

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNCE CİDARLI KAPALI ENKESİTLİ ÇUBUKLARDAN  
OLUŞAN SİSTEMLERİN DÜĞÜM NOKTASI  
BİRLEŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

**İnşaat Mühendisi Fevzi Fırat BOZACI**

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. A. Zafer Öztürk**

**İSTANBUL, 2007**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	iv
KISALTMA LİSTESİ .....	viii
ŞEKİL LİSTESİ .....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xii
ÖNSÖZ .....	xiii
ÖZET .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
1. GİRİŞ .....	1
2. KUTU ve BORU PROFİL BİRLEŞİMLERİNDE KAYNAK .....	3
2.1 Kaynaklanabilirlik .....	3
2.2 Kutu ve Boru Profil Birleşimlerinde Kaynak Yöntemleri .....	4
2.3 Kutu ve Boru Profillerin Uç Hazırlığı .....	6
2.3.1 Kesim .....	6
2.3.1.1 Testere ile Kesim .....	7
2.3.1.2 Oksijenli Kesim .....	10
2.3.1.2.1 Elle Yapılan Oksijenli Kesim .....	10
2.3.1.2.2 Otomatik Oksijenli Kesim .....	11
2.3.1.3 Yiv Açma .....	12
2.3.1.4 Lazerli Kesim .....	12
2.3.1.5 Plazma Kesimi .....	12
2.3.2 Yassılaştırma .....	13
2.4 Kutu ve Boru Profillerde Kaynak Ağızı Hazırlığı .....	13
2.4.1 Ağız Ağız Birleşimler .....	14
2.4.2 Kafes Kiriş Birleşimleri .....	16
2.5 Kaynak Pozisyonları ve Sıraları .....	16
3. KUTU ve BORU PROFİL BİRLEŞİMLERİNDE KAYNAK TASARIMI .....	19
3.1 Köşe Kaynak Tasarımı .....	19
3.1.1 Boru Profil Birleşimleri .....	21
3.1.2 Kutu Profil Birleşimleri .....	22
3.1.3 Sayısal Örnekler .....	23
3.2 Küt Kaynak Tasarımı .....	25
4. BORU PROFİL BİRLEŞİMLERİNİN TASARIMI .....	26
4.1 Boru Profil Birleşimlerinin Yük Taşıma Kapasitesini Etkileyen Parametreler .....	26
4.2 Boru Profil Birleşimlerinin Göçme Biçimleri .....	28
4.3 Boru Profil Birleşimlerinin Taşıma Gücü .....	30
4.3.1 Boru Profillerin Tek Düzlemlili Kafes Kiriş Birleşimleri .....	31

4.3.1.1	T ve Y Tipi Birleşimler.....	31
4.3.1.2	X tipi Birleşimler .....	34
4.3.1.3	Boşluklu K ve N tipi Birleşimler .....	37
4.3.1.4	Örtüşen K ve N tipi Birleşimler.....	41
4.3.1.5	Moment Birleşimleri.....	45
4.3.2	Tek Düzlem Kafes Kirişlerin Özel Birleşim Tipleri.....	47
4.3.2.1	Boru Profillerin Diğer Birleşimleri.....	47
4.3.2.2	Düğüm Noktası Levhalı ya da Başlık Elemanına Doğrudan Kaynaklı I, H veya Kutu Profil Birleşimleri .....	48
4.3.2.3	Boru Profillerin Ağzı Düzleştirilmiş ve Alıştırılmış Birleşimleri .....	51
5.	KUTU PROFİL BİRLEŞİMLERİNİN TASARIMI .....	53
5.1	Kutu Profil Birleşimlerinin Yük Taşıma Kapasitesini Etkileyen Parametreler.....	53
5.2	Kutu Profil Birleşimlerinin Göçme Biçimleri .....	54
5.3	Kutu Profil Birleşimlerinin Taşıma Gücü .....	54
5.3.1	Kutu Profillerin Tek Düzlemli Kafes Kiriş Birleşimleri .....	55
5.3.1.1	T, Y ve X tipi Birleşimler .....	55
5.3.1.2	Boşluklu K ve N tipi Birleşimler .....	67
5.3.1.3	Örtüşen K ve N tipi Birleşimler.....	71
5.3.1.4	Moment Birleşimleri.....	76
5.3.2	Kutu Profiller için Tek Düzlemli Kafes Kirişlerin Özel Birleşim Tipleri .....	78
5.3.2.1	Kutu Profiller in Tek Düzlemli KT tipi Kafes Kiriş Birleşimleri.....	78
5.3.2.2	Kutu Profillerin Tek Düzlemli Düğüm Noktası Levhalı ya da Başlık Elemanına Doğrudan Kaynaklı I veya H Profil Birleşimleri.....	80
5.3.2.3	Kutu Profillerin Dirsek Şekilli Birleşimleri.....	82
5.3.2.4	Kutu Profillerin Üç Elemanlı Dirsek Şekilli Birleşimleri.....	84
6.	SONUÇLAR.....	87
	KAYNAKLAR.....	89
	ÖZGEÇMİŞ.....	90

## SİMGE LİSTESİ

$a$	Kaynak kalınlığı
$A_i$	$i$ ' inci elemanın enkesit alanı, $i = 0, 1, 2, 3$
$A_V$	Başlık elemanının etkin kesme kuvveti alanı
$b_e$	Örgü çubuğunun etkin genişliği
$b_{e(ov)}$	Örtüşen kutu profil birleşimlerinde örten elemanın etkin genişliği
$b_{ep}$	Etkin kesme zımbalaması genişliği
$b_i$	$i$ ' inci kutu profilin dıştan dışa genişliği, $i = 0, 1, 2, 3$
$b_j$	$j$ ' inci kutu profilin dıştan dışa genişliği, $j = 0, 1, 2, 3$
$C_e$	Kutu ve boru profil birleşimleri için verim faktörü
$C_{ipb}$	Moment aktaran Vierendeel tipi boru profil birleşimleri için verim faktörü
$C_K$	Boru profillerin örtüşen ve boşluklu K ve N tipi birleşimleri için verim faktörü
$C_{K,g}$	Kutu profillerin boşluklu K tipi birleşimleri için verim faktörü
$C_T$	Boru profillerin T ve Y tipi birleşimleri için verim faktörü
$C_{T,c}$	Kutu profillerin basınç etkisindeki T ve Y tipi birleşimleri için verim faktörü
$C_{T,t}$	Kutu profillerin çekme etkisindeki T, Y ve X tipi birleşimleri için verim faktörü
$C_X$	Boru profillerin X tipi birleşimleri için verim faktörü
$C_{X,c}$	Kutu profillerin basınç etkisindeki X tipi birleşimleri için verim faktörü
$d$	Dış çap
$d_i$	$i$ ' inci boru profilin dış çapı, $i = 0, 1, 2, 3$
$e$	Dışmerkezlilik
$E$	Elastisite modülü
$f_a$	Boru profillerin düğüm noktası levhalı veya başlık elemanına doğrudan kaynaklı I, H ya da kutu profil birleşimlerinde, düğüm noktası levhasında, I, H ya da Kutu profilde aksenal yükten oluşan normal gerilme
$f_b$	Boru profillerin düğüm noktası levhalı veya başlık elemanına doğrudan kaynaklı I, H ya da kutu profil birleşimlerinde, düğüm noktası levhasında, I, H ya da Kutu profilde momentten oluşan normal gerilme
$f(n')$	Kutu profillerin başlık elemanına paralel düğüm noktası levhalı birleşimi hariç tüm kutu ve boru profil birleşimleri için başlık uç kuvveti fonksiyonu
$f(m)$	Kutu profillerin başlık elemanına paralel düğüm noktası levhalı birleşimi için başlık uç kuvveti fonksiyonu
$f_{op}$	Başlık elemanında mevcut yüklemmeden doğan normal gerilme
$f_r$	Azaltma faktörü

$f_{ui}, f_{uj}$	Sırasıyla i ve j elemanlarının kopma gerilmesi, $i, j = 0, 1, 2, 3$
$f_y$	Akma gerilmesi
$f_{yi}, f_{yj}$	Sırasıyla i ve j elemanlarının akma gerilmesi, $i, j = 0, 1, 2, 3$
$f(\gamma, g')$	Boşluk örtüşme fonksiyonu
$g$	Boşluklu K, N ve KT tipi birleşimlerde, başlık elemanı yüzeyinde, örgü çubukları arasındaki mesafe, boşluk
$g'$	Boşluk değerinin başlık elemanı cidar kalınlığına oranı, $g' = g / t_0$
$h$	Kutu profiller için dıştan dışa yükseklik
$h_i$	i' inci kutu profil için dıştan dışa yükseklik
$L$	Kaynak kolu uzunluğu
$M_i$	i' inci elemana etkiyen moment, $i = 1, 2, 3$
$M_{ipb}$	i' inci elemanın maruz kaldığı moment, $i = 1, 2, 3$
$M_{ipb}^*$	i' inci eleman birleşiminin moment taşıma kapasitesi, $i = 1, 2, 3$
$M_{pl,i}$	i' inci elemanın plastik moment taşıma kapasitesi
$M_{ri}$	i' inci elemanın moment taşıma kapasitesi
$n'$	Başlık elemanında mevcut yüklemmeden doğan normal gerilmenin başlık elemanı akma gerilmesine oranı, $n' = \frac{f_{op}}{f_{yo}}$
$N_0^*$	Boru profillerin T, Y ve X tipi birleşimlerinin başlık elemanında kesme zımbalaması göçme biçimini esas alarak hesaplanan taşıma gücü
$N_{oi}^*$	Boru profillerin boşluklu K ve N tipi birleşimlerde, i' inci eleman birleşiminin başlık elemanında kesme zımbalaması göçme biçimini esas alarak hesaplanan taşıma gücü, $i = 1, 2$
$N_1^*$	Kutu profil birleşimlerinin başlık elemanında oluşan göçme biçimleri esas alınarak hesaplanan taşıma gücü
$N_{IT}^*$	Boru profillerin T ve Y tipi birleşimlerinin başlık elemanı plastikleşmesi göçme biçimini esas alarak hesaplanan taşıma gücü
$N_{IX}^*$	Boru profillerin X tipi birleşimlerinin başlık elemanı plastikleşmesi göçme biçimini esas alarak hesaplanan taşıma gücü
$N_i$	i' inci elemana etkiyen eksenel kuvvet, $i = 1, 2, 3$
$N_i^*$	Kutu profil birleşimlerinin örgü çubuklarında oluşan göçme biçimleri esas

	alınarak hesaplanan taşıma gücü
$N_{iK}^*$	Boru profillerin boşluklu K ve N tipi birleşimlerinde, i' inci eleman birleşiminin başlık elemanı plastikleşmesi göçme biçimini esas alarak hesaplanan taşıma gücü, $i = 1, 2$
$N_K$	Herhangi bir birleşimin karakteristik taşıma gücü
$N_K^*$	Boru profillerin boşluklu K ve N tipi birleşimlerinin taşıma gücü
$N_{ri}$	i' inci elemanın aksenal yük taşıma kapasitesi
$N_T^*$	Boru profillerin T tipi birleşimlerinin taşıma gücü
$N_X^*$	Boru profillerin X tipi birleşimlerinin taşıma gücü
$N^*$	Herhangi bir birleşimin taşıma gücü
$O_v$	Örtüşme yüzdesi, $O_v = (q/p) \times 100$
$p$	Örtüşen birleşimlerde, örten elemanın örtülen elemanın olmaması halinde, başlık elemanı yüzeyine birleştiği burun ve topuk noktaları arasındaki mesafe
$p_w$	Kaynak tasarım dayanımı
$q$	Örtüşen birleşimlerde, örten ve örtülen elemanların başlık elemanı yüzeyine birleştirilmesi halinde (örten eleman sanal olarak uzatılır), burun noktaları arasında kalan mesafe
$Q_K$	Karakteristik yük
$r_o$	Boru profil başlık elemanının dış yarıçapı
$r_i'$	i' inci boru profilin iç yarıçapı, $i = 1, 2, 3$
$s$	Etkin kaynak uzunluğu
$t$	Kalınlık
$t_i$	i' inci elemanın cidar kalınlığı, $i = 0, 1, 2, 3$
$t_{eff}$	Etkin cidar kalınlığı
$V$	Elemana etkiyen kesme kuvveti
$V_p$	Etkidiği elemanda kayma akması meydana getiren kuvvet
$Z_I$	Kutu profil başlık elemanının plastik mukavemet momenti
$\alpha$	(1) Birleşimi yapılacak elemana ve birleşimde kullanılacak kaynağa ait malzeme güvenlik faktörlerini de içeren boyutsuz bir büyüklük (2) Dirsek şekilli kutu profil birleşimlerinde $(\frac{N_i}{N_{ri}} + \frac{M_i}{M_{ri}})$ değerinin küçük ya da eşit olabileceği büyüklük

$\beta$  Başlık elemanı çapının ya da genişliğinin örgü çubuğu çap ya da genişliğine oranı

$$\beta = \frac{d_1}{b_0}, \frac{b_1}{b_0} \text{ (T, Y, X)}, \quad \beta = \frac{d_1 + d_2}{2b_0}, \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0} \text{ (K, N)}$$

$\gamma$  Boru profil başlık elemanı yarıçapının etkalınlığına oranı,  $\gamma = \frac{d_0}{2t_0}$

$\gamma_M$  Malzeme güvenlik katsayısı

$\gamma_{MJ}$  Birleşim güvenlik katsayısı

$\gamma_{MW}$  Kaynak güvenlik katsayısı

$\gamma_S$  Yük güvenlik katsayısı

$\theta_i$  Örgü elemanı ile başlık elemanı arasındaki dar aç

## **KISALTMA LİSTESİ**

CEV	Karbon Eşdeğeri (Carbon Equivalent Value)
CHS	Dairesel Boşluklu Kesitler (Circular Hollow Sections)
EC	Eurocode
EN	Euronorm
IIW	Uluslararası Kaynak Enstitüsü (International Institute of Welding)
MAW	Metal Ark Kaynağı (Metal Arc Welding)
RHS	Dikdörtgen Boşluklu Kesitler (Rectangular Hollow Sections)
SHS	Yapısal Boşluklu Kesitler (Structural Hollow Sections)



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Gaz altı metal ark kaynağı .....	6
Şekil 2.2	Örgü elemanı ucunda tek düzlemlı kesim ve uygulanabilirlik şartları .....	7
Şekil 2.3	Yöntem A için kesim düzlemlerinin tayini.....	9
Şekil 2.4	Yöntem B için kesim düzlemlerinin tayini, iki kesim .....	9
Şekil 2.5	Yöntem B için kesim düzlemlerinin tayini, üç kesim .....	10
Şekil 2.6	Profil kesim için kesişim eğrisinin belirlenmesi.....	11
Şekil 2.7	Profil kesim için gerekli şablon açılımı .....	12
Şekil 2.8	Yassılaştırma çeşitleri .....	13
Şekil 2.9	Farklı cidar kalınlıklı kutu ve boru profiller için ağız ağza kaynak hazırlığı .....	15
Şekil 2.10	Kutu ve boru profiller için destek halkası detayları.....	16
Şekil 2.11	Kutu ve boru profillerin kafes kiriş birleşimleri için kaynak ağız hazırlıkları ....	17
Şekil 2.12	360° dönen kaynak, 180° yukarı düşey kaynak, düşey kaynak, yatay kaynak ...	18
Şekil 3.1	Kutu profil birleşimlerinde tipik gerilme dağılımı .....	21
Şekil 3.2	Kutu profiller için birleşim tipleri.....	23
Şekil 3.3	Sayısal örnek için boşluklu kutu profil birleşimi.....	24
Şekil 3.4	Sayısal örnek için örtüşen boru profil birleşimi .....	25
Şekil 4.1	Temel birleşim tipleri .....	27
Şekil 4.2	Başlık elemanı plastikleşmesi göçme biçimi .....	28
Şekil 4.3	Başlık elemanında kesme göçme biçimi.....	28
Şekil 4.4	Başlık elemanında kesme zımbalaması göçme biçimi .....	29
Şekil 4.5	Örgü çubuğu etkin genişlik göçmesi .....	29
Şekil 4.6	Örgü ubuğu ya da başlık elemanında yerel burkulma .....	29
Şekil 4.7	T ve Y tipi birleşim ve (4.3)' ün geçerlilik aralığı şartları .....	31
Şekil 4.8	f(n') fonksiyonu .....	32
Şekil 4.9	T ve Y tipi birleşimler için verim faktörü .....	33
Şekil 4.10	X tipi birleşim ve (4.8)' in geçerlilik aralığı şartları .....	34
Şekil 4.11	X tipi birleşimler için verim faktörü .....	35
Şekil 4.12	Dışmerkezlilik.....	37
Şekil 4.13	Boşluklu K ve N tipi birleşim ve (4.10)' un geçerlilik aralığı şartları .....	38
Şekil 4.14a	Boşluklu K ve N tipi birleşimler için g' = 2 olması halinde verim faktörü .....	39
Şekil 4.14b	Boşluklu K ve N tipi birleşimler için g' = 6 olması halinde verim faktörü .....	39
Şekil 4.14c	Boşluklu K ve N tipi birleşimler için g' = 10 olması halinde verim faktörü .....	40

