delik olma durumu ile ilgili hususlara yer verilmemiştir. ASI-96 ya göre; $d_o/h=0,4$ değerinde Moment dayanımında ani bir düşüş gözlenmiş olup bu düşüşün kesit derinliğinin artmasıyla arttığı saptanmıştır.
4. AISI-96 standardı $d_o/h=0,7$ değerinden daha büyük delik çaplarının kullanılmamasını önermektedir. Bu sınır değerden yüksek değerler için dayanım hesapları yapılmış ve çizilen grafiklerde bu bölgede belirgin bir şekilde dayanım azalması olduğu saptanmıştır.

5. İki standart için kesme dayanımı ile kesit derinliği ilişkileri birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. İki standarda göre de kesme dayanımı için belirgin ve üç farklı davranış bölgesi söz konusudur.
6. Gövdede delik açılması ile kesme dayanımında çok ciddi bir düşüş olduğu ve bu düşüşün kesit derinliğinin artmasıyla büyüdüğü saptanmıştır.
7. Bu tez çalışması, genel anlamda ince cidarlı çelik yapı elemanlarının davranış ve tasarımı ile ilgili cevaplanması gereken hususların olduğunu, çalışma konusu olan ince cidarlı C kesit elemanların gövdelerinde delik bulunması durumunun daha detaylı ve daha geniş geometrik büyüklük aralıkları için araştırılması konusunda gerekliliklerin bulunduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

A) Kitap ve Kitap Bölümleri için gösterim

- [1] **Uzgider, E. ve Arda, T.S.**, 1989. Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Çelik Elemanlar , İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [2] **Yu, W.Wen**, 2000. Cold-Formed Steel Design, John Wiley & Sons. Inc, New York.

B) Tezler için gösterim

- [3] **Tama, Y.Selim**, 2002. Soğuk Şekillendirilmiş Açık Kesitli Çelik Kirişlerin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, P.A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [4] **Bambach, M.R.**, 2003. Thin-Walled Sections with Unstiffened Elements Under Stress Gradients, *PhD Thesis*, The University of Sydney Department of Civil Engineering, Sydney

C) Süreli Dergilerdeki Makaleler için gösterim

- [5] **LaBoube, Roger A, Yu, W.Wen, Langan, J.E. and Shan, M.Y.**, 1997. Cold-Formed Steel Webs with Openings, *Elsevier*, 27, 79-84.
- [6] **Karren, W.K.**, 1967. Corner properties of Cold-Formed Steel Shapes, *Journal of the Structural Division*, Vol 93, No.ST1, February
- [7] **Chajes, A., Britvec, S.J. and Winter, G.**, 1963. Effect of Cold-Strainig on Structural Sheet Steel, *Journal of the Structural Division*, Vol 89, No.ST2, April
- [8] **Karren, W.K. and Winter,G.**, 1966. Effect of Cold-Forming On Light-Gage Steel Members, *Journal of the Structural Division*, Vol 93, No.ST1, March
- [9] **Abdel-Rahman, N. and Sivakumaran, K.S.**, 1997. Material Properties Models For Analysis of Cold-Formed Steel Members, *Journal of the Structural Engineering*, Vol 123, No.9, September
- [10] **Galambos, T.V.**, 1968. Inelastic Lateral Buckling of Beams, *Journal of the Structural Division*, Vol 89, October

- [11] **Cissel, J.H. and Quinsey, W.E.**, 1942. Durability of Lightweight Steel Construction, Part I, University of Michigan Engineering Research Bulletin, No.30, June

D) Akademik Konferanslarda Yayımlanmış Bildiriler için gösterim

- [12] **Tama, Y.Selim ve Kaplan, H.** , 2007. Soğukta şekil verme yöntemleri ve soğuk şekillendirme işinin çelik malzeme mekanik özelliklerine etkisi, 2. *Çelik Yapılar Ulusal Sempozyumu*, Eskişehir, 10-11 Mayıs, s. 221-229.

E) Kurs Notları

- [13] **Çağlayan, B.Özden**, 2007. Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı eğilmeye çalışan elemanların boyutlandırılması , İstanbul, Aralık
- [14] **LaBoube, Roger A.**, 1997. Design Guide for Cold-Formed Steel Beams with Web Penetrations, AISI, Washington, DC, August

F) Standartlar

- [15] **AISI-96**, 1996. Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, AISI , Washington,DC
- [16] **TS-11372**, 1994. Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil verilmiş Profillerle Oluşturulan-Hesap Kuralları , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [17] **TS-2162**, 1996. Alaşımız Yapı Çeliklerinden İmal Edilen Sıcak Hadde Mamulleri-Teknik Teslim Şartları , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [18] **EC 3-1.3**, 2001. Supplementary rules for Cold-Formed Thin Gauge Members and Sheeting, CEN , U.K.

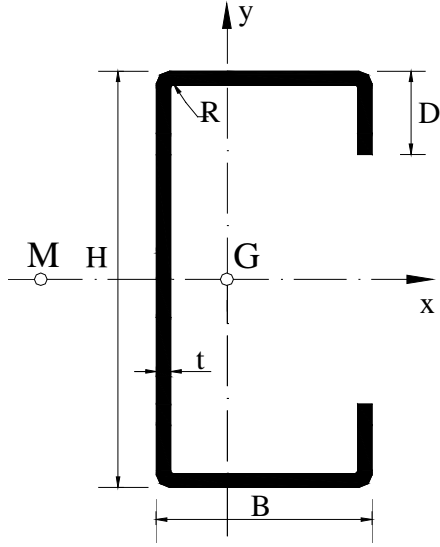
G) Raporlar

- [19] **Fox, Steven R. and Schuster, Reinhold M.**, 2001. Design of Bearing Stiffeners in Cold-Formed Steel C-Sections, AISI , Canada

H) Web Sayfaları

- [20] <http://www.profacto-tr.com/Fabrika.html>

EK A



H	: 270 mm
B	: 120 mm
D	: 25 mm
t	: 3 mm
R	: 5 mm

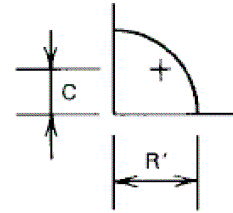
Yukarıda kesit boyutları verilen C profilinde oluşan Nominal Moment ve Nominal Kesme Kuvveti AISI-96'ya göre hesaplanmıştır. Elemanda yanıl burkulma meydana gelmeyecek şekilde konmuş yanıl bağlantı olduğu ve kullanılan çelik sınıfının S 350 olduğu kabul edilecektir. (E: 203.000 N/mm²)

a) Kesit özelliklerinin hesaplanması:

1) Köşe elemanı : $R' = R + (t/2) = 6,5 \text{ mm}$

$$L = 1,57 \cdot R' = 10,2 \text{ mm}$$

$$C = 0,637 \cdot R' = 4,14 \text{ mm}$$



2) Başlıktaki etkili genişlik:

$$w = B - 2 \cdot (R + t) = 104,0 \text{ mm}$$

$$w/t = 104,0 / 3,0 = 34,7$$

$$S = 1,28 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,28 \cdot \sqrt{\frac{203.000}{350}} = 30,8$$

$w/t > S$ olduğu için **Durum III'e** göre hesaplamalara devam edilecektir.

$$I_a = 115 \cdot \left(\left[\frac{w/t}{S} \right] + 5 \right) \cdot t^4 = 115 \cdot \left(\left[\frac{34,7}{30,8} \right] + 5 \right) \cdot 3^4 = 10.880,4 \text{ mm}^4$$

$$d = D - (R + t) = 25 - (5 + 3) = 17 \text{ mm}$$

$$d/t = 17/3 = 5,7 < 14 \checkmark$$

$$I_s = \frac{d \cdot t^3}{12} = \frac{17 \cdot 3^3}{12} = 1.228,3 \text{ mm}^4$$

$$C_2 = I_s / I_a = 10.880,4 / 1.228,3 = 0,11 \leq 1 \checkmark$$

$D/w = 25/104 = 0,24$ ve $\theta = 90^\circ$ olduğu için;

$$k_a = 5,25 - 5 \cdot (D/w) = 5,25 - 5 \cdot (25/104) = 4,04 > 4,0 \text{ olduğu için}$$

$k_a = 4,0$ olarak kullanılacaktır.

$$k = C_2^n (k_a - k_u) + k_u = 0,11^{0,5} \cdot (4 - 0,43) + 0,43 = 2,15 < 4,0 \checkmark$$

$$\lambda = \frac{1,052}{\sqrt{k}} \cdot \left(\frac{w}{t} \right) \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{1,052}{\sqrt{2,15}} \cdot \left(\frac{104,0}{3,0} \right) \cdot \sqrt{\frac{350}{203.000}} = 1,031 > 0,673$$

$$b = \rho \cdot w = \frac{\left(1 - \frac{0,22}{\lambda} \right)}{\lambda} \cdot w = \frac{\left(1 - \frac{0,22}{1,031} \right)}{1,031} \cdot 104,0 = 79,3 \text{ mm}$$

3) Kenar rijitleştirici elemanın etkili genişliği:

Tablo 3.4'den bakılarak $k = 0,43$ kullanılacak.

$$\lambda = \frac{1,052}{\sqrt{k}} \cdot \left(\frac{d}{t} \right) \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{1,052}{\sqrt{0,43}} \cdot \left(\frac{17}{3} \right) \cdot \sqrt{\frac{350}{203.000}} = 0,377 < 0,673 \text{ olduğundan,}$$

$$d_s' = d = 17 \text{ mm}$$

$$d_s = C_2 \cdot d_s' = 0,11 \cdot 17 = 1,9 \text{ mm}$$

4) Tarafsız eksenin yeri:

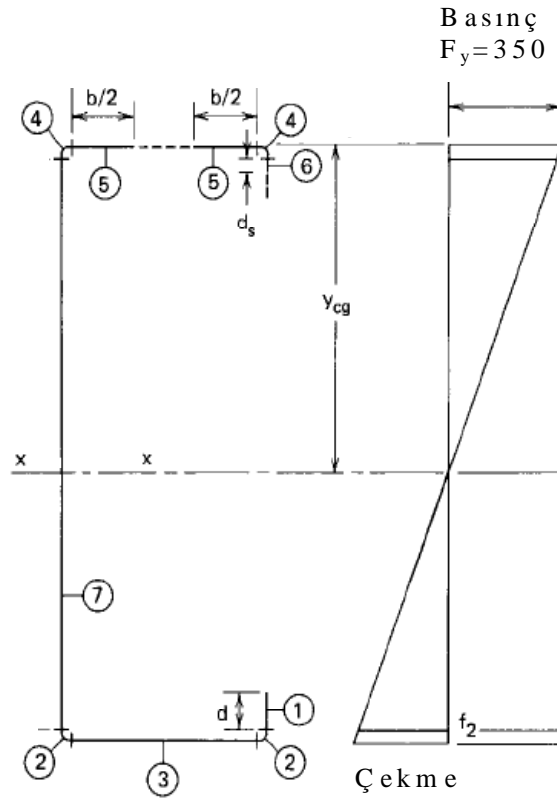
$$y_{cg} = \frac{72.170,4}{497,1} = 145,2 \text{ mm}$$

$$f_1 = 350 \cdot (145,2 - 8,0) / 145,2 = 330,7 \text{ N/mm}^2 \text{ (Basınç)}$$

$$f_2 = -350 \cdot (270 - 145,2 - 8,0) / 145,2 = -281,6 \text{ N/mm}^2 \text{ (Çekme)}$$

$$\psi = f_2 / f_1 = -0,851$$

$$k = 4 + 2(1 - \psi)^3 + 2(1 - \psi) = 20,39$$



Eleman	Etkili Uzunluk, L (mm)	y eksenine olan mesafe (mm)	L*y	L*y ²
1	17,0	253,5	4.309,5	1.092.458,3
2	20,4	266,1	5.431,9	1.445.655,9
3	104,0	268,5	27.924,0	7.497.594,0
4	20,4	3,9	78,8	304,0
5	79,3	1,5	119,0	178,5
6	1,9	9,0	17,2	154,0
7	254,0	135,0	34.290,0	4.629.150,0
Toplam	497,1		72.170,4	14.665.494,7

$$h/t=84,7 < 200 \checkmark$$

$$\lambda = \frac{1,052}{\sqrt{20,39}} \cdot \left(\frac{254,0}{3,0} \right) \cdot \sqrt{\frac{350}{203.000}} = 0,796 > 0,673$$

$$\rho = \frac{\left(1 - \frac{0,22}{0,796} \right)}{0,796} = 0,909$$

$$b_e = \rho \cdot h = 230,9 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = b_e / (3 - \psi) = 60,0$$

$$b_{e2} = b_e / 2 = 115,4 \text{ mm}$$

$$b_{e1} + b_{e2} = 175,4 \text{ mm}$$

145,2 - (R+t) = 137,2 mm < 175,4 mm olduğundan gövde tamamen etkindir. Burada çıkan değerlerin tersi olsaydı kalan kısım etkin olmayan kısım olacaktı ve o kısım çıkarılacaktı.

5) Atalet momenti:

$$I_1 = 409,4 \text{ mm}^3$$

$$I_6 = 0,5 \text{ mm}^3$$

$$I_7 = 1.365.588,7 \text{ mm}^3$$

$$\Sigma L \cdot y^2 = 14.665.494,7 \text{ mm}^3$$

$$\frac{-\Sigma L \cdot y_{cg}^2}{2} = 10.478.713,1 \text{ mm}^3$$

$$I_x = 5.552.780,3 \text{ mm}^3$$

$$I_x = I_x \cdot t = 16.658.340,9 \text{ mm}^4$$

$$S_x = 114.731,5 \text{ mm}^3$$

b) Moment dayanımının hesaplanması:

$$M_n = S_e \cdot F_y = \mathbf{40,156 \text{ kN.m}}$$

c) Kesme dayanımının hesaplanması:

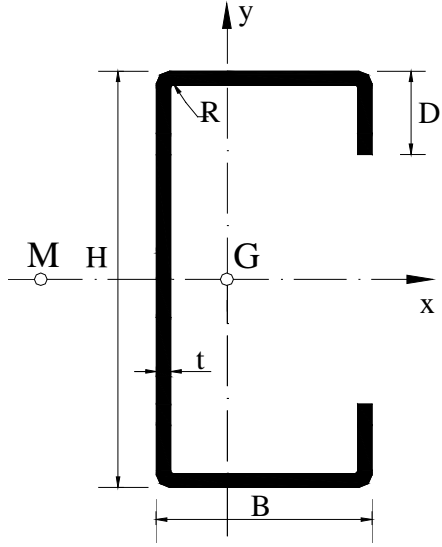
$$h/t = 84,7 > 1,415 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_v}{F_y}} = 78,75 \text{ olduğundan Durum III'e göre hesaplamalara}$$

devam edilecektir.

$$k_v = 5,34$$

$$V_n = \frac{0,905 \cdot E \cdot k_v \cdot t^3}{h} = \frac{0,905 \cdot 203.000 \cdot 5,34 \cdot 3,0^3}{254,0} = \mathbf{104,28 \text{ kN}}$$

EK B



H	: 270 mm
B	: 120 mm
D	: 25 mm
t	: 3 mm
R	: 5 mm

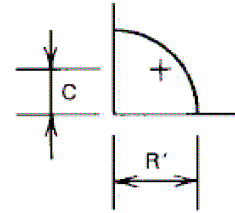
Yukarıda kesit boyutları verilen C profilinde oluşan Nominal Moment ve Nominal Kesme Kuvveti TS 11372'ye göre hesaplanmıştır. Elemanda yanal burkulma meydana gelmeyecek şekilde konmuş yanal bağlantı olduğu ve kullanılan çelik sınıfının S 350 olduğu kabul edilecektir. (E: 203.000 N/mm²)

a) Kesit özelliklerinin hesaplanması:

1) Köşe elemanı : $R' = R + (t/2) = 6,5 \text{ mm}$

$$L = 1,57 * R' = 10,2 \text{ mm}$$

$$C = 0,637 * R' = 4,14 \text{ mm}$$



2) Başlıktaki etkili genişlik:

$$w = B - 2 * (R + t) = 104,0 \text{ mm}$$

$$w/t = 104,0 / 3,0 = 34,7$$

$$34,7 \leq \left(15 + 30 \cdot \sqrt{\frac{25}{270}} \right) \cdot \sqrt{\frac{235}{0,8 * 350}} = 22,1 \text{ olduğundan etkin başlık genişliği}$$

hesaplanmalıdır.