Şekil 4.15	Tipik örtüşen K- ve N- tipi birleşim ve (4.10)' un geçerlilik aralığı şartları .....	42
Şekil 4.16	$O_v$ değeri .....	42
Şekil 4.17	Örtüşen K ve N tipi birleşimler için verim faktörü .....	43
Şekil 4.18	$f(\gamma, g')$ fonksiyonu .....	43
Şekil 4.19	Birleşim verimliliği için limit değerler .....	45
Şekil 4.20	Tipik Vierendeel Birleşimi .....	45
Şekil 4.21	Vierendeel birleşimleri için verim faktörü .....	46
Şekil 4.22	Boru Profillerin özel birleşimleri – I .....	47
Şekil 4.23	Boru Profillerin özel birleşimleri – II .....	48
Şekil 4.24a	Başlık elemanına dik düğüm noktası levhalı birleşim .....	49
Şekil 4.24b	Başlık elemanına paralel düğüm noktası levhalı birleşim .....	49
Şekil 4.24c	Başlık elemanına doğrudan kaynaklı I, H veya kutu profil birleşimleri.....	49
Şekil 4.25	Ağzı düzleştirilmiş boru profillerin örtüşen K tipi birleşimleri için taşıma gücü değeri .....	52
Şekil 4.26	Ağzı düzleştirilmiş boru profillerin örtüşen K tipi birleşimi .....	52
Şekil 5.1	Başlık elemanında cidar burkulması.....	54
Şekil 5.2	Tipik K tipi birleşim .....	55
Şekil 5.3	Tipik X tipi birleşim .....	55
Şekil 5.4	Başlık uç kuvveti fonksiyonu, $f(n)$ .....	57
Şekil 5.5	Çekme etkisinde Y tipi birleşim .....	59
Şekil 5.6	Çekme etkisinde bulunan T, Y ve X tipi birleşimlere ait verimlilik faktörü, $C_{T,t}$ .....	62
Şekil 5.7	Basınç etkisinde Y tipi birleşim.....	63
Şekil 5.8	Basınç etkisinde bulunan T ve Y tipi birleşimlere ait verimlilik faktörü, $C_{T,c}$ .....	64
Şekil 5.9	Basınç etkisinde X tipi birleşim.....	65
Şekil 5.10	Basınç etkisinde bulunan X tipi birleşimlere ait verimlilik faktörü, $C_{X,c}$ .....	65
Şekil 5.11	T, Y ve X tipi birleşimler için örgü çubuğu etkin genişlik göçme biçimini esas alan birleşim verimlilik grafiği .....	67
Şekil 5.12	Hesap örneği için boşluklu K tipi birleşim .....	70
Şekil 5.13	Boşluklu K tipi birleşimlere ait verimlilik grafiği, $C_{K,g}$ .....	71
Şekil 5.14	$b_i$ , $b_e$ , $b_{ov}$ ve $b_p$ büyüklüklerinin fiziksel anlatımı .....	72
Şekil 5.15	Hesap örneği için kısmi örtüşen K tipi birleşim .....	73
Şekil 5.16	Kısmi örtüşen K tipi birleşimler için örgü çubuğu etkin genişlik göçme biçimini esas alan birleşim verimlilik grafiği .....	74
Şekil 5.17	Tam örtüşen K tipi birleşimler için örgü çubuğu etkin genişlik göçme biçimini	

	esas alan birleşim verimlilik grafiği .....	76
Şekil 5.18	Tipik Vierendeel birleşimi .....	77
Şekil 5.19	KT tipi birleşim örnekleri .....	79
Şekil 5.20	Başlık elemanına paralel düğüm noktası levhalı birleşim için uç kuvveti fonksiyonu, $f(m)$ .....	82
Şekil 5.21	Dirsek şekilli birleşimlerin teşkili.....	83
Şekil 5.22	Malzemeli ekseninde eğilmeye maruz kutu profillerin dirsek şekilli birleşimleri için gerilme azaltma faktörü .....	83
Şekil 5.23	Malzemesiz ekseninde eğilmeye maruz kutu profillerin dirsek şekilli birleşimleri için gerilme azaltma faktörü .....	84
Şekil 5.24	Bir Pratt makasında üç profilli dirsek şekilli birleşim .....	85
Şekil 5.25	Üç elemanlı dirsek şekilli birleşimin örtüşen K tipi birleşime benzeştirilmesi ...	85
Şekil 5.26	Hesap örneği için üç profilli dirsek şekilli birleşim.....	86

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Kutu ve boru profiller için kimyasal bileşim ve CEV .....	4
Çizelge 2.2	Destek halkasız ağız ağza bağlantılar .....	14
Çizelge 2.3	Destek halkalı ağız ağza bağlantılar .....	15
Çizelge 3.1	Taşıma gücü esasına göre kaynak kalınlıkları .....	19
Çizelge 3.2	Kaynak tasarım dayanımı .....	20
Çizelge 3.3	Azaltma faktörü .....	20
Çizelge 3.4	Farklı akma gerilmeleri için minimum kaynak kalınlıkları .....	22
Çizelge 4.1	Düğüm noktası levhalı ya da başlık elemanına doğrudan kaynaklı I, H veya kutu profil için taşıma gücü formülleri .....	50
Çizelge 4.2	Ağzı düzleştirilmiş boru profil birleşim deneylerinde denenen ebat ve parametreler .....	51
Çizelge 5.1	T, Y ve X tipi birleşimler için taşıma gücü değerleri .....	56
Çizelge 5.2	$f_k$ , $f_{kn}$ , $b_e$ , $b_{ep}$ , $A_v$ ve $\alpha$ değerleri .....	58
Çizelge 5.3	Başlık elemanının kare enkesitli olması hali için birleşim tiplerine göre ilgili formüllerin geçerlilik aralığı .....	60
Çizelge 5.4	Başlık elemanının dikdörtgen enkesitli olması hali için birleşim tiplerine göre ilgili formüllerin geçerlilik aralığı .....	61
Çizelge 5.5	Boşluklu K ve N tipi birleşimler için taşıma gücü değerleri .....	69
Çizelge 5.6	Örtüşen K ve N tipi birleşimler için taşıma gücü değerleri .....	72
Çizelge 5.7	Düzlem içinde momente maruz T ve X tipi birleşimler için taşıma gücü değerleri .....	77
Çizelge 5.8	Düzlem içinde momente maruz T ve X tipi birleşimlerin Çizelge 5.7' ye göre hesabı için geçerlilik aralığı koşulları .....	78
Çizelge 5.9	Örtüşen KT tipi birleşimler için taşıma gücü değerleri .....	80
Çizelge 5.10	Çizelge 5.11 için geçerlilik aralığı koşulları .....	80
Çizelge 5.11	Kutu profillerin düğüm noktası levhalı ya da başlık elemanına doğrudan kaynaklı I veya H profil birleşimleri için taşıma gücü değerleri .....	81

## ÖNSÖZ

Ülkemizde inşaat sektörünün birçok dalında olduğu gibi projecilik bölümünde de tamamen bilimsel araştırmalara dayanan, uygulanabilirliği konusunda defalarca fikir alışverişinde bulunulan çalışmalar olduğu gibi sezgiye dayanan, proje konusuyla ilgili araştırmalarla tesadüfen ilişkisi olan çalışmalar da bulunmaktadır. Seri üretim ve düşük maliyet esas alınarak yapılan projeciliğe bağlı kalınmanın neticesi olarak ortaya çıkan ve devam eden bu durum projecinin ancak şartname ve yönetmeliklerde yer alan hükümlere mümkün olduğunca riayet etmesine imkan vermektedir. Bununla birlikte özellikle çelik yapılarla ilgili konular, yaptırım niteliği olan yayınlarda yeterince yer almamaktadır.

Kapalı enkesitli ince cidarlı profil birleşimleri de şartname ve yönetmeliklerimizde henüz yerini tam manasıyla almamış konulardan biridir. Fakat bu tip profiller özellikle kafes giriş yapımında yer alarak büyük açıklıkların geçilmesinde kullanılmaktadırlar. Ayrıca son yıllarda mimarlar tarafından sade birleşimlere sahip olmak koşuluyla, bu tip profiller kullanılarak imal edilen çelik yapı elemanları, yapının birer görsel ögesi olarak da sunulmak istenmektedir.

Konu seçiminde, bu konunun çelik yapı projeciliğinde karşılaşılan fakat şartname ve yönetmeliklerce yeterince açıklığa kavuşturulmamış olmasının ve kutu ve boru profillerin çelik yapılarda daha sık kullanılmasının etkisi büyüktür. Bu çalışma hazırlanırken yararlanılan kaynakların bu konuda daha ileri gitmek isteyen okuyuculara faydası olacağı inancındayım.

Bu çalışmada yazılan her kelimeyi titizlikle inceleyen, yönlendirme ve uyarılarıyla sürekli yardımcı olan tez hocam sayın Prof. A. Zafer ÖZTÜRK' e teşekkürü bir borç bilirim.

# İNCE CİDARLI KAPALI ENKESİTLİ ÇUBUKLARDAN OLUŞAN SİSTEMLERİN DÜĞÜM NOKTASI BİRLEŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Fevzi Fırat BOZACI

İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

İnce cidarlı kapalı enkesitli profillerle (kutu ve boru profiller) teşkil edilen çelik yapı elemanlarının tasarımından montajına uzanan sürecin tüm aşamalarında, uygulanacak birleşim tiplerinin hayati fonksiyonu vardır. Seçilen birleşim tipi birleşimi yapılan profillerin tabi tutulacağı işlemlerin belirlenmesinde ve birleşimin dayanımında en önemli etkindir.

Bu çalışmada kutu ve boru profil birleşimlerinin uç hazırlığı, birleşimlerin teşkilinde en sık kullanılan birleşim aracı kaynak ve başlıca birleşim tipleri için dayanım hesabı incelenmiştir. Birleşimlerin dayanım hesabı, kaynak yeterliliği ve zımbalama, plastikleşme gibi göçme biçimlerinin tahkiki şeklinde ele alınmıştır. Kutu ve boru profiller yük etkisinde farklı davranış ortaya koyduklarından, birleşim tipleri dayanım formülleri ayrı başlıklar altında yer almaktadır. Birleşim dayanımını ifade eden formüllerin yanı sıra, ön boyutlama aşamasında tasarımcıya hız kazandıran birleşim verimlilik faktörü kullanılarak dayanım hesabı ayrıca ifade edilmiştir. Birleşimlerin gerek dayanım gerekse işçilik yükünü azaltmak bakımından sahip olması gereken malzeme kalitesi, geliş açısı, genişlik/cidar kalınlığı, çap/cidar kalınlığı gibi parametreler incelenmiş ve birleşim tiplerinin birbiriyle mukayesesi yapılmıştır. Seçilen birleşim tipinin teşkilinde gerekli uç ve kaynak ağız hazırlıkları ve bu hazırlıklar esnasında uygulanan metodlara yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kutu ve boru profiller, birleşim tipleri, uç ve kaynak ağız hazırlığı, birleşim dayanımı

# **RESEARCH of JOINTS in STRUCTURES with THIN WALLED CLOSED CROSS-SECTION MEMBERS**

Fevzi Fırat BOZACI

Civil Engineering, M.Sc. Thesis

Joint types have vital role in process from design to mounting of steel structure members consist of thin walled closed cross-section profiles (Rectangular and circular hollow sections). The most important factor for fabrication procedure and capacity of connection is joint type.

In this study, end fittings of rectangular and circular hollow sections, weld commonly used on structural hollow section joints as a connecting equipment and capacity calculation of main joint types were researched. Calculation of joints was approached by inspection-analysis of weld sufficiency and checking failure modes such as punching and plastification of chord. Capacity formulae of joint types for rectangular and circular hollow sections were evaluated under separate sections because of dissimilar behaviour under loading. Additionally, joint efficiency factors, which make fast design possible in preliminary phase, are given for main joint types. Parameters such as material quality, angle between bracings and chord, width to wall thickness ratio, diameter to wall thickness ratio were investigated and joint types were compared with each other. End fittings and welding preparations necessary for constituting joints were explained.

**Key Words:** Rectangular and circular hollow sections, joint types, end fittings and welding preparations, capacity of joints

## 1. GİRİŞ

Çelik yapılarda; I, H, U, L enkesitli hadde profilleri uzun süredir yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde ise kapalı enkesitli ince cidarlı (Kutu ve boru enkesitli) profiller de çelik yapı elemanları olarak hadde profilleri yanında yerini almıştır. Bu tip profiller dayanım/ağırlık oranlarının yüksek oluşu, her iki eksene göre büyük atalet yarıçapı, dış yüzeylerinin açık enkesitli profillere göre ortalama %40 daha az oluşunun sağladığı daha düşük boya maliyeti gibi avantajları sayesinde bu yeri edinmiştir. Bununla beraber gelişen teknoloji ile birlikte kutu ve boru profillerin daha kolay ve yaygın imal edilebilmesi de bu tip profillerin kullanım sahalarının artmasında etkili olmuştur. Ancak büyük açıklıkların geçilmesinin zorunlu olduğu kapalı spor salonları, havaalanı bekleme salonları gibi yapılarda çelik yapı elemanlarını gizlemek yerine, birer mimari unsur haline getirmek çabasının bu bağlamda daha cazip görünüme sahip kutu ve boru profillerin uygulamada daha sık yer bulmasında ayrı bir yeri olmuştur.

Kutu ve boru profillerin çelik yapı elemanı olarak kullanıldığı günümüz yapılarında, bu tip profillerin, taşıyıcı konstrüksiyonun bir parçası olarak statik bakımdan yeterli olmasının yanı sıra, yapının görsel bakımdan da bir parçası olmaları aranır özellikleri haline gelmiştir. Bu durum mühendis ve mimarların daha etkileşimli çalışmasını da beraberinde getirmiştir. Bilindiği üzere özellikle kafes kiriş tarzında teşkil edilen yapı elemanları birçok düğüm noktası içermektedir ve bu noktalar sıklıkla düğüm noktası levhası, guse gibi yardımcı parçalar kullanılarak oluşturulmaktadır. Kullanılan bu ilave parçalar artık görsel öge haline gelmiş kutu ve boru profillerden imal edilen yapı elemanlarında, statik açıdan gerekli olsa dahi estetik kaygılar nedeniyle istenmez. Konstrüksiyonu oluşturan elemanları yalnızca kesit tesirlerine göre boyutlandırmak, istenmeyen bu parçaların kullanılmasına neden olabilir. Ancak bu durum birleşimlerin daha ön tasarım aşamasında detaylı bir şekilde hesaplanması anlamına gelmemeli, bununla birlikte birleşim dayanımında önemli rol oynayan bir takım parametreler göz ardı edilmemelidir.

Tasarımcı ilave parçaların bulunmadığı sade birleşime ulaşmak için birleşim dayanımını etkileyen faktörleri iyi bilmelidir. Ayrıca uygulanması ekonomik bakımdan zor ve uğraştırıcı detaylardan kaçınmalıdır. Bunun için de kutu ve boru profillerin başlıca birleşim aracı olan kaynağı iyi tanımalı, kaynak metodlarını ve kaynak dayanım hesabını, kutu ve boru profillerin hangi uç ve kaynak ağzı hazırlık proseslerine tabi tutulduğunu bilmelidir.

Bu çalışmada kutu ve boru profil birleşimlerinin teşkili için gerekli ön hazırlıklar, bu tip profillerin başlıca birleşim aracı olan kaynak, kaynak dayanım hesabı ve eksenel yük ve



moment etkisindeki başlıca birleşim tipleri incelenmiştir. Birleşim tipleri görünüm itibariyle aynı olmasına karşın teşkil edildikleri profilin kutu ya da boru enkesitli olmasına bağlı olarak yük etkisinde farklı davranış ortaya koyduklarından kutu ve boru profiller için farklı bölümlerde incelenmiştir.

Birleşim tiplerinin incelenmesinde; öncelikle her birleşim tipi için birleşimin dayanımını veren kesin ifadeler, hemen sonrasında tasarımcıya ön boyutlama esnasında önemli ölçüde hız kazandıracak grafik yardımıyla hesap ve son olarak sayısal uygulamalar hemen her tip için verilmiştir. Sayısal uygulamalarda seçilen kesitler ve yükleme tiplerinin pratikte karşılaşılan nitelikte olmasına gayret edilmiştir.

Sonuç olarak, çelik yapılarda mimari unsur haline gelmiş kutu ve boru enkesitli profillerin birleşimlerinin teşkili öncesindeki hazırlık prosesleri, başlıca birleşim tipleri için dayanım hesabı esasları ve sayısal uygulamalar bu çalışmanın kapsamında yer almaktadır. Bu sayede tasarımcının, gerek hesap gerek imalat öncesi gerekse imalat aşamalarını göz önünde bulundurarak teşkil edeceği konstrüksiyonda kullanacağı profil ve birleşim tipine karar verme sürecine ışık tutulmaya çalışılmıştır.