$$0,95 \cdot \sqrt{\frac{203.000}{0,60 * 350}} = 29,64 \leq 34,7 \leq 60 \text{ olduğundan}$$

$$b = 0,95 \cdot 3,0 \cdot \sqrt{\frac{203.000}{0,6 \cdot 350}} = 88,6 \text{ mm}$$

Eleman	Etkili Uzunluk, L (mm)	y eksenine olan mesafe (mm)	L*y	L*y ²
1	17,0	253,5	4.309,5	1.092.458,3
2	20,4	266,1	5.431,9	1.445.655,9
3	104,0	268,5	27.924,0	7.497.594,0
4	20,4	3,9	78,8	304,0
5	88,6	1,5	132,9	199,4
6	17,0	16,5	280,5	4.628,3
7	254,0	135,0	34.290,0	4.629.150,0
Toplam	521,4		72.447,6	14.669.989,8

$$y_{cg} = \frac{72.447,6}{521,4} = 138,9 \text{ mm}$$

3) Atalet momenti:

$$I'_1 = 409,4 \text{ mm}^3$$

$$I'_6 = 409,4 \text{ mm}^3$$

$$I'_7 = 1.365.588,7 \text{ mm}^3$$

$$\Sigma L*y^2 = 14.669.989,8 \text{ mm}^3$$

$$-\Sigma L*y_{cg}^2 = 10.065.887,9 \text{ mm}^3$$

$$I'_x = 5.970.509,4 \text{ mm}^3$$

$$I_x = I'_x * t = 17.911.528,3 \text{ mm}^4$$

$$S_x = 128.915,4 \text{ mm}^3$$

b) Moment dayanımının hesaplanması:

$$M_n = S_e * F_y = 45,125 \text{ kN.m}$$

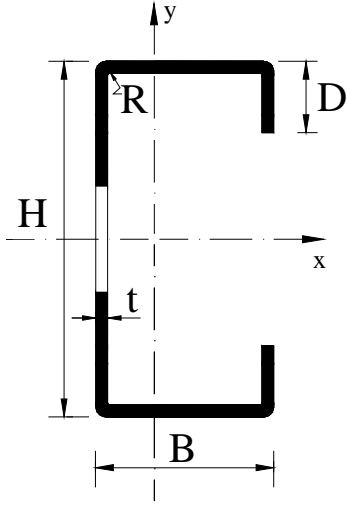
c) Kesme dayanımının hesaplanması:

$$\frac{h}{t} = 84,7 \geq \frac{1450}{F_y} = 77,5 \text{ olduğundan;}$$

$$\tau_{oem} = \frac{600000}{(254,0/3,0)^2} = 83,7$$

$$V_n = \tau_{oem} * A_g / 0,60 = 83,7 * (254,0 * 3,0) / 0,6 = \mathbf{106,30 \text{ kN}}$$

EK C



H	: 270 mm
B	: 120 mm
D	: 25 mm
t	: 3 mm
R	: 5 mm
d _o	: 127 mm

Yukarıda kesit boyutları verilen gövdesinde delik bulunan C profilinde oluşan Nominal Moment ve Nominal Kesme Kuvveti AISI-96'ya göre hesaplanmıştır. Elemanda yanal burkulma meydana gelmeyecek şekilde konmuş yanal bağlantı olduğu ve kullanılan çelik sınıfının S 350 olduğu kabul edilecektir.

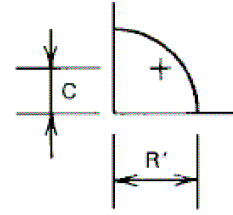
(E: 203.000 N/mm²)

a) Kesit Özelliklerinin hesaplanması:

1) Köşe elemanı : $R' = R + (t/2) = 6,5 \text{ mm}$

$$L = 1,57 \cdot R' = 10,2 \text{ mm}$$

$$C = 0,637 \cdot R' = 4,14 \text{ mm}$$



2) Başlıktaki etkili genişlik:

$$w = B - 2 \cdot (R + t) = 104,0 \text{ mm}$$

$$w/t = 104,0 / 3,0 = 34,7$$

$$S = 1,28 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,28 \cdot \sqrt{\frac{203.000}{350}} = 30,8$$

$w/t > S$ olduğu için **Durum III'e** göre hesaplamalara devam edilecektir.

$$I_a = 115 \cdot \left(\left[\frac{w/t}{S} \right] + 5 \right) \cdot t^4 = 115 \cdot \left(\left[\frac{34,7}{30,8} \right] + 5 \right) \cdot 3^4 = 10.880,4 \text{ mm}^4$$

$$d = D - (R + t) = 25 - (5 + 3) = 17 \text{ mm}$$

$$d/t = 17/3 = 5,7 < 14 \checkmark$$

$$I_s = \frac{d \cdot t^3}{12} = \frac{17 \cdot 3^3}{12} = 1.228,3 \text{ mm}^4$$

$$C_2 = I_s / I_a = 10.880,4 / 1.228,3 = 0,11 \leq 1 \checkmark$$

$D/w = 25/104 = 0,24$ ve $\theta = 90^\circ$ olduğu için;

$$k_a = 5,25 - 5 \cdot (D/w) = 5,25 - 5 \cdot (25/104) = 4,04 > 4,0 \text{ olduğu için}$$

$k_a = 4,0$ olarak kullanılacaktır.

$$k = C_2^n (k_a - k_u) + k_u = 0,11^{0,5} \cdot (4 - 0,43) + 0,43 = 2,15 < 4,0 \checkmark$$

$$\lambda = \frac{1,052}{\sqrt{k}} \cdot \left(\frac{w}{t} \right) \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{1,052}{\sqrt{2,15}} \cdot \left(\frac{104,0}{3} \right) \cdot \sqrt{\frac{350}{203.000}} = 1,031 > 0,673$$

$$b = \rho \cdot w = \frac{\left(1 - \frac{0,22}{\lambda} \right)}{\lambda} \cdot w = \frac{\left(1 - \frac{0,22}{1,031} \right)}{1,031} \cdot 104,0 = 79,3 \text{ mm}$$

3) Kenar rijitleştirici elemanın etkili genişliği:

Tablo 3.4'den bakılarak $k = 0,43$ kullanılacak.

$$\lambda = \frac{1,052}{\sqrt{k}} \cdot \left(\frac{d}{t} \right) \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{1,052}{\sqrt{0,43}} \cdot \left(\frac{17}{3} \right) \cdot \sqrt{\frac{350}{203.000}} = 0,377 < 0,673 \text{ olduğundan,}$$

$$d_s' = d = 17 \text{ mm}$$

$$d_s = C_2 \cdot d_s' = 0,11 \cdot 17 = 1,9 \text{ mm}$$

4) Tarafsız eksenin yeri:

$d_o/h = 0,5 > 0,4$ olduğu için $k = 0,43$ alınacaktır.

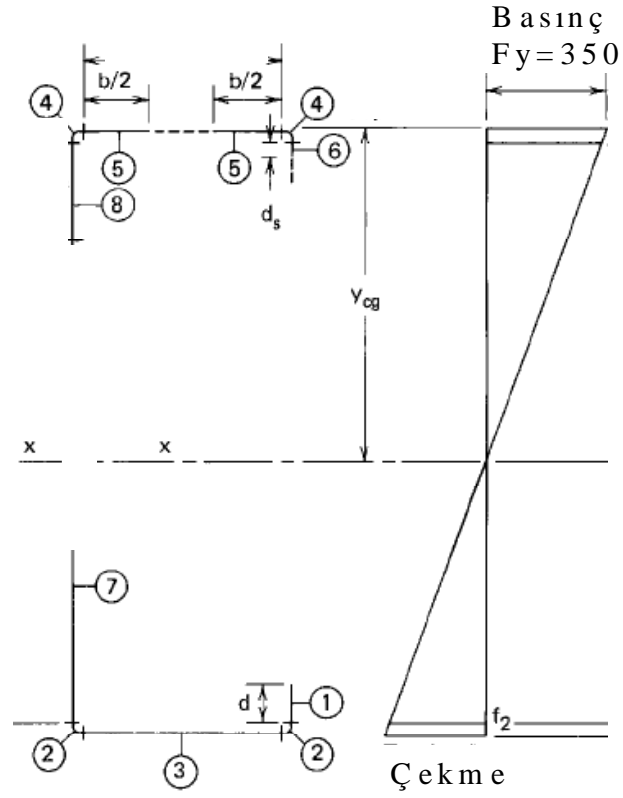
$$w = 63,5 \text{ mm}$$

$$w/t = 21,2$$

$$\lambda = \frac{1,052}{\sqrt{0,43}} \cdot \left(\frac{63,5}{3,0} \right) \cdot \sqrt{\frac{350}{203.000}} = 1,410 > 0,673$$

$$\rho = \frac{\left(1 - \frac{0,22}{1,410} \right)}{1,410} = 0,599$$

$$b_e = \rho \cdot w = 38,0 \text{ mm}$$



Eleman	Etkili Uzunluk, L (mm)	y eksenine olan mesafe (mm)	L*y	L*y ²
1	17,0	253,5	4.309,5	1.092.458,3
2	20,4	266,1	5.431,9	1.445.655,9
3	104,0	268,5	27.924,0	7.497.594,0
4	20,4	3,9	78,8	304,0
5	79,3	1,5	119,0	178,5
6	1,9	9,0	17,2	154,0
7	63,5	230,3	14.322,0	3.366.456,5
8	38,0	27,0	1.026,4	27.717,1
Toplam	344,6		53.527,6	14.430.518,3

$$y_{cg} = \frac{53.527,6}{344,6} = 155,3 \text{ mm}$$

5) Atalet Momenti:

$$\begin{aligned}
I_1 &= 409,4 \text{ mm}^3 \\
I_6 &= 0,6 \text{ mm}^3 \\
I_7 &= 4.575,8 \text{ mm}^3 \\
I_8 &= 21.337,3 \text{ mm}^3 \\
\Sigma L \cdot y^2 &= 13.430.518,3 \text{ mm}^3 \\
-\Sigma L \cdot y_{cg}^2 &= 8.315.319,0 \text{ mm}^3 \\
I_x &= 5.141.522,3 \text{ mm}^3 \\
I_x = I_x \cdot t &= 15.424.567,0 \text{ mm}^4 \\
S_x &= 99.291,5 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

b) Moment dayanımının hesaplanması:

$$M_n = S_e \cdot F_y = \mathbf{34,752 \text{ kN.m}}$$

c) Kesme dayanımının hesaplanması:

$$h/t = 84,7 > 1,415 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_v}{F_y}} = 78,75 \text{ olduğundan Durum III'e göre hesaplamalara}$$

devam edilecektir.

$$k_v = 5,34$$

$$c = 82,1 \text{ mm}$$

$$c/t = 27,37 < 54 \text{ olduğundan}$$

$$q_s = \frac{c}{54 \cdot t} = 0,51$$

$$V_n = \frac{0,905 \cdot E \cdot k_v \cdot t^3}{h} = \frac{0,905 \cdot 203.000 \cdot 5,34 \cdot 3^3}{254} = 104,28 \text{ kN}$$

$$V_{n1} = q_s \cdot V_n = \mathbf{52,87 \text{ kN}}$$

EK D

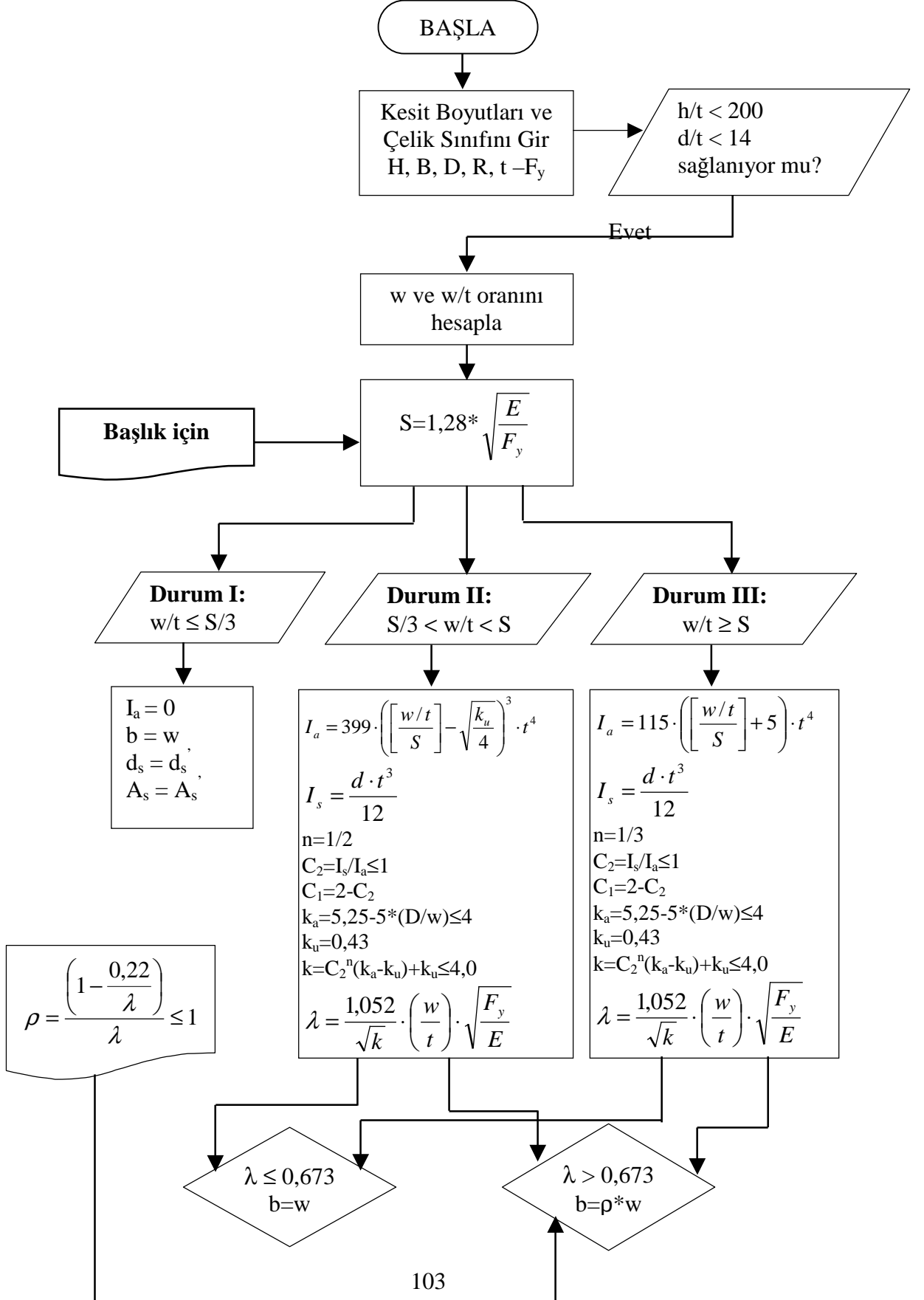
Kullanılan Çelik Sınıfları ve Özellikleri