## 2. KUTU ve BORU PROFİL BİRLEŞİMLERİNDE KAYNAK

Isı etkisinde aynı veya benzer alaşımlı metallerin birleştirilmesine kaynak denir. Kaynak esnasında metaller ergime derecelerine kadar ısıtılarak sıvı kıvama getirilir veya ısıtma kızıl dereceye ulaşıncaya kadar yapılır ve plastik kıvam elde edilir. Bu birleştirme ve ısıtma işlemleri sırasında, bazı kaynaklama metodlarında birleştirilen metallerle aynı ya da benzer kimyasal içeriğe sahip ilave metal kullanılır, bazı metodlarda ise kullanılmaz. Günümüz uygulamalarında ilave metalin yer aldığı kaynaklama metodları yaygın olarak kullanılmaktadır. Kapalı enkesitli ince cidarlı profillerin (kutu ve boru profiller) kaynaklı birleşimlerinde doğru kaynak metodunun seçimi kadar kaynaklanabilirlik, birleşimi oluşturan elemanların uç ve kaynak ağzı hazırlığı ile kaynak pozisyonları ve sırası da önem arz eden faktörlerdir.

### 2.1 Kaynaklanabilirlik

Çeliğin kaynaklanabilirliği, bilinen bir kaynaklama tekniği ile metalik bir birleşimin oluşturulabilmesi demektir. Bununla birlikte, kaynaklanabilirlik terimi malzeme bazında ele alındığında, kaynağa uygunluk anlamına gelmektedir. Temelde, çelik sınıflarının kimyasal bileşimleri çeliğin kaynaklanabilirliğini belirler.

Kutu ve boru profiller düşük alaşımlı ve yüksek alaşımlı (ince taneli çelik) çelikten imal edilmektedirler. Düşük alaşımlı çelikten imal edilen profiller dayanımlarının azalmaması için ısıtma işlemine tabi tutulmazlar aynı zamanda çok düşük oranda alaşım maddesi içerdiklerinden kaynaklama için özel tedbirler alınmasına da gerek yoktur. Bu tip çeliklerin kaynaklanabilirliği daha çok karbon içeriklerine ve az da olsa ihtiva ettikleri sülfür, fosfor ve nitrojen miktarına bağlıdır. Yüksek alaşımlı çelikler düşük alaşımlı çeliklere oranla kaynağa daha uygundur. Bu tür çeliklerin bünyelerinde karbonun yanı sıra mangan, silikon, vanadyum, alüminyum, titanyum, krom, nikel ve molibdenyum da bulunmaktadır. Düşük karbon oranı ( $\leq 0.2$ ) ve gevrek kırılmayı önleyen ince taneli yapısı, yüksek alaşımlı çeliklerin kaynaklanabilirliğini arttıran faktörlerdir.

Pratikte bir çelik tipi için kaynaklanabilirliğin seçici kriteri “Karbon Eşdeğeri” (Carbon Equivalent Value, CEV) dir. Hesaplanması oldukça kolay ve kullanışlı olan bu değer, Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW) tarafından aşağıdaki ifade ile formülize edilmiştir:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cn + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (2.1)$$

Bu formülde C, Mn, Cn, Mo, V, Ni ve Cu sırasıyla karbon, mangan, silikon, molibdenyum,

vanadyum, nikel ve bakır elementlerinin hesaplanacak çelik tipindeki miktarlarını yüzde cinsinden ifade etmektedir. CEV ne kadar düşük olursa bu çelik tipinin kaynaklanabilirliği o mertebede yüksek olur. Çizelge 2.1’de kutu ve boru profil üreticisi bir firmanın soğuk ve sıcak hadde mamullerine ait kimyasal bileşimi ve karbon eşdeğeri yer almaktadır. Özellikle Avrupa’da uygulanan standartlarda CEV’e sınırlamalar getirilmiştir. Bu standartlarda CEV için maksimum değer %0.54 olarak belirlenmiştir. Şunu belirtmek gerekir ki CEV’ in yalnızca kaynaklanabilirliği belli bir seviyede tutabilmek için değil aynı zamanda ön ısıtma işleminden kaçınmak için de standartlarda belirtilen maksimum değer in altında olması gerekir. Bilindiği gibi ön ısıtma soğuk çatlak oluşumunu engelleyen fakat özellikle profillerin geometrisinin değişimine neden olması ve yüksek maliyeti sebebiyle pratikte sıkça uygulanmayan bir işlemdir.

Çizelge 2.1 Kutu ve boru profiller için kimyasal bileşim ve CEV (Corus Tubes, SHS Welding)

Spesifikasyon	Soğuk Hadde Mamulleri		Soğuk Hadde Mamulleri	
	Strongbox 235	Hybox 355	Celcius 275	Celcius 355
	(EN 10219)	(EN 10219)	(EN 10210)	(EN 10210)
<b>C %maks</b>	0.170	0.220	0.200	0.220
<b>Si %maks</b>	-	0.550	-	0.550
<b>Mn %maks</b>	1.400	1.600	1.500	1.600
<b>P %maks</b>	0.045	0.035	0.035	0.035
<b>S %maks</b>	0.045	0.035	0.035	0.035
<b>Ni %maks</b>	0.009	-	-	-
<b>CEV % <math>t \leq 16</math></b>	0.350	0.450	0.410	0.450

## 2.2 Kutu ve Boru Profil Birleşimlerinde Kaynak Yöntemleri

Ergitme kaynağı kutu ve boru profil birleşimlerinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu yöntem metal ark kaynağı, otojen kaynak, elektrik direnç kaynağı, elektrik ışın demeti ve plazma olmak üzere beş farklı şekilde tatbik edilir. Kutu ve boru profil birleşimlerinde bu beş uygulamadan en çok kullanılanı metal ark kaynağıdır. Metal ark kaynağı (MAW) kutu ve boru profiller için ağırlıklı olarak üç şekilde uygulanır.

- Standart Elektrik Arkı Kaynağı (Elektrod Kaynağı)
- Akış Merkezli Ark Kaynağı
- Gaz Altı Metal Ark Kaynağı

Bu metodların dışında, özellikle açık deniz yapıları gibi özel uygulama alanlarında, deniz altı

ark kaynağı da kullanılır. Bu metodlarda kaynaklama kaynak ekipmanı ve makinaları dikkate alınarak üç ayrı şekilde; elle, yarı otomatik ve tam otomatik yapılır. Yaygın olarak, elle ve yarı otomatik yapılan kaynak metodları uygulanmaktadır.

Standart elektrik arkı kaynağı, hem sahada hem atelyede elle yapılan bir kaynak metodudur. Özellikle üç ya da daha fazla kutu ya da boru profilin birleşiminde, yarı otomatik veya otomatik yapılan kaynaklama metodlarının uygulanmasının hemen hemen imkansız olduğu durumlarda tercih edilir. Uygulaması diğer yöntemlere göre ucuz fakat yavaş bir methodur. Bu yöntem, kaynakçının el becerisi kaynağın kalitesinde belirgin bir rol oynadığından, belli bir kaynaklama eğitimi almış sertifikalı kaynakçılar tarafından tatbik edilmelidir. Standart elektrik arkı kaynağı uygulamalarında bir diğer önemli husus da elektrod seçimidir. Farklı çelik sınıflarının bir arada kullanılması halinde sadece hidrojen kontrollü elektrodların kullanılması gerekir. Elektrodları muhafaza ederken elektrod imalatçılarının tavsiyelerine uyulmalıdır. Hidrojen kontrollü bazik elektrodlar için ısıtma fırınları kullanılır. Bir başka alternatif de düşük hidrojen katkılı paket vakum elektrodlarının kullanılmasıdır.

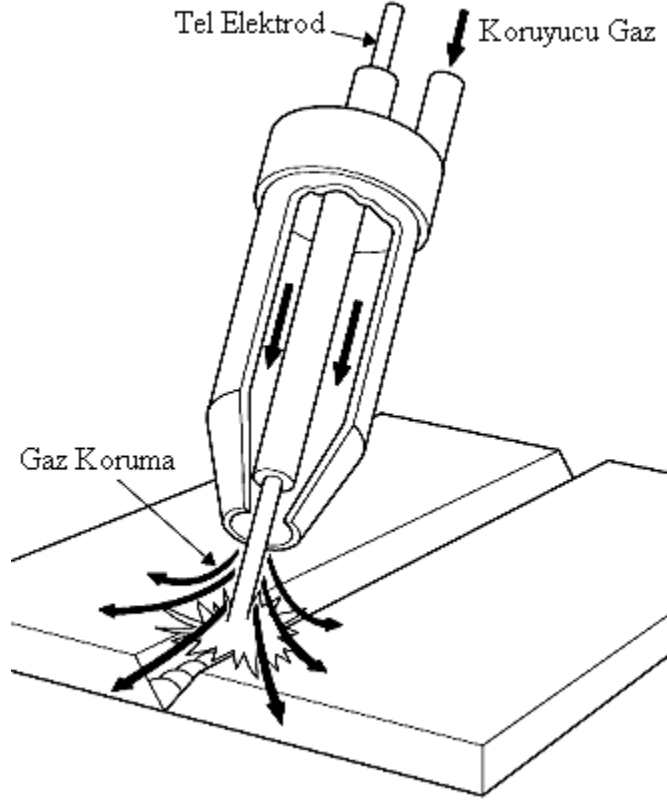
Akış merkezli ark kaynağı, kaynak makinası üzerindeki bir makaradan beslenen tel elektrodun kullanıldığı yarı otomatik bir yöntemdir. Tel elektrod bir takım kimyasal maddeler içerir, bu maddeler ark ve erimiş metali oksijen ve nitrojenin zararlı etkilerinden korurlar. Bu sistem oldukça hızlı kaynak imalatına imkan vermesine karşın büyük yatırımlar anlamına gelen pahalı ekipmanlara gereksinim duyar.

Gaz altı ark kaynağı da yarı otomatik bir yöntemdir. Akış merkezli ark kaynağından farklı olarak, bu yöntemde kullanılan koruyucu maddeler, elektrod içinde değildir ve ayrı bir iletim borusu vasıtasıyla gaz fazında kaynak yerine taşınır. Kullanılan gaz argon, helyum gibi metal soygazlardır yahut daha ucuz olan CO<sub>2</sub> veya CO<sub>2</sub>' nin de yer aldığı bir gaz karışımıdır (metal aktif gazlar, %80 Argon + %15 CO<sub>2</sub> + %5 O<sub>2</sub>). Düşük alaşımlı çelikler için metal aktif gazlar, yüksek alaşımlı gazlar için metal soygazlar koruyucu gaz olarak kullanılırlar.

Gaz altı metal ark kaynağının başlıca avantajları şöyle sıralanabilir.

- Hızlı kaynak süreci sayesinde düşük maliyet
- Kaynağın etkilendiği çevrenin küçük olması
- Cürufun olmayışı. Cüruf olmadığından, cürufu kaldırmak için gerekli süre de ortadan kalkar.

Bu avantajlara karşılık; fazla ekipman sayısı ve gaz korumasının başlığı nedeniyle, özellikle saha uygulamalarının zorluğu bir dezavantaj olarak belirir.



Şekil 2.1 Gaz altı metal ark kaynağı (Dutta vd., 1998)

### 2.3 Kutu ve Boru Profillerin Uç Hazırlığı

Kutu ve boru profillerin birleşimlerinde birleşimin mukavemeti, işçiliğin kalitesi ve maliyet bakımından en önemli çalışma birleşen elemanların kaynaklama öncesinde yapılan uç hazırlığıdır. Özellikle boru profil birleşimlerinde uç hazırlığı farklı açılar ile birleşen örgü çubukları için ayrı bir önem kazanmaktadır. Çatı makası, kolon gibi yapı elemanlarının kafes kiriş olarak teşkili durumunda imalat, parçaların uç hazırlıklarının yapılması ile başlar ki bu da çok çeşitli kesim işlemlerini içermektedir. Kesim işlemi zaman zaman hayli karışık kesişim eğrilerini uygulamak anlamına gelir. Bu durumdan kaçınmak için kesim işlemindeki iş yükünü azaltan yassılaştırma ikinci bir uç hazırlığı tipi olarak ortaya çıkar.

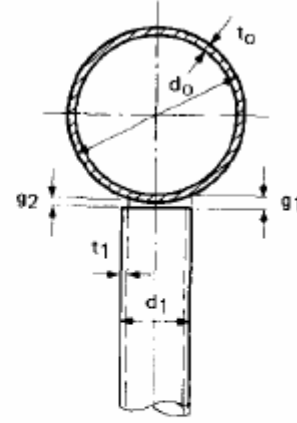
#### 2.3.1 Kesim

Kesim işlemi neticesinde birleşen elemanların tipine bağlı olarak amaçlanan bazı uç kesimleri düz kare kesim, açılı kesim, profil kesim ve konik uçlu kesimdir. Bu uç kesimlerini elde edebilmek için kutu ve boru profil elemanlarının uç hazırlığında uygulanan kesim yöntemleri

şu şekilde sıralanabilir.

- Testere ile kesim
- Oksijenli kesim
- Yiv açma
- Lazerli kesim
- Plazma kesimi

Ana eleman çapı $d_o$ (mm)	Maksimum örgü çubuğu çapı $d_1$ (mm)
33.7	-
42.4	-
48.3	-
60.3	26.9
76.1	26.9
88.9	26.9
114.3	33.7
139.7	33.7
168.3	42.4
193.7	48.3
219.1	48.3
323.9	60.3
355.6	60.3
406.4	60.3
457.0	60.3
508.0	76.1



Şekil 2.2 Örgü elemanı ucunda tek düzlemlı kesim ve uygulanabilirlik şartları (Wardenier vd., 1991)

### 2.3.1.1 Testere ile Kesim

Testere ile kesim esas olarak kutu profil birleşimlerinin kesiştiği yüzeylerdeki gibi tek düzlemlı kesimlerin yapıldığı uç hazırlıklarında kullanılır. Bu kesimler düz veya açılı olabilir. Kesme aleti hidrolik beslemeli dairesel testere, ağır grup testeresi veya güç vergel testeresidir. Boru kesitlerin doğrudan birleşimi için profil kesim yapmak gerekir. Birleşim yerindeki boruların yarıçaplarına dayanan ve birden fazla testere ile düzlem kesim işlemi uygulamak suretiyle uygun kesim ağızı elde edilebilir.

En basit kesim işlemi tek düzlemlı kesimdir. Fakat bu sadece çok küçük  $d_1/d_o$ ,  $d_2/d_o$  oranlarında uygulanabilir. Bu tarz uygulamalar için ayrıca  $g_1 \leq \min(t_o; t_1; t_2)$  ve  $g_2 \leq 3 \text{ mm}$

koşulları gerçekleşmelidir. Büyük  $d_{1,2}/d_0$  oranlarında tek düzlemlı kesim büyük kaynak boşluklarına neden olacaktır. Kaynak boşluklarından yüksek maliyet ve birleşimin yük taşıma kapasitesinin azalması riski nedeniyle kaçınılır. Şekil 2.2' de tek düzlemlı kesim yapılmak suretiyle birleşimi yapılabilecek boru profillere ait ana eleman ve örgü çubuğu çapları verilmiştir. Tek düzlemlı kesimin yapılamadığı durumlarda profil kesim yapılır. Profil kesim için iki yöntem uygulanır.

- Yöntem A

Öncelikle ‘‘c’’ değeri hesaplanır (2.2). Eğim açısı ‘‘θ’’ ne olursa olsun ‘‘c’’ sabittir. ‘‘c’’ değeri vasıtasıyla hesaplanan ‘‘n’’ noktasından hareketle ‘‘n-m’’ ve ‘‘n-u’’ doğruları çizilir. Bunlar kesim düzlemini belirler. İki kesimde tamamlandıktan sonra köşeler gerektiği gibi düzeltilerek örgü elemanının başlık yüzüne oturması sağlanır. Düzeltme işlemi iç köşelerin taşlanması, profil ağzının taşlanması ve kesip çıkarma aşamalarını kapsar (Şekil 2.3).

$$c = \frac{(r_1')^2}{(2r_0 - (r_1')^2)} \quad (2.2)$$

- Yöntem B

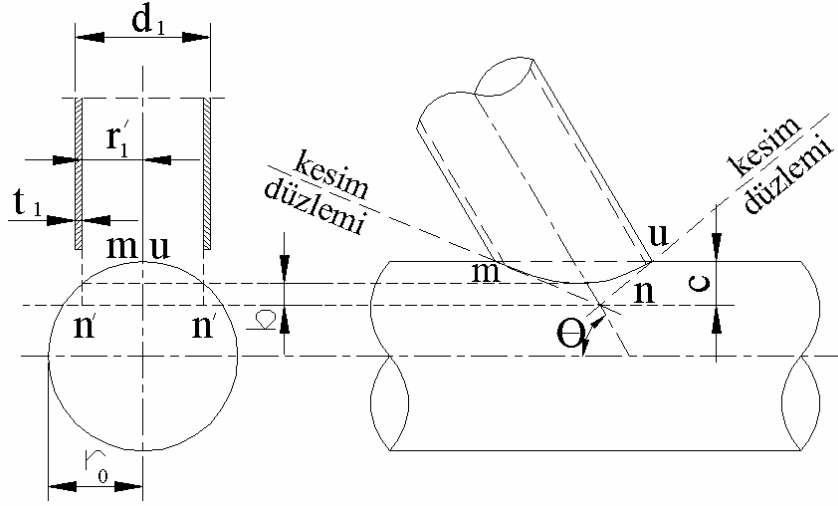
Bu yöntem iki ya da üç kesim için geçerlidir. Gerekli parametreler ve kesim çizgileri Şekil 2.4' de ifade edilmiştir. Bu yöntem daha çok dış çapları birbirine yakın boru profillerin birbirine kaynaklanması için kullanılır.

İki kesim için gerekli parametreler aşağıda ifade edilen denklemler vasıtasıyla hesaplanabilir.

$$h = \frac{d_0}{2} - \sqrt{\frac{d_0}{4} - r_1'^2} \quad (2.3)$$

$$\alpha_g = \arctan \left( \frac{h \sin \theta}{r_1' + h \cos \theta} \right) \quad (2.4)$$

$$\alpha_d = \arctan \left( \frac{h \sin \theta}{r_1' - h \cos \theta} \right) \quad (2.5)$$



Şekil 2.3 Yöntem A için kesim düzlemlerinin tayini (Dutta vd., 1998)

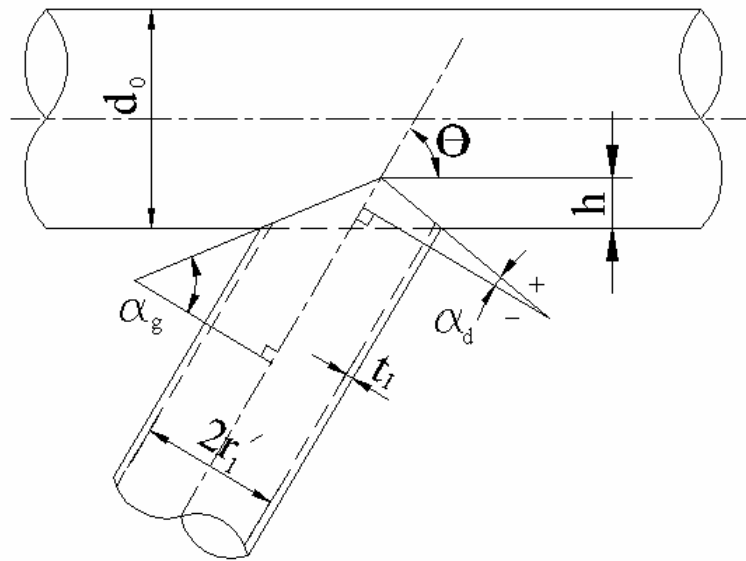
Üç kesim için gerekli parametreler aşağıdaki denklemler vasıtasıyla hesaplanabilir.

$$l = \sqrt{r_1'^2 - (r_1' - t_1)^2} \quad (2.6)$$

$$h = \frac{d_0}{2} - \sqrt{\frac{d_0^2}{4} - (r_1' - t_1)^2} \quad (2.7)$$

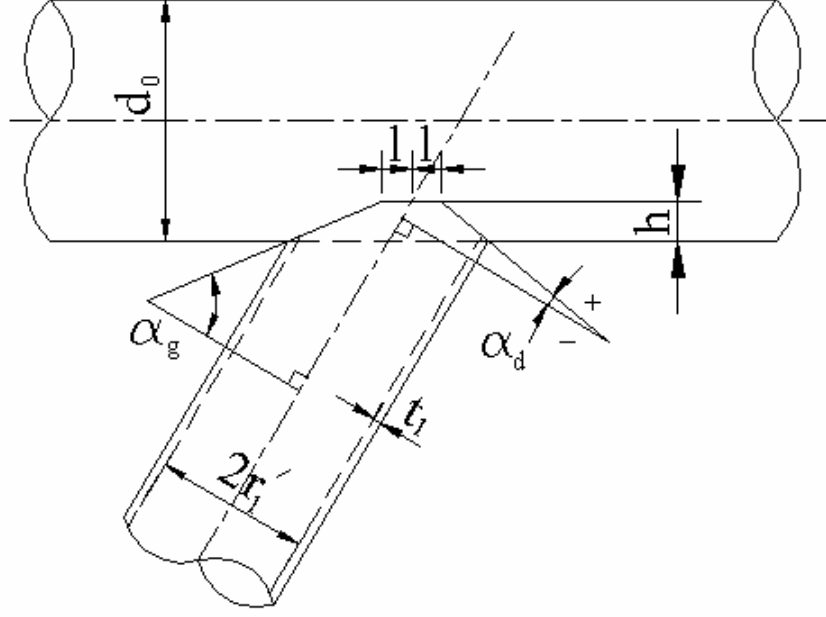
$$\alpha_g = \arctan \left( \frac{h \sin \theta}{r_1' + h \cos \theta - l \sin \theta} \right) \quad (2.8)$$

$$\alpha_d = \arctan \left( \frac{h \sin \theta}{r_1' - h \cos \theta - l \sin \theta} \right) \quad (2.9)$$



Şekil 2.4 Yöntem B için kesim düzlemlerinin tayini, iki kesim (Dutta vd., 1998)





Şekil 2.5 Yöntem B için kesim düzlemlerinin tayini, üç kesim (Dutta vd., 1998)

### 2.3.1.2 Oksijenli Kesim

Bu kesim tipi özellikle boru kesitlere uygulanan profil kesim işlemlerinde tatbik edilir. Elle ve otomatik makina ile olmak üzere iki türlü yapılır. Elle yapılan kesim büyük çaplı kesitlerde ve atelye dışında uygulanır. Otomatik oksijenli kesim atelyede gerçekleştirilir. Bu tür kesim her türlü çap ve eğim açısı kombinasyonuna uygundur.

#### 2.3.1.2.1 Elle Yapılan Oksijenli Kesim

Bu tür kesimde alev kaynağı elle tutulur ve profil üzerindeki kesim çizgisini takip eder. Elle yapılan oksijenli kesim için iş dizilimi şöyledir:

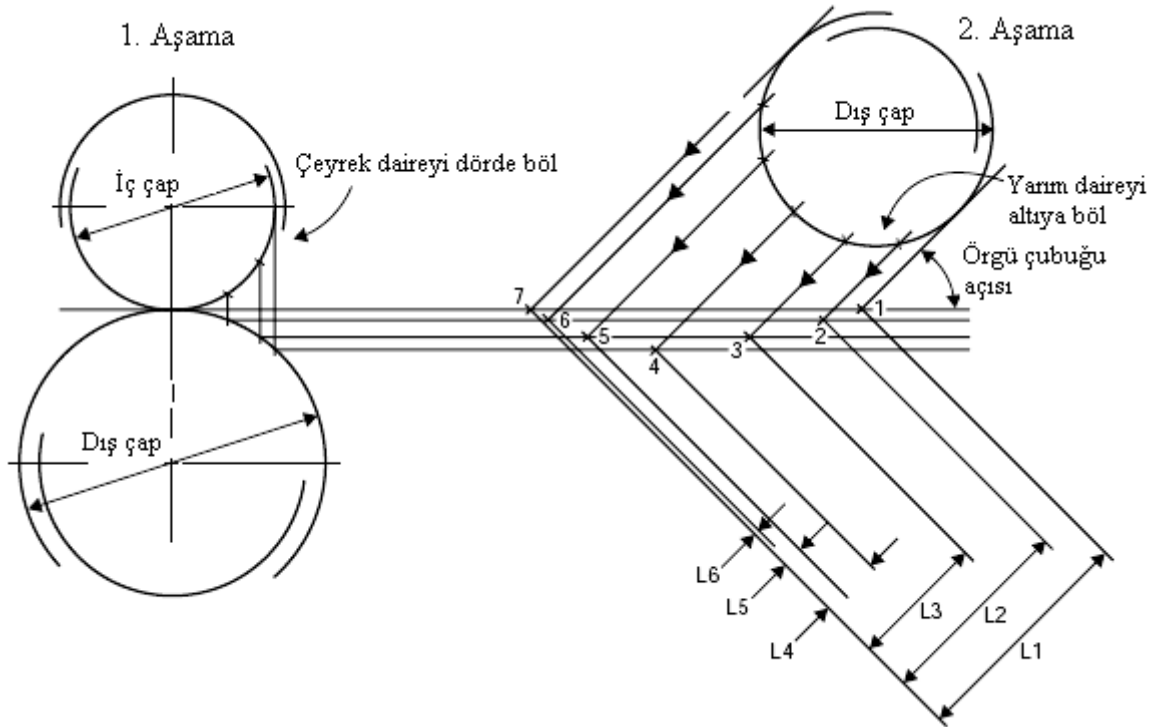
- Kesişim eğrisinin belirlenmesi
- Şablonun hazırlanması
- Borunun markalanması
- Kesimin yapılması
- Kaynak ağzlarının yapılması
- Taşlama yoluyla kaynak ağzlarının son haline getirilmesi

Bu dizilimde en önemli madde kesişim eğrisinin belirlenmesidir. Kesişim eğrisinin nasıl belirleneceği Şekil 2.6' da, gerekli şablonun açılımı ise Şekil 2.7' de ifade edilmiştir.

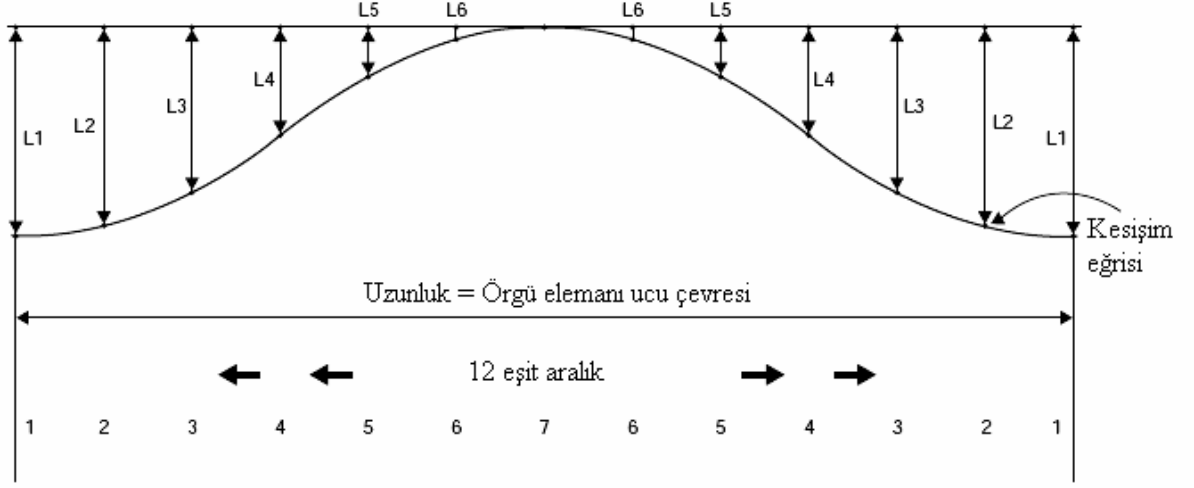
### 2.3.1.2.2 Otomatik Oksijenli Kesim

Otomatik oksijenli kesim adından anlaşılacağı gibi bir makina vasıtasıyla otomatik olarak yapılır. Otomatik oksijenle kesme aleti üreten Müller Şirketi (Almanya), bu alana manivela düzeneği olan bir makineyle başlayarak 1950'lerden itibaren öncülük etmiştir. Günümüzde piyasada da kolayca bulunabilen bilgisayar kontrollü oksijenli kesim makinaları bu sahada yerlerini almışlardır. Bu tip makinalarla yüksek kesim hassasiyeti elde edilebilir, seri imalat yapılabilir. Çalışma prosedürü aşağıdaki gibidir:

- Birleşim elemanlarına ait çap, cidar kalınlığı, gelme açıları ve kaynak ağzı bilgileri makinaya veri olarak girilir.
- Malzeme biraz ısıtılır. Bu esnada alevli kesici otomatik olarak kesişim çizgisinden atık malzemeye doğru hareket eder.
- Oksijenli kesici atık parçadan çıkıp verilen kesme eğrisine girerek kesim işlemine devam eder.
- İşlenen parçanın  $360^{\circ}$ 'den biraz fazla döndürülmesi ile kesim tamamlanır.



Şekil 2.6 Profil kesim için kesişim eğrisinin belirlenmesi (Dutta vd., 1998)



Şekil 2.7 Profil kesim için gerekli şablon açılımı (Dutta vd., 1998)

### 2.3.1.3 Yiv Açma

Kutu ve boru profil birleşimleri bazen, profillerde açılan yivlere yerleştirilen düğüm noktası levhaları vasıtasıyla yapılır. Alın levhalı ve bayrak levhalı birleşimler en çok uygulananlarıdır. Profillerde yiv açma; özel bıçaklarla çentikleme, elle yapılan oksijenli kesim, yarı otomatik oksijenli kesim, frezeli kesicilerle kesim ve taşlama yoluyla gerçekleştirilebilir. Bu yöntemlerden elle ve yarı otomatik oksijenli kesim dışındaki yöntemlerden olabildiğince kaçınmak gerekir. Oksijenli kesim elle yapılmak zorunda ise kesinlikle şablon kullanılmalıdır.

### 2.3.1.4 Lazerli Kesim

Lazerli kesim özellikle son on yılda yüksek kalitesi, kesin performansı, esnekliği ve düşük fabrikasyon maliyetleri sayesinde önem kazanmıştır; fakat halen yaygın olduğunu söylemek mümkün değildir. Çalışma prosedürü ve kontrolü, oksijenli kesim yapan makinalarla hemen hemen aynıdır; sadece kesim aracı olarak alevin yerini lazer demeti almıştır. Lazerli kesiciler et kalınlığı 16 mm ve daha az olan profilleri sorunsuzca kesebilir. Kesme hızının 10 m/dk civarında olması seri imalata imkan verir ancak çok yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle, orta ve küçük ölçekli işletmeler bu metodu benimsememişlerdir.

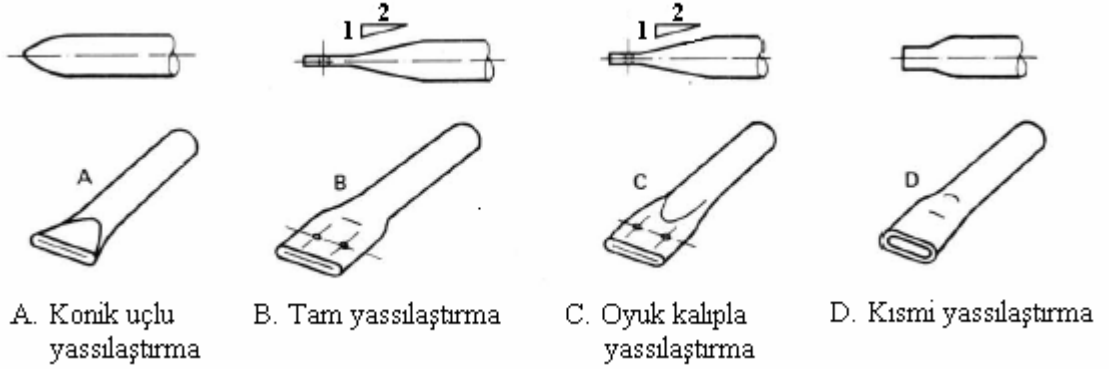
### 2.3.1.5 Plazma Kesimi

Plazma kesiminde yoğun elektrik arkıyla ısıtılmış bir gaz (Ar, N<sub>2</sub>) veya gaz karışımı (Ar+N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>+ N<sub>2</sub>) kullanılır. Gaz ince bir akım ve yüksek hızla işlenen parçaya çarpar. Yüksek enerji yoğunluğundan dolayı kesim diğer metodlardan daha hızlı yapılır ve çoğu zaman elemanda çarpılma bükülme olmadan kesim gerçekleştirilebilir. Kesim kalitesi et kalınlığı 4 ile 35 mm

arasındayken oldukça iyidir. Küçük, taşınabilir ve yüksek kesim kapasitesine sahip makineler piyasada bulunabilir.

### 2.3.2 Yassılaştırma

Pahalı ve karmaşık kesim eğrileri boyunca kesim yapmayı gerektiren durumlarda tercih edilir. Yassılaştırma işlemi aktarılan yük değerlerinin düşük olduğu tali elemanlarda yapılır. Kutu profillerde yaygın bir uygulama değildir.



Şekil 2.8 Yassılaştırma çeşitleri (Wardenier vd., 1991)

Yassılaştırma sıcak veya soğuk şartlarda yapılabilir. Sıcak yassılaştırmada sadece yassılaştırılacak bölge  $750^{\circ}$  ile  $900^{\circ}$  arası bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Isıtma işlemi elektrik, oksiasetilen alev makinası veya bütan ve propan yanıcıları ile gerçekleştirilebilir. Soğuk yassılaştırma pratik ve ekonomik olması sayesinde daha sık uygulanan bir metod olmuştur. Soğuk yassılaştırma sırasında malzeme plastik deformasyona uğrar ve çatlaklara yol açan enine ve boyuna deformasyonlar oluşur. Çatlaklar en büyük uzamanın olduğu dövülen köşelerde oluşur. Bu noktalarda kaynak yapılmaz. Atelye imkanlarına ve istenilen birleşimin taşıma gücüne bağlı olarak konik uçlu yassılaştırma, tam yassılaştırma, oyuklu kalıpla yassılaştırma ve kısmi yassılaştırma uygulanabilir. En çok uygulanan yöntem olan oyuklu kalıplı yassılaştırma da işlem boru kesitin aşamalı yassılaşmasını sağlayan iki oyuklu kalıplı bir pres yardımıyla yapılır. Geçiş bölgesinin uzunluğu genelde  $2d'$  ye eşit yapılır. Bu tür yassılaştırma diğer yassılaştırma yöntemlerine göre statik bakımdan daha uygundur.