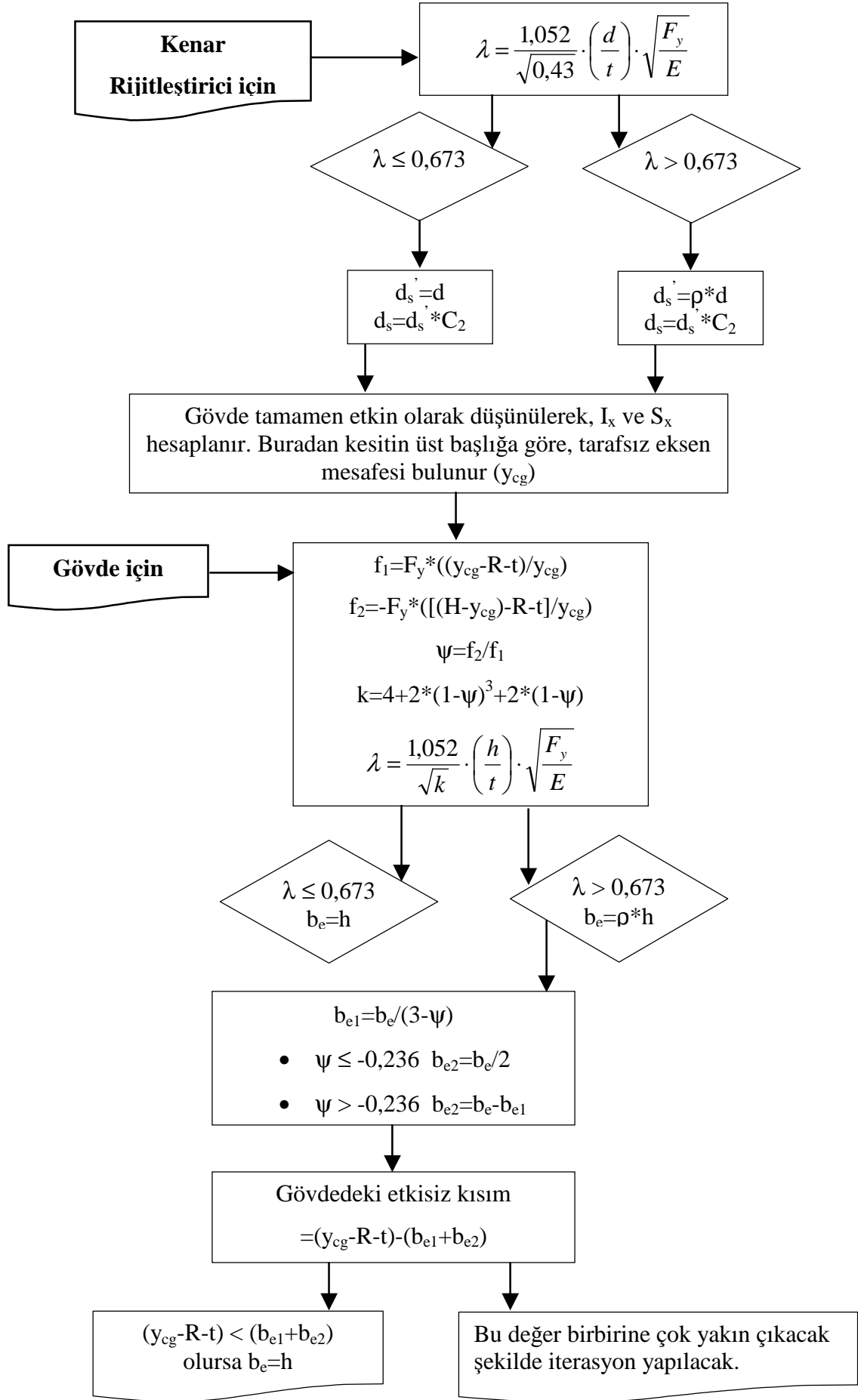
Tablo D.1

Kalite	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)
S 220	220	300
S 250	250	330
S 280	280	360
S 320	320	390
S 350	350	420

EK E

1) AISI-96 için Kenarlarından Rijitleştirilmiş C profilde Moment Dayanımı Hesabı için Akış Şeması





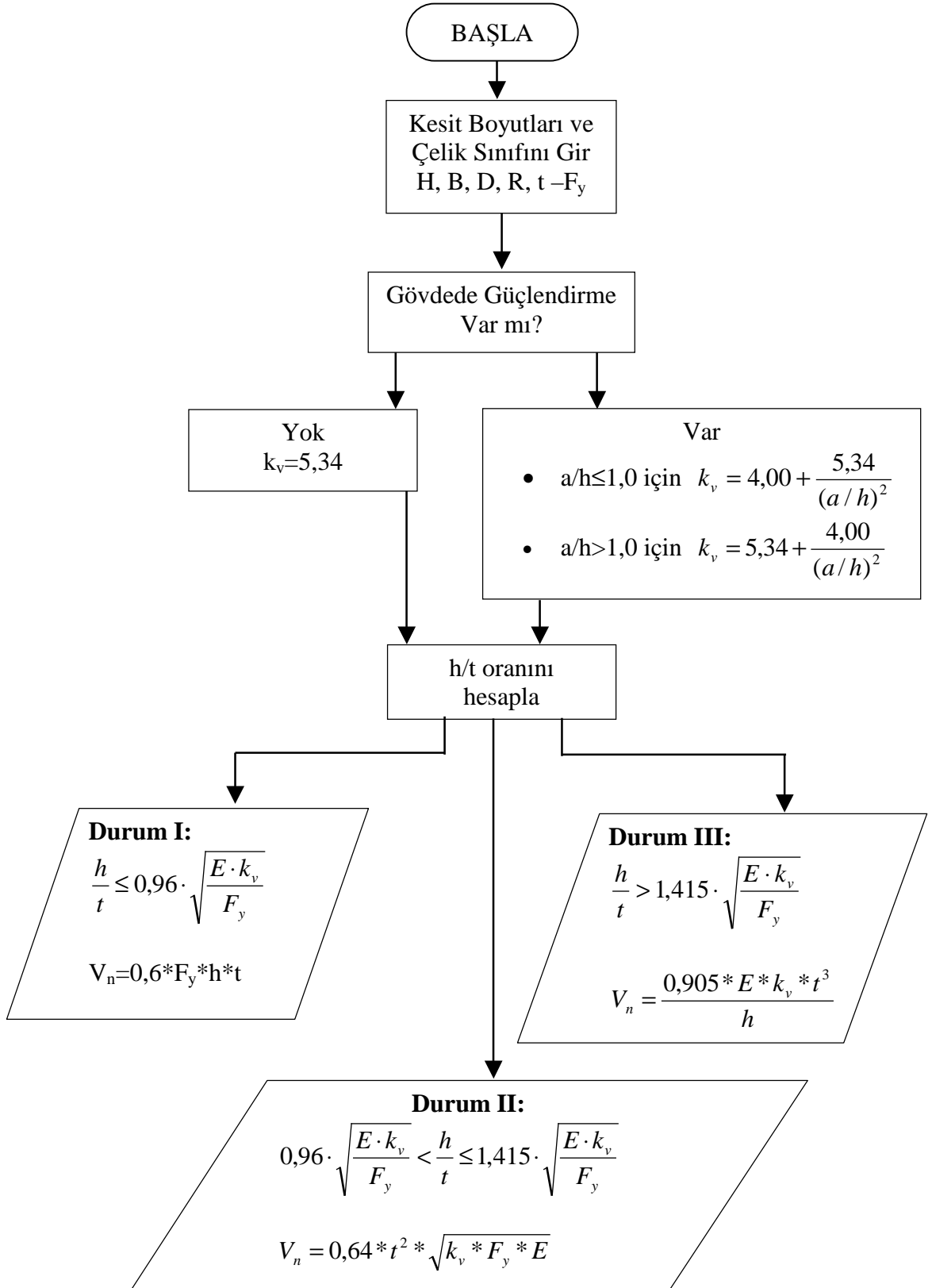
Basınç başlığı, kenar rijitleştirici ve gövdedeki etkili uzunluklar düşünülerek et kalınlıkları ile çarpılmamış atalet momenti değerleri bulunup toplanacak (I_x').