### 2.4 Kutu ve Boru Profillerde Kaynak Ağzı Hazırlığı

Kutu ve boru profillerin kaynaklı birleşimlerinde, birleşen elemanların düğüm noktasına geliş açalarına ve et kalınlıklarına göre farklı kaynak ağzı hazırlığı yapılır. Kaynak ağzı, birleşimde kaynak yapılmasına imkan sağlayacak boşluğun oluşturulması için vazgeçilmez bir araçtır.

Kaynak ağız tiplerini, ağız ağza birleşimler ve kafes kiriş birleşimleri başlıkları altında incelemek mümkündür.

#### 2.4.1 Ağız Ağza Birleşimler

Kutu ve boru profiller için ağız ağza birleşimler genellikle küt kaynak ile yapılır. Temel olarak üç durum söz konusudur.

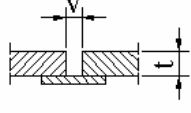
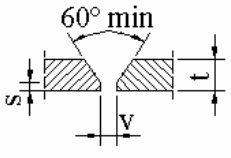
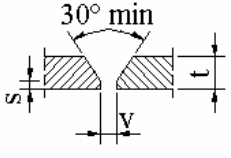
- İnce cidarlı profillerin birleşimi; eleman uçlarında kaynak ağızı hazırlığı yapılmaz
- Kalın cidarlı profillerin birleşimi; eleman uçları kaynak ağızı için pahlanır
- Pahlanacak kenarlar içten bir halka ile desteklenir bu sayede hem kaynağın sıvıyken akışı önlenir hem de birleşen elemanlar hizalanır

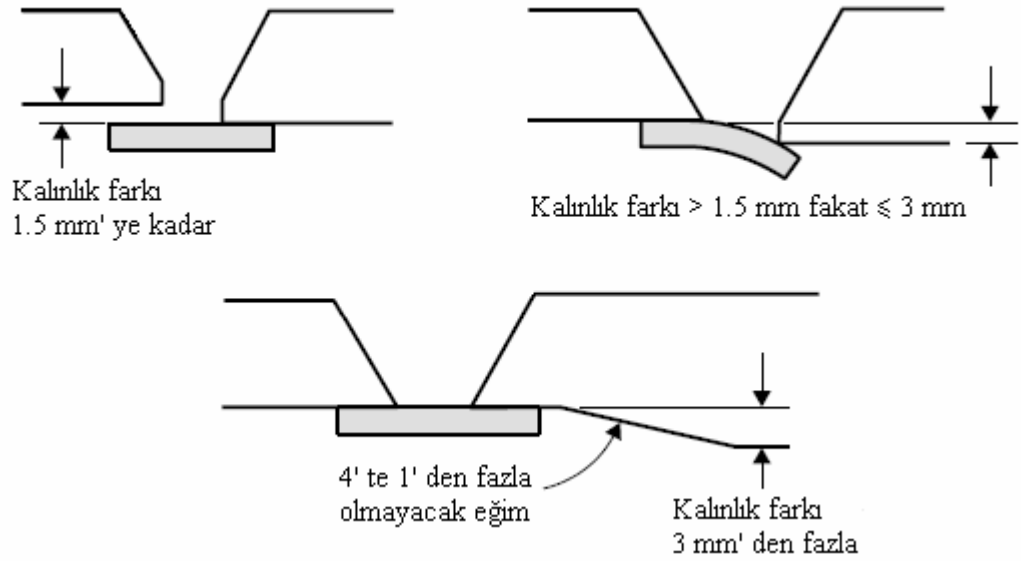
Yukarıda sıralanan bu üç birleşim destek halkasından faydalanılarak daha sağlıklı teşkil edilebilir. Destek halkasız ağız ağza birleşimler Çizelge 2.2' de, destek halkalı ağız ağza birleşimler Çizelge 2.3' de ifade edilmektedir. Zaman zaman birleşen elemanlarının cidar kalınlıkları farklı olabilmektedir. Bu duruma ilişkin kaynak ağızı hazırlıkları da Şekil 2.9' da verilmiştir.

Çizelge 2.2 Destek halkasız ağız ağza bağlantılar (Dutta vd., 1998)

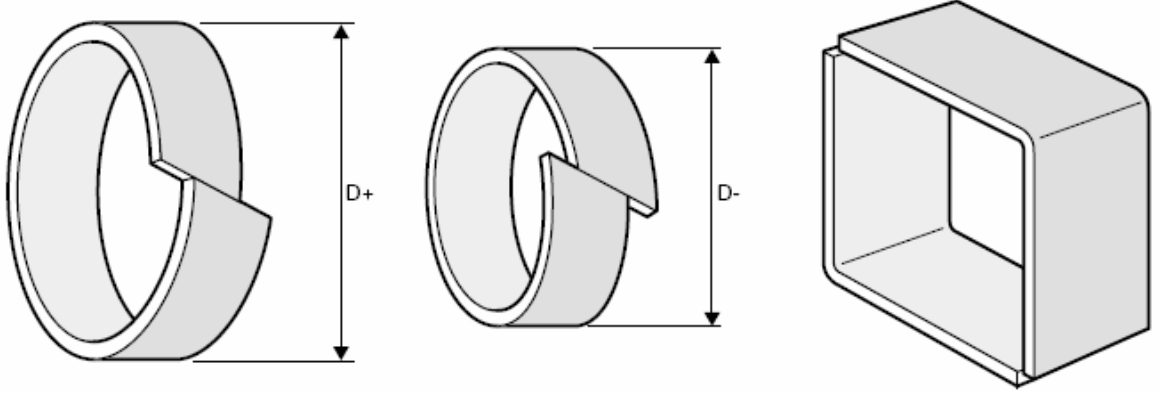
cidar kalınlığı (mm)	uygulama	kaynak tipi	kaynak hazırlığı	$\theta$ derece	b	c
3'e kadar	tek taraflı	I - tipi		-	t	-
3 ila 20	tek taraflı	V - tipi		60	0 ila 3	-
20' ye kadar	tek taraflı	Y - tipi		60	0 ila 4	1.5 ila 4
3 ila 20 6 ila 20	tek taraflı tek taraflı	V - tipi		45 ila 60	0 ila 3	-

Çizelge 2.3 Destek Halkalı ağız ağza bağlantılar (Dutta vd., 1998)

Küt kaynak için kaynak hazırlığı	t, cidar kalınlığı (mm)	v		s		destek halkası cidar kalınlığı	
		min (mm)	maks (mm)	min (mm)	maks (mm)	min (mm)	maks (mm)
	3 5 6	3 5 6	3 5 6	- - -	- - -	3 3 3	3 5 6
	20'ye kadar	5	8	1	2.5	3	6
	10'a kadar	8	10	2	3	3	10



Şekil 2.9 Farklı cidar kalınlıklı kutu ve boru profiller için ağız ağza kaynak hazırlığı (Dutta vd., 1998)



Şekil 2.10 Kutu ve boru profiller için destek halkası detayları (Dutta vd., 1998)

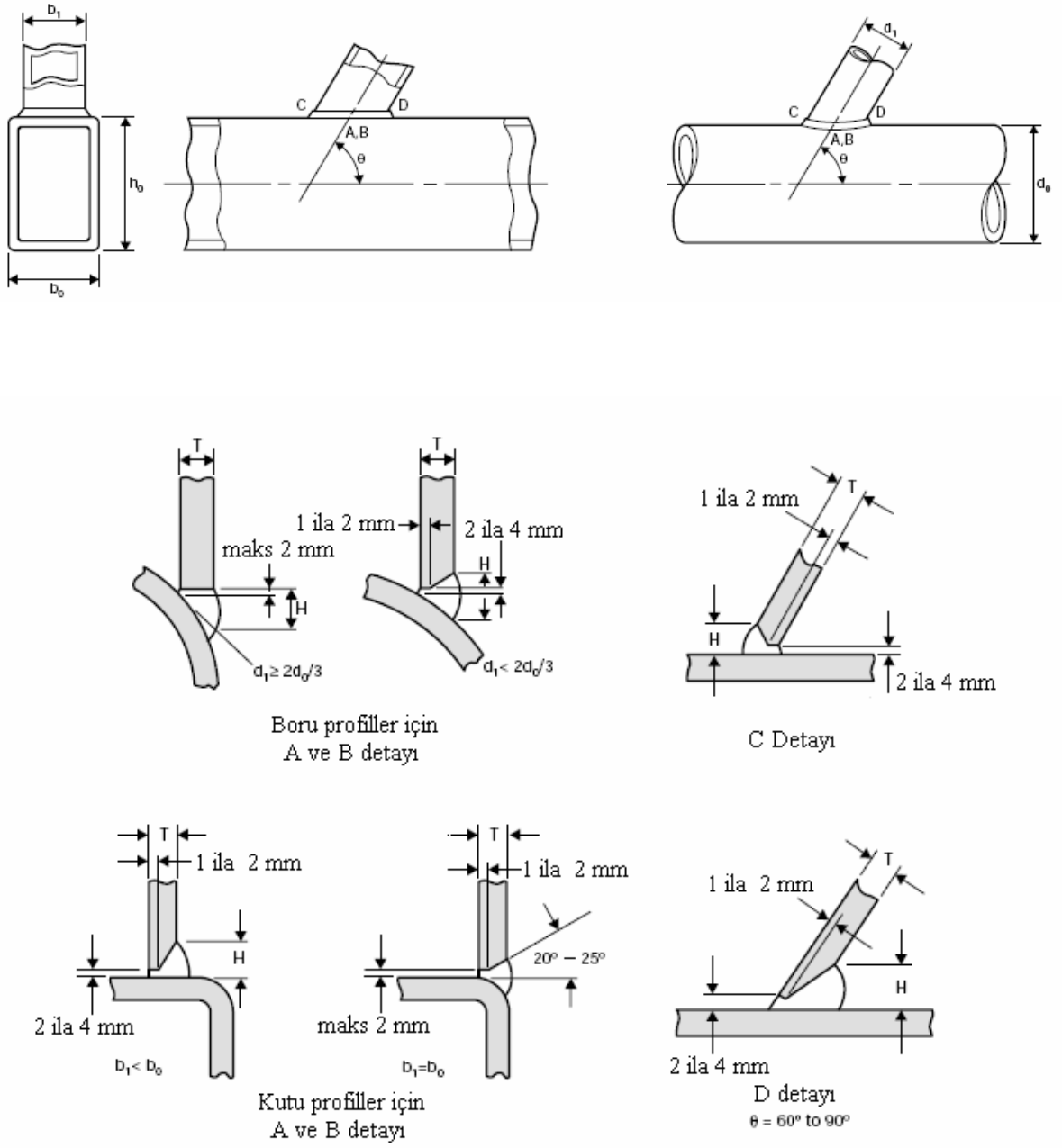
#### 2.4.2 Kafes Kiriş Birleşimleri

Kaynaklı kafes kiriş birleşimlerinde köşe kaynak ve küt kaynak-köşe kaynak kombinasyonları uygulanabilir. Kaynak tipi seçimi daha önce de belirtildiği gibi birleşen elemanların düğüm noktasına geliş açılarına ve cidar kalınlıklarına bağlıdır. Kutu ve boru profiller için köşe ve küt kaynak uygulamalarına ait kaynak ağız hazırlıkları Şekil 2.11’ de verilmiştir. Topuk bölgesinde uygun kaynak penetrasyonunun sağlanabilmesi için örgü elemanının geliş açısının  $30^{\circ}$ ’ den daha küçük olmaması gerekir. Genelde kullanılan kaynak iç bükey, dış bükey veya düz biçimlerde teşkil edilebilen köşe kaynaktır. Bu noktada şunu belirtelim; kaynağın ana metale daha aşamalı bir geçiş yapması bakımından iç bükey teşkil edilmiş kaynaklarda daha iyi bir yorulma davranışı gözlenmiştir.

#### 2.5 Kaynak Pozisyonları ve Sıraları

Kaynakta oluşan kalıcı gerilmeler ve deformasyonlar doğru kaynak pozisyonu ve sırası ile en aza indirilebilir. Bunu için özellikle şu noktalara dikkat edilmelidir:

- Kaynak kutu profil köşesi başında ve sonunda başlamamalıdır
- Küçük et kalınlıkları için çok pasolu kaynaktan kaçınılmalıdır
- Kaynak dikişinin bitiş ve başlama pozisyonları iki boru profil arasında kalan burun kısmında yer almamalıdır
- Çok pasolu kaynaklarda herhangi bir kaynak pasosunun bitiş ve başlama noktası bir sonraki kaynak pasosunun bitiş ve başlama noktasına rastlamamalıdır.



Şekil 2.11 Kutu ve boru profillerin kafes kiriş birleşimleri için kaynak ağız hazırlıkları (Dutta vd., 1998)

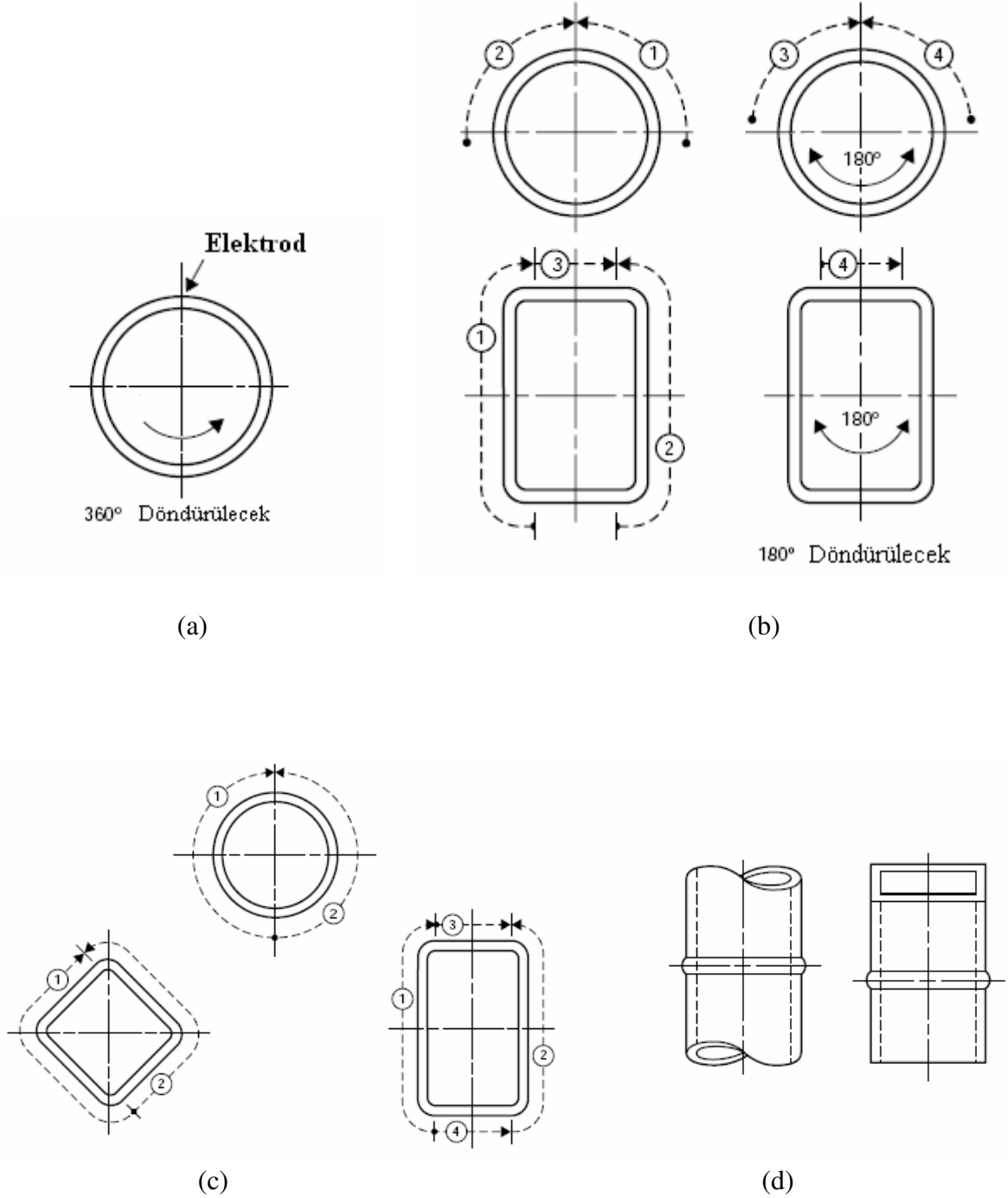
Birleşimi oluşturan elemanların pozisyonlarına ve hareket yeteneklerine bağlı dört çeşit kaynak pozisyonu vardır.

1.  $360^\circ$  dönen kaynak. Kesit  $360^\circ$  döndürülürken elektrod sabittir.
2.  $180^\circ$  yukarı düşey kaynak. Özellikle kafes kiriş yapımında uygulanır. Kaynaklama öncelikle boru profiller için üst yarım dairenin çevresinde, kutu profiller için üst yüzde



ve yan cidarlarda yapılır daha sonra kalan kısımlar kafes kiriş 180° döndürüldükten sonra tamamlanır.

3. Düşey kaynak. Bu pozisyon sadece kutu ve boru profillerin hareket edemediği durumlarda kullanılır.
4. Yatay kaynak. Bu pozisyon birleşen elemanların düşey olduğu ve hareket edemediği durumlarda kullanılır. Eğer parçalar yataysa kaynaklama düşey pozisyonda yapılır.



Şekil 2.12 a)360° dönen kaynak, b)180° yukarı düşey kaynak, c)düşey kaynak, d)yatay kaynak (Dutta vd., 1998)

### 3. KUTU ve BORU PROFİL BİRLEŞİMLERİNDE KAYNAK TASARIMI

Kaynak, kutu ve boru profillerin birleşimlerinde en yaygın kullanılan araçtır. Bu aracın tasarımında birleşimde kullanılan kaynak malzemesinin mekanik özellikleri ve birleşimin mukavemeti, birleşimi teşkil edilecek profillerin mekanik özelliklerinden ve mukavemetinden düşük olmamalıdır. Kutu ve boru profillerin kaynaklı birleşimlerindeki kaynak tasarımı bu esasa dayanır.

#### 3.1 Köşe Kaynak Tasarımı

Köşe kaynak kullanılarak teşkil edilen bir kutu veya boru profil birleşiminde; EC 3' e göre köşe kaynağın tasarım dayanımı, birleşimi yapılan elemanın tasarım dayanımından düşük olmamalıdır. Yine EC 3' e göre bu koşul, kaynak kalınlığı Çizelge 3.1' de verilen  $\alpha \times t$  çarpımına eşit alınarak ve çekme ve akma dayanımı bakımından ana metale eşdeğer elektrod kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Çizelge 3.1 kutu ve boru profil üretimi yapan bir firmanın kendi ürünlerinin kullanılması durumunda EC 3' e göre birleşimde teşkil edilecek kaynak kalınlığını vermektedir. Tabloda yer alan  $\alpha$  katsayısı birleşimi yapılacak elemana ve kaynağa ait malzeme güvenlik faktörlerini de içeren boyutsuz bir büyüklüktür. Bu tablo vasıtasıyla, başlangıç için emniyetli bir kaynak kalınlığı tespit edilebilir.

Çizelge 3.1 Taşıma gücü esasına göre kaynak kalınlıkları (Corus Tubes, SHS Welding)

Çelik Sınıfı	Minimum Kaynak Kalınlığı $a$ (mm)	Minimum Kaynak Kalınlığı $a$ (mm)
<b>Celcius 275</b>	$0.87 \alpha t$	$0.94 \alpha t$
<b>Celcius 355</b>	$1.01 \alpha t$	$1.09 \alpha t$
<b>Strongbox 235</b>	$0.84 \alpha t$	$0.91 \alpha t$
<b>Hybox 355</b>	$1.01 \alpha t$	$1.09 \alpha t$

$$\alpha = \frac{1.1}{\gamma_{MJ}} \times \frac{\gamma_{MW}}{1.25} \geq \alpha = \frac{1.1}{1.1} \times \frac{1.35}{1.25} \geq \alpha = 1.08 \quad (3.1)$$

Bir köşe kaynağın tasarım kapasitesi birleştirilecek yüzeyler arasındaki açının  $30^\circ$  ila  $120^\circ$  arasında olması durumunda (3.2) ile hesaplanır.

$$\text{Kaynak tasarım kapasitesi} = p_w \times a \times s \quad (3.2)$$

Birleştirilecek yüzeyler arasındaki açının  $120^\circ$ ' den büyük olması halinde tam penetrasyonlu

küt kaynak kullanılmalı, 30°' den küçük olması halinde ise kaynağın yeterliliği deney ile gösterilmelidir.

Kaynak tasarım dayanımı,  $p_w$  (N/mm<sup>2</sup>), çelik sınıfı ve EN 499 uyarınca imal edilen elektrod cinslerine göre Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Kaynak tasarım dayanımı (Corus Tubes, SHS Welding)

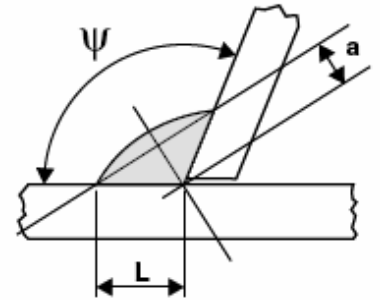
Çelik Sınıfı	Kaynak tasarım dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	
	E 35 2 xxxx	E 42 2 xxxx
Celsius® 275	220	220
Celsius® S355	220	250
Strongbox® 235	187	187
Hybox® S355	220	250

Kaynak kalınlığı, kaynak kolu uzunluğu (L) aynı olduğu halde birleştirilecek yüzeyler arasındaki açığa bağlı olarak değişkenlik gösterir (Çizelge 3.3). Açının 30° ila 120° arasında olması durumunda kaynak kalınlığı, kaynak kolu uzunğunun bir azaltma faktörü,  $f_r$ , ile çarpımına eşittir (3.3). Azaltma faktörü değerleri Çizelge 3.3' de yer almaktadır.

$$\alpha = f_r \times L \quad (3.3)$$

Çizelge 3.3 Azaltma faktörü (Corus Tubes, SHS Welding)

$\psi$	Azaltma faktörü ( $f_r$ )
30 - 90	0.70
91 - 100	0.65
101 - 106	0.60
107 - 113	0.55
114 - 120	0.50

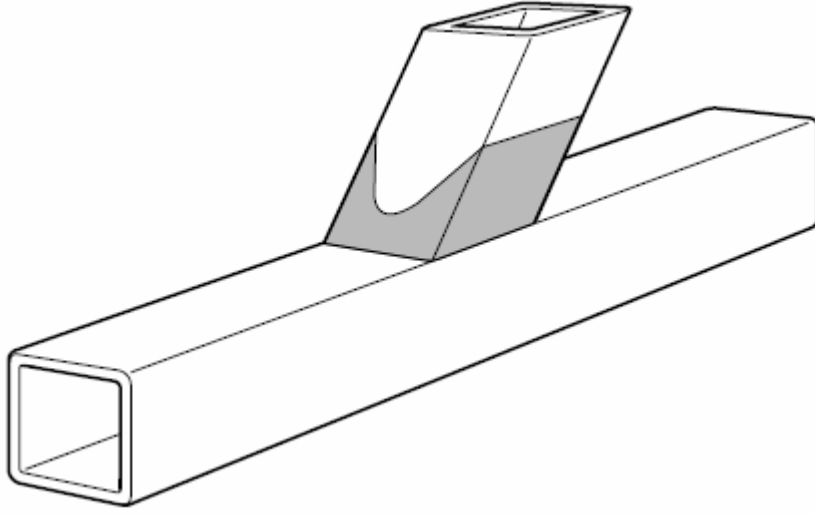


Kaynak tasarım kapasitesinin hesaplanmasında oldukça belirleyici olan etkin kaynak uzunğunun doğru tespiti şu iki noktaya bağlıdır:

1) Kesişim eğrisinin gerçek uzunluğu: Bu değer birleşimi yapılacak elemanlar arasındaki açığa ve elemanların tipine bağlıdır. Birleşimler genelde dar açılı teşkil edildiklerinden

birleşen profilin çevre uzunluğundan daha büyük bir uzunlukta kaynak dikişi elde edilir.

2) Kesişim eğrisinin gerçek uzunluğunun etkinliği: Kutu ve boru profillerin kaynaklı birleşimlerinde kaynaklanan yüzeyler genellikle incedir. Bu durum kaynaklanan yüzeylerde bir miktar deformasyona neden olur, oluşan bu deformasyon da birleşen çubuğun üzerindeki yükü birleşimdeki kaynağa, kaynak uzunluğu boyunca değişen değerlerde aktarmasına sebep olur. Başka bir deyişle birleşimdeki kaynağın her noktası aynı yüke maruz kalmaz, farklı noktadaki yük değerleri farklıdır. Özellikle kutu profillerin kaynaklı birleşimlerinde bu durum belirgindir, boru profillerin kaynaklı birleşimleri için ihmal edilebilir.



Şekil 3.1 Kutu profil birleşimlerinde tipik gerilme dağılımı (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)

### 3.1.1 Boru Profil Birleşimleri

Boru profillerden teşkil edilen bir birleşimde gerekli kaynak kalınlığı (3.5)' den elde edilen etkin cidar kalınlığı değerinin  $\alpha$  katsayısıyla çarpılması sonucu bulunan değerdir. Formülde çubuğun aktaracağı kuvvet, birleşimin aktaracağı kuvvete eşit alınmıştır. Bu yaklaşımla yapılan hesap, "birleşim kapasitesi metodu" adını alır.

$$N_{\text{birleşim}} = N_{\text{eleman}} = \pi \times t \times (d-t) \times f_y / 10^3 \quad (3.4)$$

$d / t \approx 20$  olduğundan  $(d-t) = 0.95d$  alınabilir. Bu kabulde etkin cidar kalınlığı aşağıdaki formülle bulunabilir. Ayrıca  $t_{\text{eff}}$  EC3'e göre  $d/50$  değerinden küçük olamaz.

$$t_{\text{eff}} = \frac{N_{\text{eleman}} 10^3}{0.95\pi d f_y} = \frac{335 N_{\text{eleman}}}{d f_y} \quad (3.5)$$

Kaynak kalınlıkları (3.5)' e göre hesap yapılması durumunda, bir üretici firmanın farklı akma

gerilmesine sahip ürünleri için Çizelge 3.4' de yer almaktadır.

Çizelge 3.4 Farklı akma gerilmeleri için minimum kaynak kalınlıkları (Corus Tubes, SHS Welding)

Akma gerilmesi $f_y$ N/mm <sup>2</sup>	$\alpha$	Etkin cidar kalınlığı $t_{eff}$	Minimum kaynak kalınlığı $a$
Celsius® 275	0.94	(1.22 $N_{birl.} / d$ ) ve (d / 50)	(1.15 $N_{birl.} / d$ ) ve 0.94(d / 50)
Celsius® 355	1.09	(0.94 $N_{birl.} / d$ ) ve (d / 50)	(1.02 $N_{birl.} / d$ ) ve 1.09(d / 50)
Strongbox® 235	0.91	(1.43 $N_{birl.} / d$ ) ve (d / 50)	(1.30 $N_{birl.} / d$ ) ve 0.91(d / 50)
Hybox® 355	1.09	(0.94 $N_{birl.} / d$ ) ve (d / 50)	(1.02 $N_{birl.} / d$ ) ve 1.09(d / 50)

### 3.1.2 Kutu Profil Birleşimleri

Daha önce belirtildiği gibi kutu profil birleşimlerinde kesişim eğrisinin gerçek uzunluğunun etkinliği birleşimin taşıma kapasitesi üzerinde oldukça belirleyicidir. Etkin kesişim eğrisi uzunluğu (s) farklı tipteki birleşimler için farklıdır. Boşluklu K ve N tipi birleşimler için etkin kesişim eğrisi uzunluğu aşağıdaki formüller ile hesaplanabilir.

$$\theta_i \geq 60^\circ \text{ için } s = [(2h_i / \sin \theta_i) + b_i] \quad (3.6)$$

$$\theta_i \leq 50^\circ \text{ için } s = [(2h_i / \sin \theta_i) + 2b_i] \quad (3.7)$$

50° ila 60° arasındaki açı değerleri için lineer interpolasyon yapılabilir.

Örtüşen (boşluksuz) K ve N tipi birleşimlerde örten eleman için etkin kesişim eğrisi uzunluğu aşağıdaki formüllerde verilmiştir (Birleşim tipleri için Şekil 4.1' e bakınız).

$$O_v \geq 80 \text{ için } s = 2h_i + b_i + b_{e(ov)} \quad (3.8)$$

$$80 > O_v \geq 50 \text{ için } s = 2h_i + b_e + b_{e(ov)} \quad (3.9)$$

$$50 > O_v \geq 25 \text{ için } s = (O_v/50)2h_i + b_e + b_{e(ov)} \quad (3.10)$$

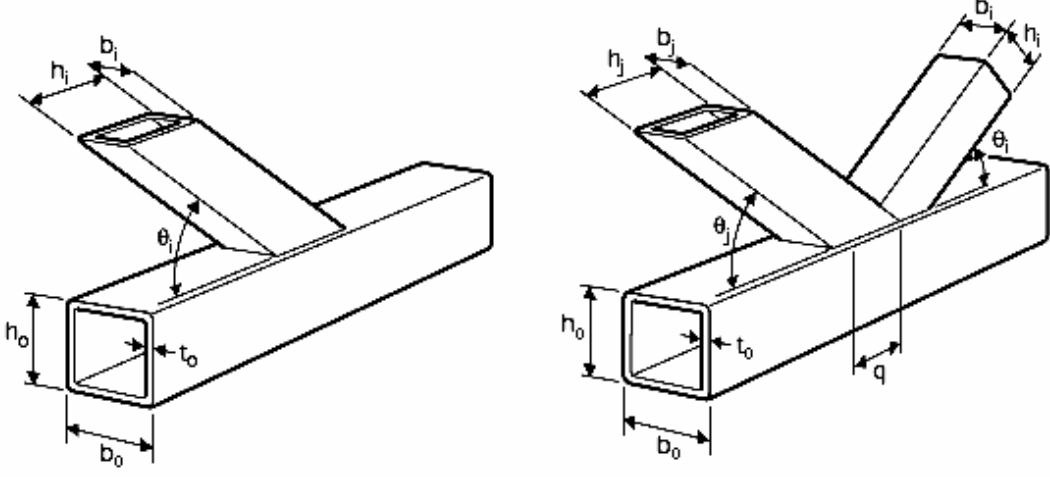
$$b_{e(ov)} = \min \left( \frac{10f_{y_j}t_j}{(b_j/t_j)f_{y_i}t_i}, b_i \right) \quad (3.11)$$

$$b_e = \min \left( \frac{10f_{y_0}t_0}{(b_0/t_0)f_{y_i}t_i}, b_i \right) \quad (3.12)$$

$$O_v = (q \times \sin \theta_i / h_i) \times 100 \quad (3.13)$$

Örtülen eleman için etkin kesişim eğrisi uzunluğu ise aşağıdaki formülde verilmiştir.

$$S_{\text{örtülen}} = \min\left[\left(\frac{S_{\text{örtelen}}(h_j + b_j)}{(h_i + b_i)}\right); 2(h_j / \sin \theta_j + b_j) - b_i\right] \quad (3.14)$$



Şekil 3.2 Kutu profiller için birleşim tipleri

T, Y ve X tipi birleşimler için biraz da güvenli tarafta kalınarak (3.15) ile etkin kesişim eğrisi uzunluğu hesaplanır.

$$s = [2h_i / \sin \theta_i] \quad (3.15)$$

Birleşimin kaynak dizayn kapasitesi, uygun formül vasıtasıyla etkin kesişim eğrisi uzunluğu bulunduktan sonra (3.2) ile hesaplanır.

### 3.1.3 Sayısal Örnekler

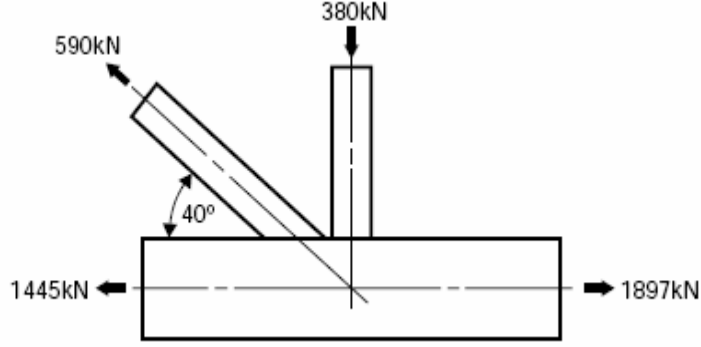
#### ❖ Boşluklu N tipi birleşimi

Çelik sınıfı: S 355 J2H

Başlık elemanı: 200x200x8

Örgü elemanı (basınç): 150x100x5

Örgü elemanı (çekme): 120x80x5



Şekil 3.3 Sayısal örnek için boşluklu kutu profil birleşimi (Corus Tubes, SHS Welding)

Basınç örgü elemanı için Çizelge 3.1 kullanılarak; a

$$a = 1.09t = 5.5 \text{ mm}$$

bulunur. Eleman üzerindeki yük düşünülerek etkin kesişim eğrisi uzunluğu, s;

$$\theta_i \geq 60^\circ \text{ için } s = [(2h_i / \sin \theta_i) + b_i] = 2 \times 100 / \sin 90^\circ + 150 = 350$$

bulunur. Kaynak kalınlığı, a ise;

$$a = N_{\text{birleşim}} / (p_w \times s) = 380000 / (250 \times 350) = 4.3 \text{ mm}$$

bulunur. Bu iki değerden küçük olanı birleşime etkileyen yükün aktarılabilmesi için gerekli kaynak kalınlığına eşittir.