$$I_x = I_x' * t$$

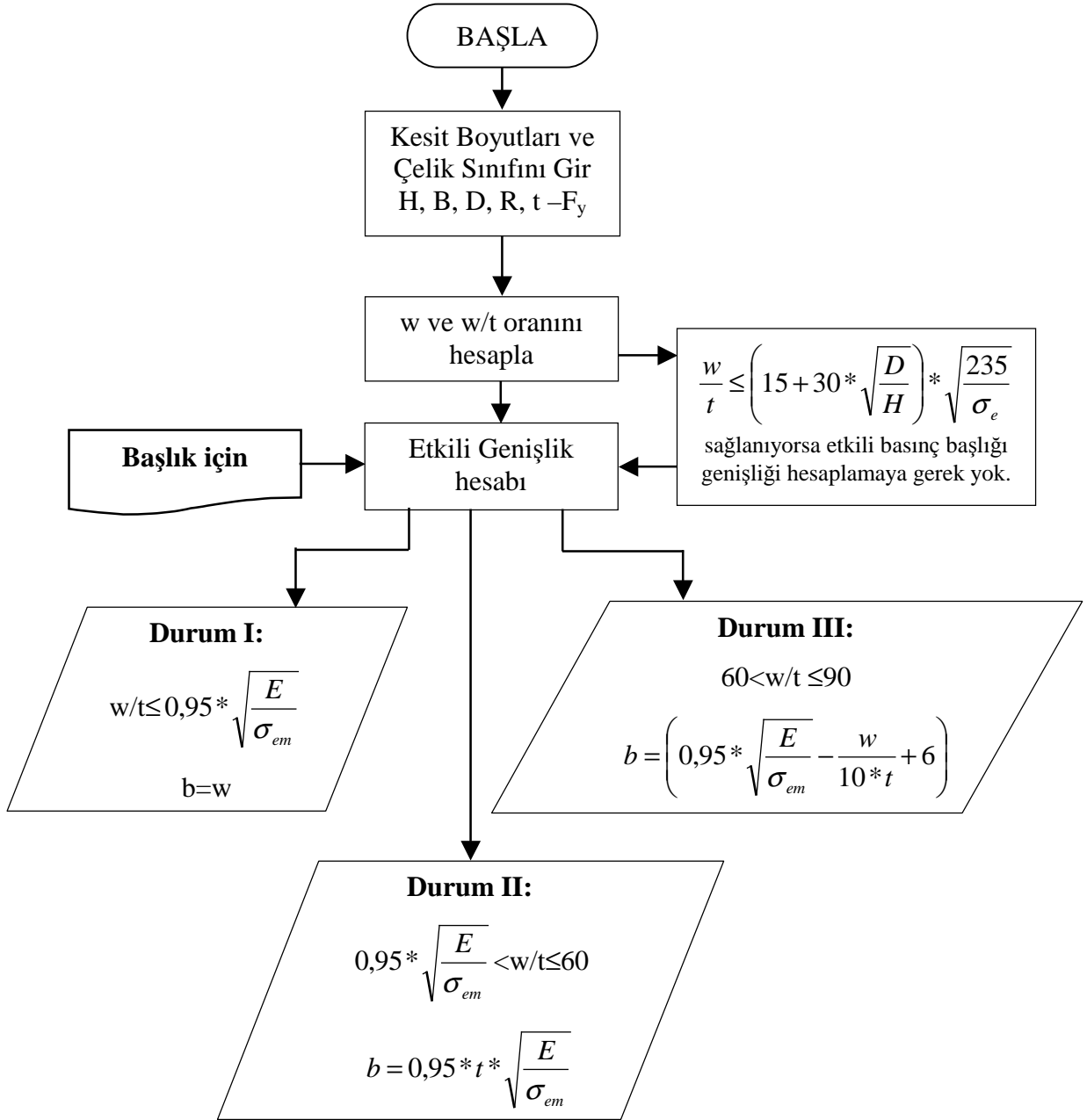
$$S_e = \frac{I_x}{y_{cg}}$$

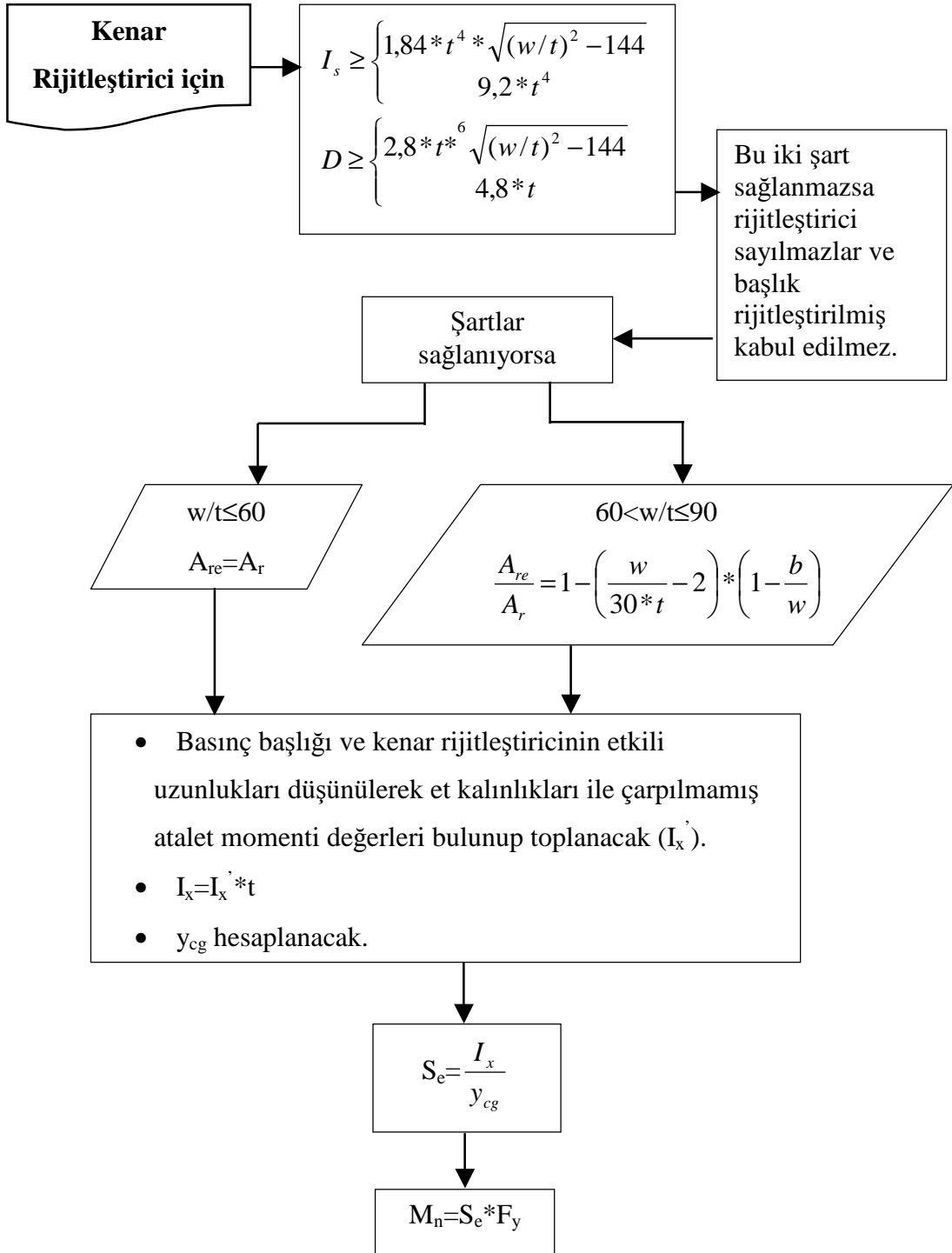
$$M_n = S_e * F_y$$

2) AISI-96 için Kenarlarından Rijitleştirilmiş C profilde Kesme Dayanımı Hesabı için Akış Şeması

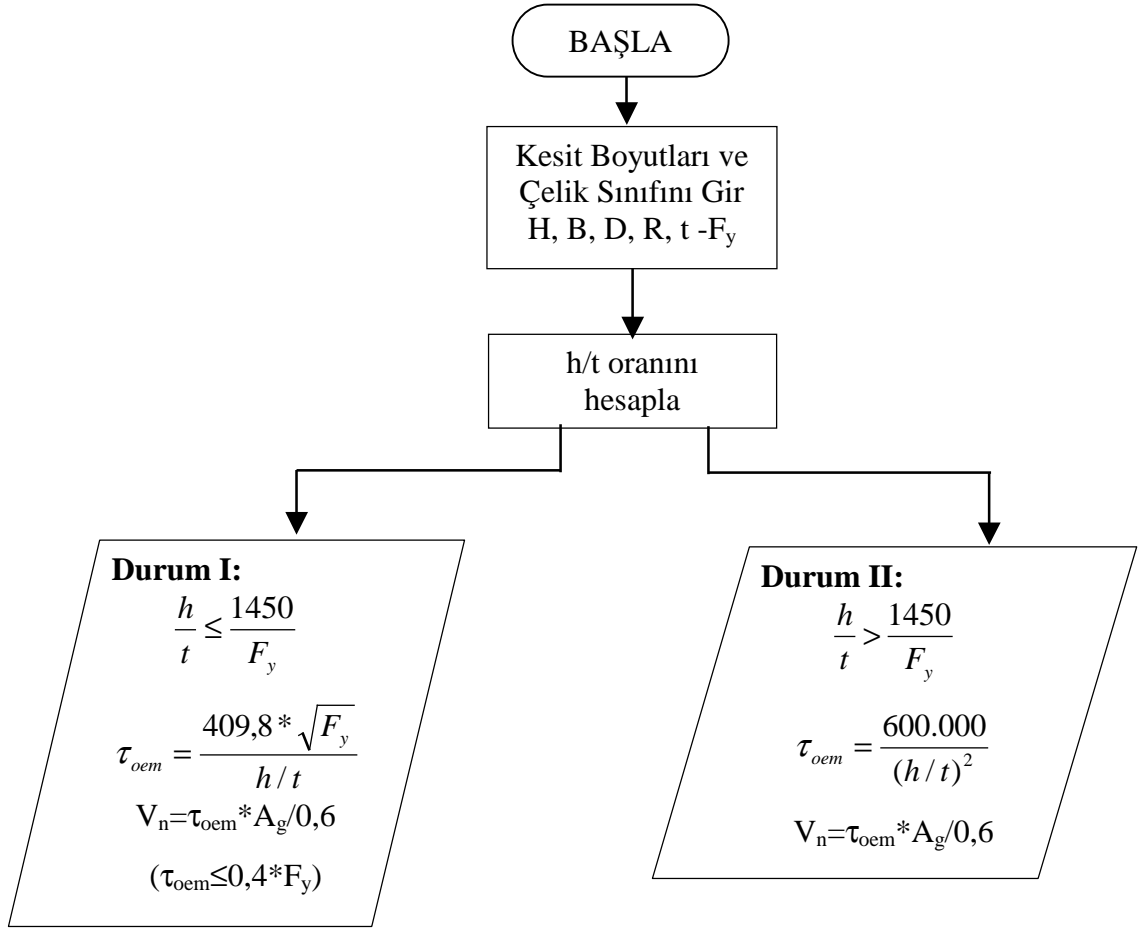


3) TS 11372 için Kenarlarından Rijitleştirilmiş C profilde Moment Dayanımı Hesabı için Akış Şeması

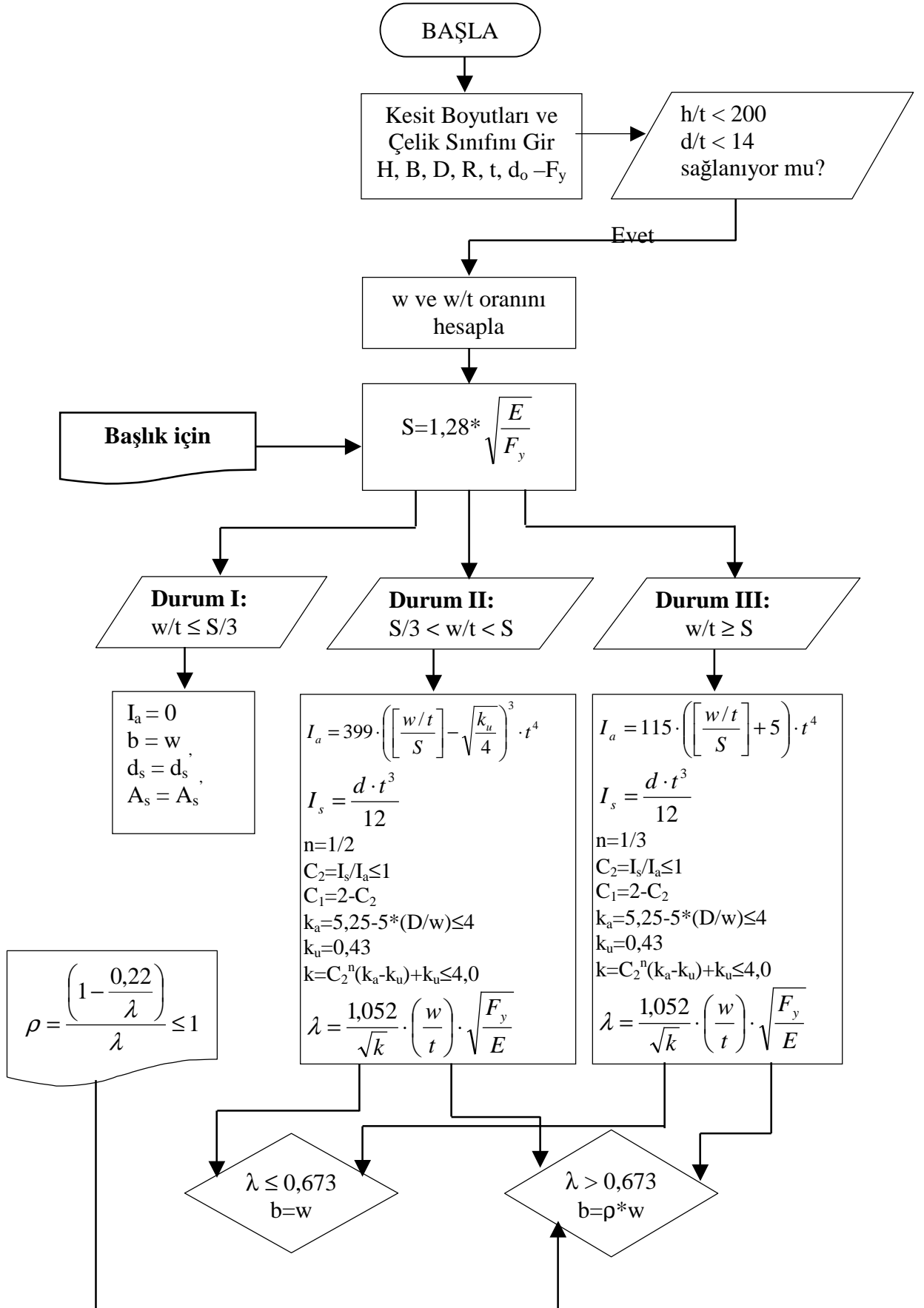


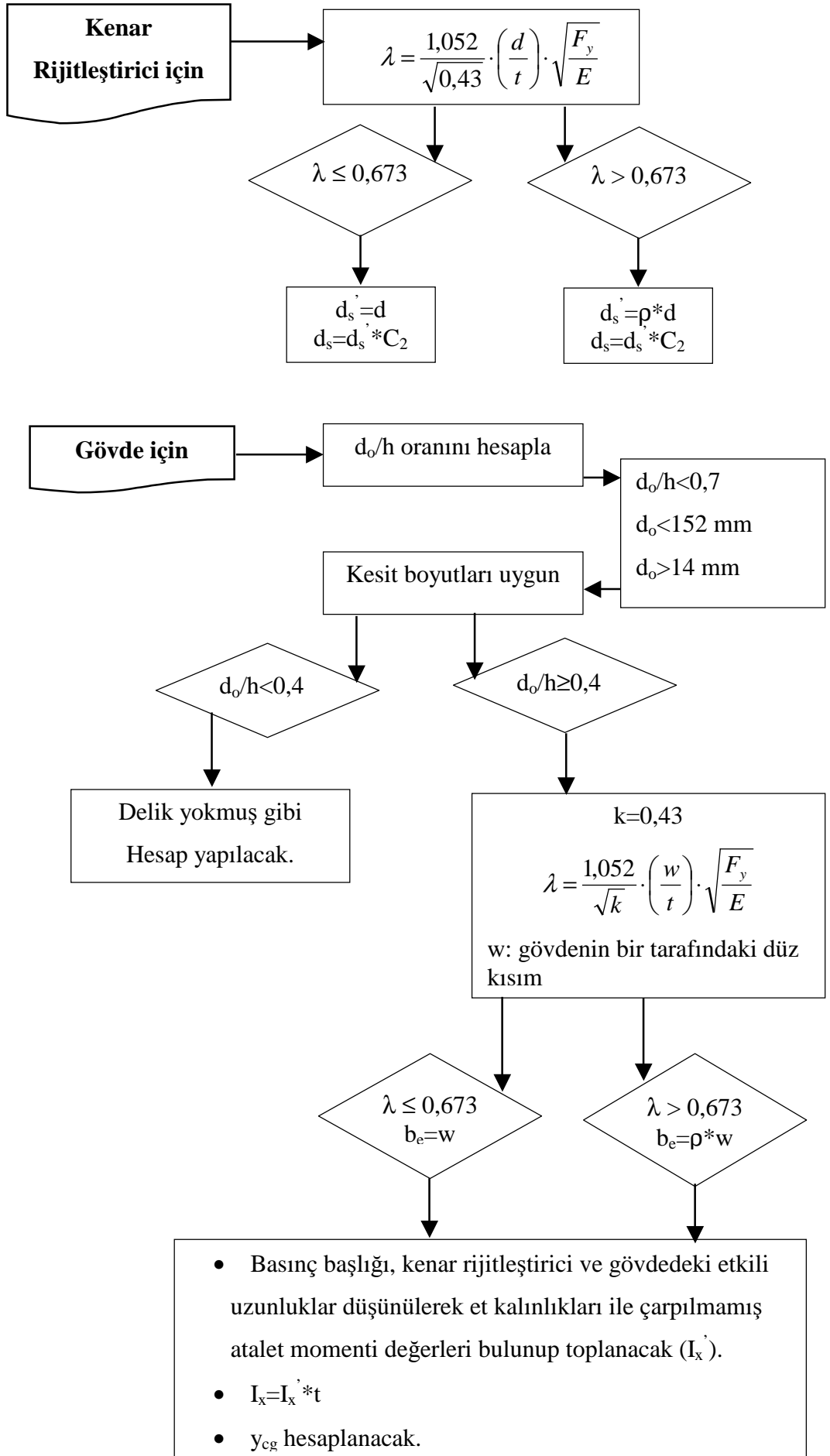


4) TS 11372 için Kenarlarından Rijitleştirilmiş C profilde Kesme Dayanımı Hesabı için Akış Şeması