Çekme örgü elemanı için Çizelge 3.1 kullanılarak;

$$a = 1.09t = 5.5 \text{ mm}$$

bulunur. Eleman üzerindeki yük düşünülerek etkin kesişim eğrisi uzunluğu, s;

$$\theta_i \leq 50^\circ \text{ için } s = [(2h_i / \sin \theta_i) + 2b_i] = 2 \times 80 / \sin 40^\circ + 2 \times 120 = 489 \text{ mm}$$

bulunur. Kaynak kalınlığı, a ise;

$$a = N_{\text{birleşim}} / (p_w \times s) = 590000 / (250 \times 489) = 4.8 \text{ mm}$$

bulunur. Bu iki değerden küçük olanı birleşime etkileyen yükün aktarılabilmesi için gerekli kaynak kalınlığına eşittir.

#### ❖ Örtüşen boru profil birleşimi

Çelik sınıfı: S 275 J2H Başlık elemanı: 273 x 8.0

Örgü elemanı(basınç): 193.7 x 5.0 Örgü elemanı(çekme): 168.3 x 5.0

Basınç örgü elemanı için Çizelge 3.1 kullanılarak;

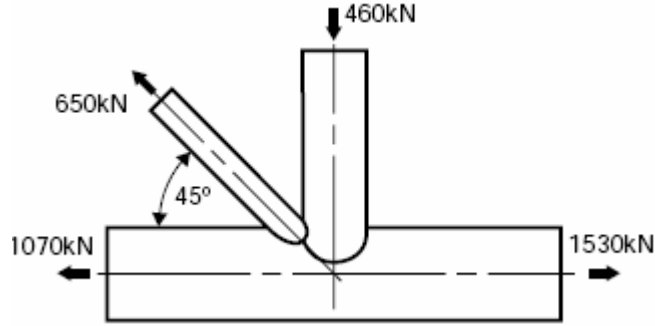
$$\alpha = 0.94t = 4.7 \text{ mm}$$

bulunur. Birleşim kapasitesi metodu ile;

$$t_{\text{eff}} = (1.22 \times N_{\text{birleşim}}) / d = (1.22 \times 460) / 193.7 = 2.90 \text{ mm} < d/50 = 3.87$$

$$\alpha = \alpha \times t_{\text{eff}} = 0.94 \times 3.87 = 3.64 \text{ mm}$$

bulunur. Bu iki değerden küçük olanı birleşime etkileyen yükün aktarılabilmesi için gerekli kaynak kalınlığına eşittir.



Şekil 3.4 Sayısal örnek için örtüşen boru profil birleşimi (Corus Tubes, SHS Welding)

Çekme örgü elemanı için Çizelge 3.1 kullanılarak;

$$\alpha = 0.94t = 4.7 \text{ mm}$$

bulunur. Birleşim kapasitesi metodu ile;

$$t_{\text{eff}} = (1.22 \times N_{\text{birleşim}}) / d = (1.22 \times 650) / 168.3 = 4.71 \text{ mm} < d/50 = 3.37$$

$$\alpha = \alpha \times t_{\text{eff}} = 0.94 \times 4.71 = 4.43 \text{ mm}$$

bulunur. Bu iki değerden küçük olanı birleşime etkileyen yükün aktarılabilmesi için gerekli kaynak kalınlığına eşittir.

### 3.2 Küt Kaynak Tasarımı

Kutu ve boru profil birleşimlerinde küt kaynak tercih edilmesi durumunda tam penetrasyonlu küt kaynak kullanılmalıdır. Kaynak öncesi gerekli kaynak ağzı hazırlığının ve uygun elektrod seçiminin yapılması ile elde edilen kaynak dayanımı ana metal dayanımına eşit alınabilir. Bu durumda örgü elemanı kapasitesine eşit kaynak kapasitesi elde edilir.



#### 4. BORU PROFİL BİRLEŞİMLERİNİN TASARIMI

Boru profil konstrüksiyonlarının tasarımında, uygulanacak birleşim tipi henüz ön tasarım aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır. Konstrüksiyonu oluşturan elemanları yalnızca eleman kesit tesirlerine göre boyutlandırmak, istenmeyen berkitme ve guse levhalarının kullanılmasına yol açabilir. Ancak bu durum, birleşimlerin daha ön tasarım aşamasında detaylı bir şekilde hesaplanması anlamına da gelmemelidir. Bu noktada vurgulanmak istenen, birleşimin yeterli taşıma kapasitesine sahip olabilmesi için, birleşime giren elemanların çaplarının oranı, cidar kalınlıkları oranı, örgü elemanlarının bindirme mesafesi, gelme açıları gibi bir takım parametrelerin kesit seçimi esnasında dikkate alınmasıdır. Tasarımın optimizasyonunun mukavemet, stabilite, imalat süresi ve maliyeti, işletme ekonomisi gibi birden fazla faktöre bağlı olduğu unutulmamalıdır.

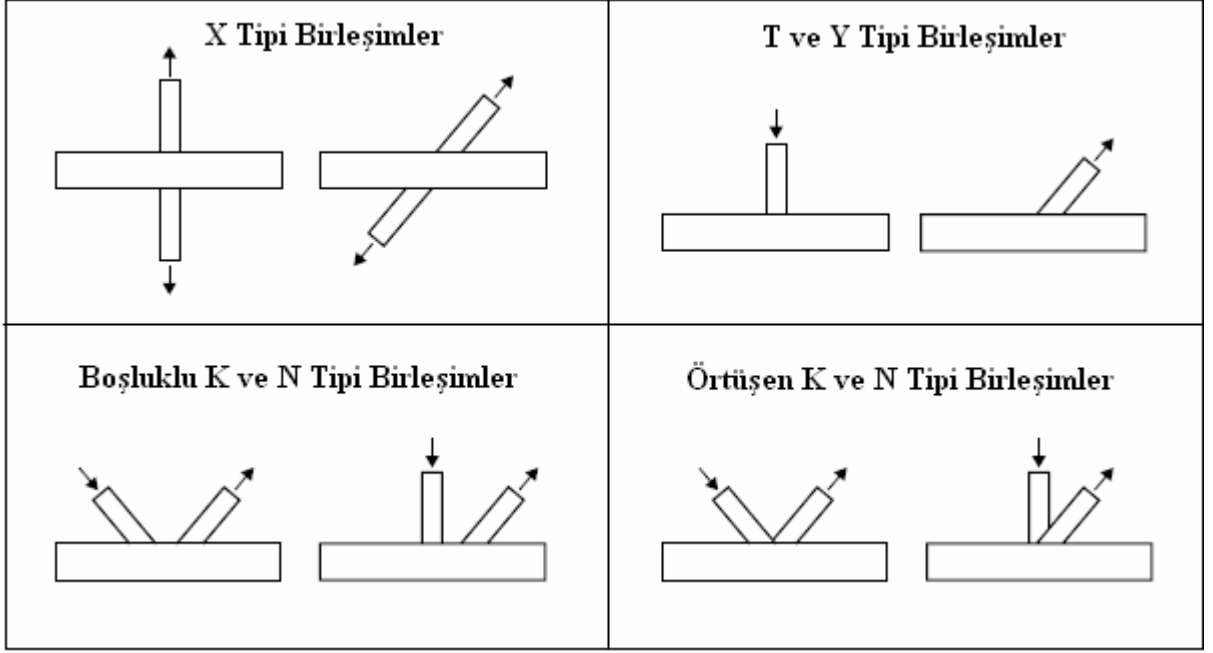
Kutu ve boru profillerin kaynaklı bileşimlerinde yük etkisi altında birleşimin davranışının anlaşılabilmesi için, yük akışının ve iç gerilme dağılımının incelenmesi gerekir. Yük akışı ve gerilme dağılımı, birleşimin tipine ve özellikle örgü çubuklarının gelme açlarına bağlıdır. Bu iki noktanın bilinmesi aynı zamanda göçme biçimlerinin de belirlenmesini sağlar. Bu sayede birleşimde hangi noktada ve hangi göçme biçiminin oluşacağı tespit edilebilir. Göçmenin biçimi ve yeri tayin edildikten sonra, birleşimin yük taşıma kapasitesi belirlenir.

##### 4.1 Boru Profil Birleşimlerinin Yük Taşıma Kapasitesini Etkileyen Parametreler

Boru profil birleşimlerinin yük taşıma kapasitesi üzerinde etkisi olan parametreler temel olarak birleşimin (X, Y, T, K, N, vb) ve yüklemenin tipine (çekme, basınç, moment) bağlıdır. Bu koşullara bağlı olarak farklı göçme biçimleri oluşur (Bölüm 4.2'ye bakınız). Tasarım hemen hemen her zaman birbirleri ile uyum içinde olmayan çeşitli noktaların optimizasyonundan elde edilir.

Birleşime bağlı olarak şu noktalara dikkat edilmelidir.

- Cidar kalınlığı az olan elemanın diğerine bağlanması ve çepeçevre kaynaklanması, aksi durumdan her zaman için daha yüksek birleşim kapasitesi elde edilmesini sağlayacaktır. Bir başka deyişle, örgü çubuklarının cidar kalınlıklarının başlık elemanınıninkinden az olması, yüksek olması haline kıyasla daha yüksek birleşim kapasitesi elde edilmesine imkan verir.
- Birleşimde, örgü çubuklarının örtüşerek bağlanması, aralarında boşluk bırakılarak bağlanmasına kıyasla daha yüksek taşıma kapasitesi elde edilmesini sağlar.



Şekil 4.1 Temel birleşim tipleri (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)

- Birleşimin kapasitesi tüm birleşim ve yükleme tipleri için (tam örtüşen birleşimler hariç) daha düşük çaplı ve cidar kalınlığı yüksek başlık elemanlarının, geniş çaplı ve düşük cidar kalınlıklı başlık elemanlarına tercih edilmesiyle artar.
- Boşluklu birleşen örgü çubuklarının olduğu bir birleşimde, taşıma kapasitesi örgü çubukları çapının başlık elemanı çapına yakın olmasıyla artar.
- Kısmi örtüşen örgü çubukları ihtiva eden bir birleşimin taşıma kapasitesi örtülen örgü çubuğunun ve başlık elemanının mümkün olduğu kadar küçük çaplı ve yüksek cidar kalınlıklı olmasıyla artar.
- Tam örtüşen örgü çubuklarının yer aldığı birleşimlerde örtülen örgü çubuğunun küçük çapta ve yüksek cidar kalınlığında olması birleşimin kapasitesini artırır. Bu tip birleşimlerde başlık elemanının çapı ve cidar kalınlığı birleşimin kapasitesinde etkili değildir.


Teşkil edilen kafes kirişe bağlı olarak şu noktalara dikkat edilmelidir.

- Boru profillerden teşkil edilmiş bir kafes kirişin tüm davranışı ele alındığında, yanal stabilite vb. özellikle basınç başlığının yüksek çapta ve düşük cidar kalınlığında olması başlığın mukavemetini artırır.
- Başlık çaplarının büyük seçilmesi örgü çubuklarının uç hazırlığı için gerekli işçiliği azaltır.

#### 4.2 Boru Profil Birleşimlerinin Göçme Biçimleri


Daha önce de değinildiği gibi birleşimin ve yüklemenin tipine bağlı olarak çeşitli göçme biçimleri ortaya çıkar. Bu göçme biçimleri şöyle sıralanabilir.

- Başlık elemanı plastikleşmesi (başlık elemanı yüzey deformasyonu): En yaygın göçme biçimidir. Özellikle bir örgü elemanının yer aldığı ve K ve N tipi birleşimlerde örgü çubuğu çapının başlık elemanı çapına oranının 0.85'den küçük olması halinde göçme riski artar.

Göçme Biçimi	Göçmeye Maruz Kalmış Birleşim
Başlık Elemanı Plastikleşmesi (Başlık Elemanı Yüzey Deformasyonu)	

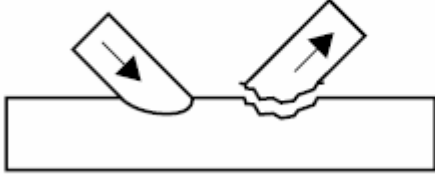
Şekil 4.2 Başlık elemanı plastikleşmesi göçme biçimi (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)

- Başlık elemanında kesme: Genellikle kritik göçme biçimi değildir. Eliptik şekil verilmiş ve elipsin odak noktalarını birleştiren doğrunun düzleme dik olması halinde eliptik başlık elemanının göçme riski artar.

Göçme Biçimi	Göçmeye Maruz Kalmış Birleşim
Başlık Elemanında Kesme	


Şekil 4.3 Başlık elemanında kesme göçme biçimi (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)

- Başlık elemanında kesme zımbalaması: Bu göçme biçimi çoğunlukla birleşimin taşıma kapasitesinde belirleyici olmaz. Ancak başlık elemanı çapının cidar kalınlığına oranının çok yüksek olması durumunda kritik olabilir.

Göçme Biçimi	Göçmeye Maruz Kalmış Birleşim
Başlık Elemanında Kesme Zımbalaması	

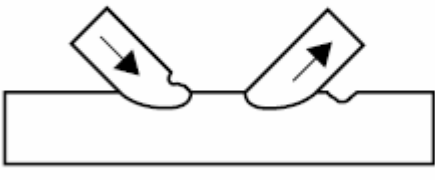
Şekil 4.4 Başlık elemanında kesme zımbalaması göçme biçimi (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)

- Örgü çubuğu etkin genişlik göçmesi: Genellikle boşluklu örgü çubuğu birleşimlerinde, başlık elemanı çapının örgü çubuğu çapına oranının yüksek ve başlık elemanı cidar kalınlığının küçük olması durumunda bu göçme biçimi oluşabilir.

Göçme Biçimi	Göçmeye Maruz Kalmış Birleşim
Örgü Çubuğu Etkin Genişlik Göçmesi	

Şekil 4.5 Örgü çubuğu etkin genişlik göçmesi (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)

- Örgü çubuğunun ya da başlık elemanının yerel burkulması: Uniform olmayan gerilme dağılımı nedeniyle rastlanır. Pek sık rastlanmasa da bu göçme biçimini bertaraf edebilmek için berkitme levhaları kullanmak gerekebilir.

Göçme Biçimi	Göçmeye Maruz Kalmış Birleşim
Örgü Çubuğunda ya da Başlık Elemanında Yerel Burkulma	

Şekil 4.6 Örgü çubuğu ya da başlık elemanında yerel burkulma (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)

Bu göçme biçimlerinden en çok başlık elemanı plastikleşmesi ve başlık elemanında kesme

zımbalaması boru profil birleşimlerinde meydana gelir ve birleşimin taşıma kapasitesine esas göçme biçimi olur.

### 4.3 Boru Profil Birleşimlerinin Taşıma Gücü

Bu bölümde ele alınan birleşimler taşıma gücü esas alınarak incelenmiştir. Bilindiği gibi taşıma gücü esası, arttırılmış karakteristik yüklerin ( $Q_k$ ), birleşimin taşıma gücünü ( $N^*$ ) aşmaması prensibine dayanır. Bu durum (4.1) eşitsizliğinde ifade edilmiştir.

$$\gamma_s \times Q_k \leq N^* \quad (N^* = N_k / \gamma_m) \quad (4.1)$$

Gerek IIW (International Institute of Welding) gerekse Eurocode 3 Drafting Committee tarafından benimsenen boru profillerin tek düzlemlî birleşimlerinin başlık elemanı plastikleşmesi göçme biçimini esas alan taşıma gücü değeri (4.2) ile hesaplanabilir.

$$\frac{N^*}{A_i \cdot f_{yi}} = C_e \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} \frac{f(n')}{\sin \theta_i} \quad (4.2)$$

Formülde eşitliğin sol tarafında yer alan ifade birleşimin verimliliği adını alır.  $C_e$  değeri verim faktörü olarak isimlendirilir. Verim faktörü, örgü çubuğunun birleşime gelme açısının  $90^\circ$  olması, örgü çubuğu ve başlık elemanının aynı cidar kalınlığı ve akma gerilmesine sahip olması ve başlık elemanına çekme kuvvetinin uygulanması durumunda [ $f(n') = 1$ ], birleşimin verimliliğini ifade eder. Formülden de kolayca anlaşılacağı gibi  $C_e$  değeri [0-1] kapalı aralığında yer alır.  $f(n')$  fonksiyonu başlık elemanındaki yüke bağlıdır ve basınç etkisinde 1' den küçük olur. Formülde bulunan diğer parametreler  $f_{y0}$ ,  $t_0$ ,  $f_{yi}$ ,  $t_i$ , ve  $\theta_i$  ise sırasıyla başlık elemanı akma gerilmesi ve cidar kalınlığı ile başlık elemanına bağlanan örgü çubuğunun akma gerilmesi, cidar kalınlığı ve birleşime gelme açısını ifade eder. Formül 4.2 incelendiğinde boru profil birleşimlerinin taşıma gücünü arttıran hususlar şöyle sıralanabilir:

- Başlık elemanlarının örgü elemanlarına kıyasla daha büyük akma gerilmesine sahip malzemeden seçilmesi
- Örgü çubuğu kalınlığının mümkün olduğu kadar ince seçilmesi
- Örgü çubuğunun birleşime gelme açısının  $90^\circ$  den farklı olması, bu nedenle T tipi birleşimler yerine K ve N tipi birleşimlerin tercih edilmesi

Moment aktaran boru profil birleşimleri için durum bir miktar farklı olmakla birlikte temelde aynıdır. Bu tarz birleşimlerin taşıma gücünü arttıran hususlar, aksel yük aktaran örgü çubuklarının bulunduğu birleşimlerinkiyle aynıdır.