5) AISI-96 için Kenarlarından Rijitleştirilmiş C profilin Gövdesinde delik olması halii, Moment Dayanımı Hesabı için Akış Şeması



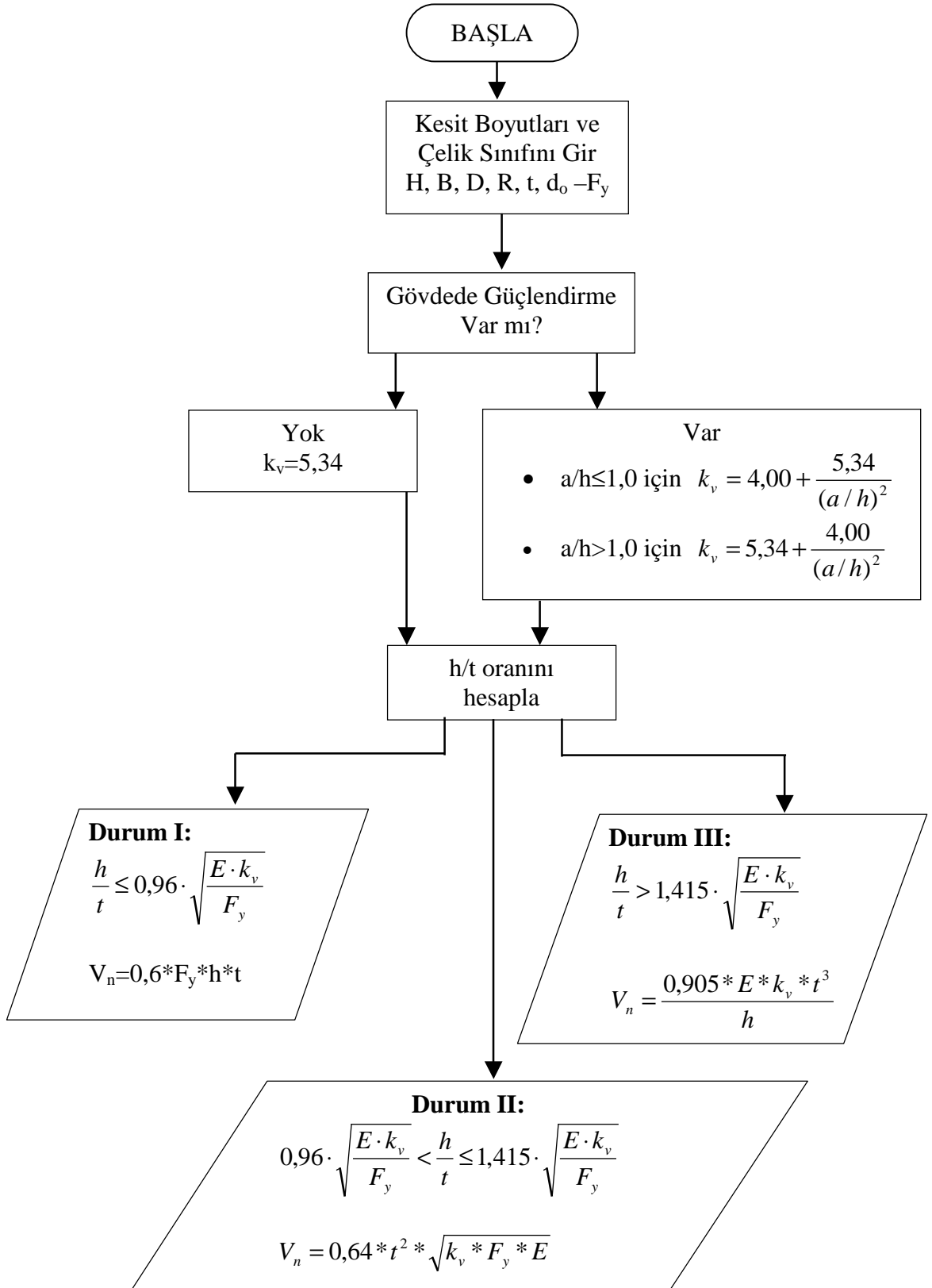


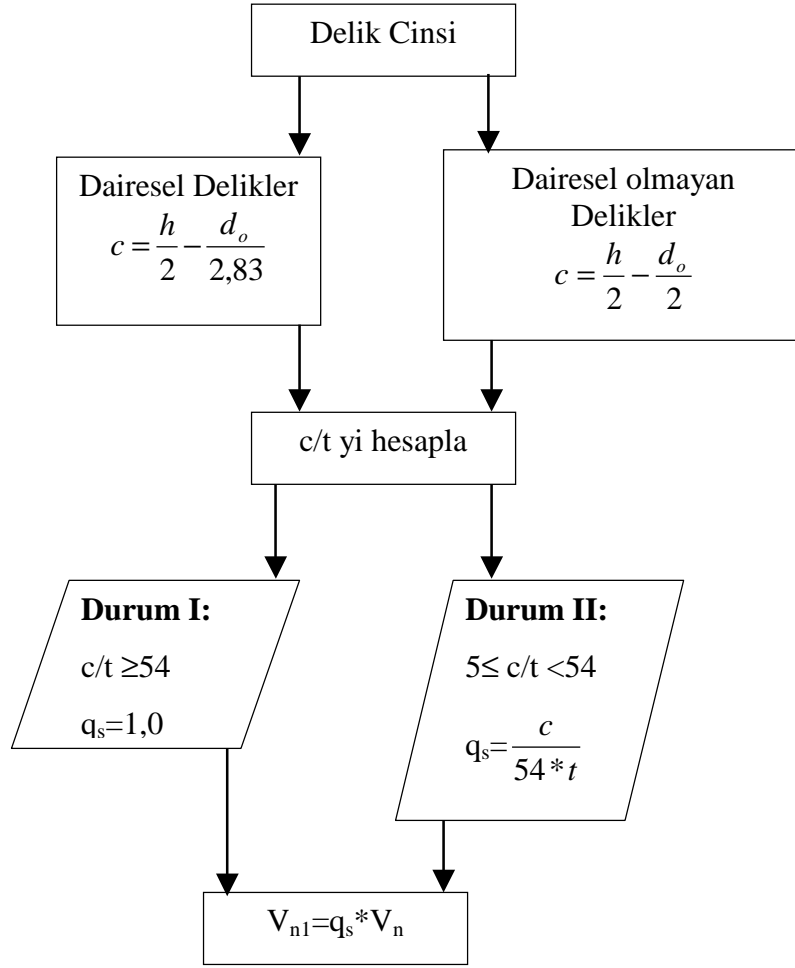
$$S_e = \frac{I_x}{y_{cg}}$$



$$M_n = S_e * F_y$$

6) AISI-96 için Kenarlarından Rijitleştirilmiş C profilin Gövdesinde delik olması hali, Kesme Dayanımı Hesabı için Akış Şeması





ÖZGEÇMİŞ

Fatih Genç, 1979 yılında Bursa'da doğdu. İlköğrenim, orta ve lise öğrenimini Bursa'da tamamladı. 2001 yılında da lisans eğitimini Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünde iyi derece ile tamamladı. 2001 yılında bir proje ofisinde ilk deneyimine başladı. Bu deneyimlerini 2003 yılına kadar sürdürdükten sonra 2003 yılının Ekim ayında kendi proje ofisini kurarak Yapı Mühendisliği konusunda proje üretmeğe devam etti. 2005 yılında İ.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği bölümü, Yapı programına girmeye hak kazandı. Yüksek Lisans ders programını 2007 yılında tamamladı.

Yazar, halen kendi ofisinde proje mühendisliği görevini devam ettirmektedir.