### 4.3.1 Boru Profillerin Tek Düzlemli Kafes Kiriş Birleşimleri

Bu bölümde aksenal yük etkisindeki örgü çubuklarından oluşan tek düzlemli kafes kirişlerin başlıca birleşim tiplerine ait taşıma gücü formülleri verilecektir. Daha önce de belirtildiği gibi, boru profil birleşimlerinin taşıma gücü hesabına esas olan başlıca iki göçme biçimi vardır. Bu göçme biçimleri başlık elemanının plastikleşmesi ve başlık elemanında kesme zımbalamasıdır. Verilecek formüller bu iki göçme biçimine dayanır.

#### 4.3.1.1 T ve Y Tipi Birleşimler

Bu tip birleşimler için taşıma gücü değeri (4.3)' de, ilgili semboller, parametreler ve (4.3)' ün geçerlilik aralığı ise Şekil 4.7' de, verilmiştir.

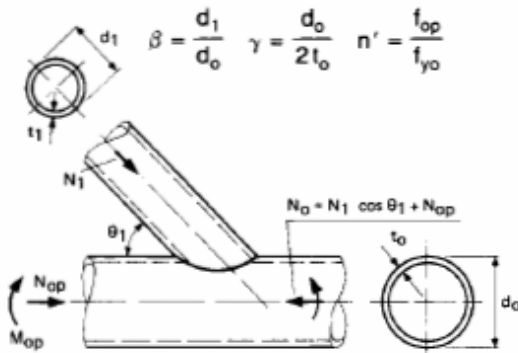
$$N_T^* = \min(N_0^*, N_{IT}^*) \quad (4.3)$$

$$N_0^* = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i} \quad (4.4)$$

$$N_{IT}^* = \frac{f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_i} (2.8 + 14.2 \beta^2) \gamma^{0.2} f(n') \quad (4.5)$$

Başlık elemanında kesme zımbalaması göçme biçiminin esas olduğu taşıma gücü değeri (4.4), başlık elemanının plastikleşmesi göçme biçiminin esas olduğu taşıma gücü değeri ise (4.5) ile ifade edilmiştir. Her iki formül için de, kaynakların başlık elemanı akma gerilmesine göre boyutlandırılacağı kabul edilmiştir.

Şekil 4.7' de yer alan  $f_{op}$  değeri başlık elemanındaki mevcut aksenal yük veya eğilme momentinden kaynaklanan normal gerilmeyi ifade etmektedir.



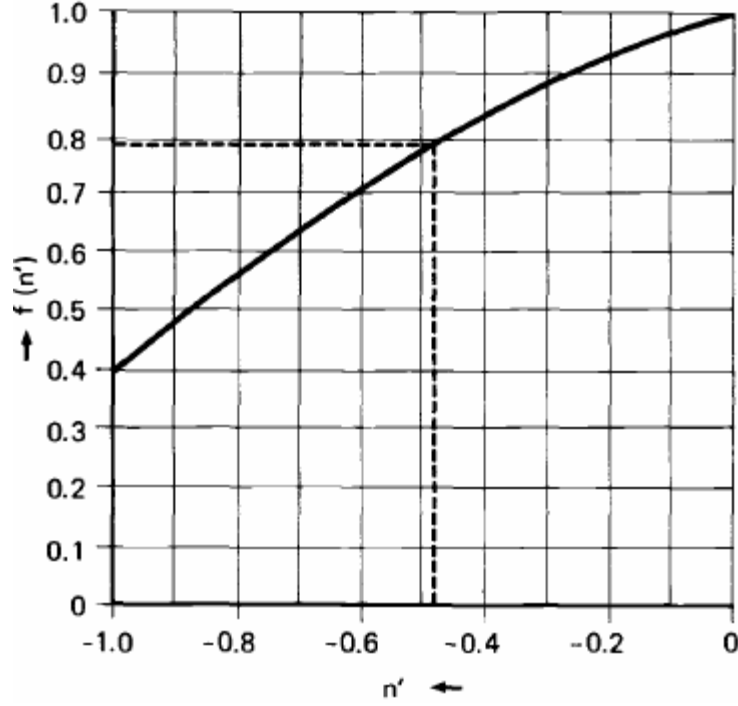
T ve Y tipi birleşimler için  
sembol ve parametreler

$$\begin{aligned} 30^\circ &\leq \theta_1 \leq 90^\circ \\ 0.2 &\leq \beta \leq 1.0 \\ \frac{d_0}{t_0} &\leq 50 \\ \frac{d_1}{t_1} &\leq 50 \\ f_{y1} &\leq 355 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Formül 4.3 için geçerlilik aralığı

Şekil 4.7 Tipik T- ve Y- tipi birleşim ve (4.3)' ün geçerlilik aralığı şartları (Wardenier vd., 1991)

Formül 4.5' de yer alan  $f(n')$  fonksiyonu  $n'$  değerine bağlı olarak Şekil 4.8' de grafik olarak ifade edilmiştir. Fonksiyonun kesin değeri (4.6) ve (4.7)' den hesaplanabilir.



Şekil 4.8  $f(n')$  fonksiyonu (Wardenier vd., 1991)

$$f(n') = 1 \quad (n' \geq 0, \text{ başlık elemanında çekme kuvveti}) \quad (4.6)$$

$$f(n') = 1 + 0.3 n' - 0.3 n'^2 \quad (n' < 0, \text{ başlık elemanında basınç kuvveti}) \quad (4.7)$$

Genellikle taşıma gücü hesabına esas olan başlık elemanı plastikleşmesini ifade eden (4.2), uygulamada tasarımcıya hız kazandırması bakımından oldukça önemlidir. Formülde geçen  $C_e$

faktörü grafiklerle  $\frac{d_0}{t_0}$  ve  $\beta$  oranlarına bağlı olarak her birleşim tipi için ayrıca ifade

edilmiştir. T ve Y tipi birleşimlere ait  $C_T$  katsayısı Şekil 4.9' da yer almaktadır.

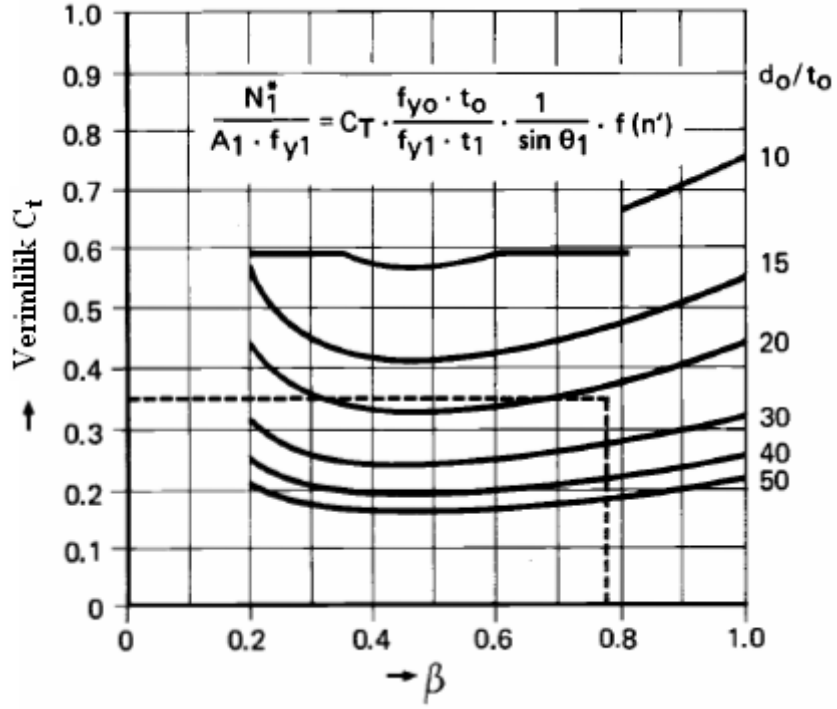
Aşağıda Formül 4.2' ye göre bir T tipi birleşim için taşıma gücü hesap örneği yer almaktadır.

- Veriler:

$$\text{Başlık elemanı} : 219.1 \times 10.0 \quad f_{y0} = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Örgü elemanı} : 168.3 \times 4.5 \quad f_{y1} = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\theta_1 = 90^\circ, \quad f_{0p} = -0.48 f_{y0}$$



Şekil 4.9 T- ve Y- tipi birleşimler için verim faktörü (Wardenier vd., 1991)

- Birleşimin verimliliği:

$$\beta = \frac{d_1}{d_0} = \frac{168.3}{219.1} = 0.77, \quad \frac{d_0}{t_0} = 21.9, \quad \frac{d_1}{t_1} = 37.4, \quad n' = \frac{f_{0p}}{f_{y0}} = -0.48 \text{ bulunur ve Şekil 4.7' de yer}$$

alan geçerlilik şartlarının sağlandığı görülür.

$$f(n') = 1 + 0.3n' - 0.3n'^2 = 0.79 \text{ (Bakınız Formül 4.7)}$$

$f(n')$  fonksiyonu Şekil 4.8' de de görüldüğü gibi  $n' = -0.48$  için 0.79 değerini alır.  $C_T$  değeri Şekil 4.9' dan  $\beta = 0.77$  için 0.35 olarak okunur. Tüm bu değerler Formül 4.2' de yerine konarak birleşimin verimlilik değeri:

$$\frac{N_{1T}^*}{A_1 \cdot f_{y1}} = 0.35 \times \frac{275 \times 10}{275 \times 4.5} \times 0.79 \cong 0.61$$

bulunur. Aynı örnek (4.3)' e göre hesaplanırsa:

$$N_0^* = \frac{275}{\sqrt{3}} \times 10 \times \pi \times 168.3 \times \frac{1 + \sin 90^\circ}{2 \sin^2 90^\circ} \cong 839472 \text{ N}$$



$$N_{IT}^* = \frac{275 \times 10^2}{\sin 90^\circ} (2.8 + 14.2 \times 0.77^2) \times \left(\frac{219.1}{2 \times 10}\right)^{0.2} \times 0.79 \cong 393408 \text{ N} \quad N_T^* = \min(N_0^*, N_{IT}^*) = 393408$$

N

bulunur. Bu değer (4.2)' ye göre hesaplanan

$$N_{IT}^* = 0.61 \times A_i \times f_{yi} = 0.61 \times \left(\frac{\pi \times 168.3^2}{4} - \frac{\pi \times 159.3^2}{4}\right) \times 275 \cong 388453 \text{ N}$$

değeriyle oldukça yakındır. Bu nedenle profil seçimi esnasında (4.2) ifadesi, birleşimin kesin hesabı öncesi kullanabilecek etkin bir araçtır.

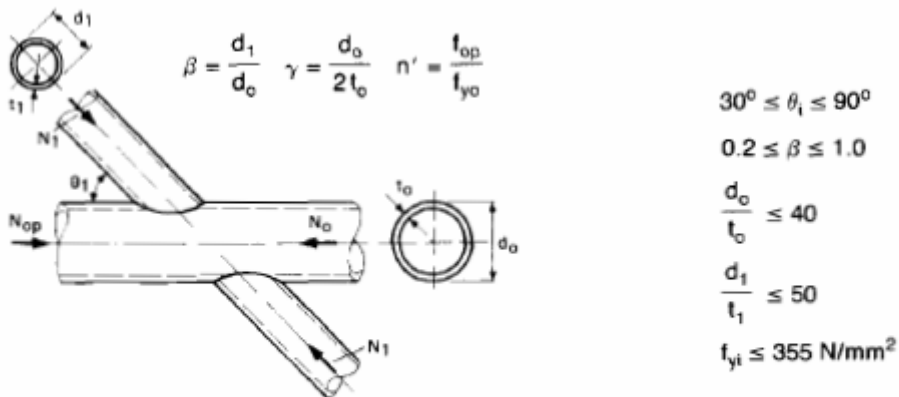
#### 4.3.1.2 X tipi Birleşimler

Bu tip birleşimler için taşıma gücü değeri (4.8)' de, ilgili semboller, parametreler ve (4.8)' in geçerlilik aralığı ise Şekil 4.10' da, verilmiştir.

$$N_X^* = \min(N_0^*, N_{IX}^*) \quad (4.8)$$

$$N_{IX}^* = \frac{f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \left[ \frac{5.2}{1 - 0.81\beta} \right] f(n') \quad (4.9)$$

Formül 4.9 başlık elemanı plastikleşmesinin esas olduğu göçme biçimini ifade eder. Başlık elemanı kesme zımbalaması göçme biçimi ise Y, T, X ile boşluklu K, N ve KT tipi birleşimler için (4.4)' de ifade edildiği gibidir. Formül 4.5' de yer alan  $f(n')$  fonksiyonu yukarıda bahsi geçen birleşim tiplerine ek olarak örtüşen K, N ve KT tipi birleşimler için de geçerlidir.

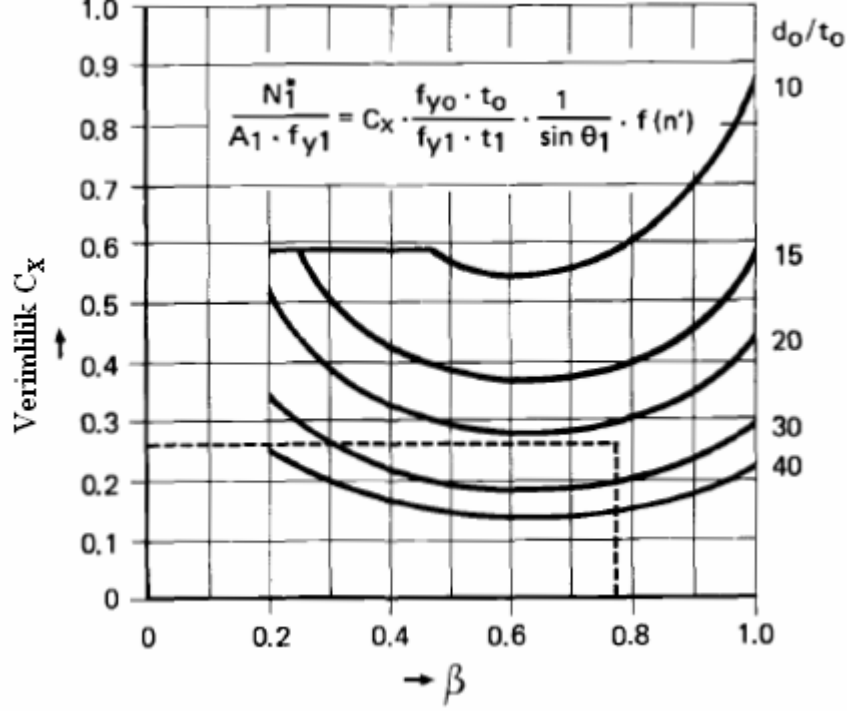


**X tipi birleşimler için  
sembol ve parametreler**

**Formül 4.8 için geçerlilik aralığı**

Şekil 4.10 X tipi birleşim ve (4.8)' in geçerlilik aralığı şartları (Wardenier vd., 1991)

Formül 4.2' ye göre yapılan hesaplarda kullanılacak verimlilik faktörü  $C_e$ , bölüm 4.3.1.1' deki benzer olarak birleşimin tipini vurgulaması bakımından  $C_x$  şeklinde ifade edilmiştir.  $C_x$  faktörünün  $\beta$  değerine bağlı değişimi Şekil 4.11' de yer almaktadır.



Şekil 4.11 X tipi birleşimler için verim faktörü (Wardenier vd., 1991)

Aşağıda (4.2)' ye göre bir X tipi birleşim için taşıma gücü hesap örneği yer almaktadır.

- Veriler:

Başlık elemanı :  $219.1 \times 10.0$   $f_{y0} = 275 \text{ N/mm}^2$

Örgü elemanı :  $168.3 \times 5.6$   $f_{y1} = 275 \text{ N/mm}^2$

$\theta_1 = 90^\circ$ ,  $f_{0p} = -0.48f_{y0}$

- Birleşimin verimliliği:

$\beta = \frac{d_1}{d_0} = \frac{168.3}{219.1} = 0.77$ ,  $\frac{d_0}{t_0} = 21.9$ ,  $\frac{d_1}{t_1} = 30.1$ ,  $n' = \frac{f_{0p}}{f_{y0}} = -0.48$  bulunur ve Şekil 4.10' da yer

alan geçerlilik şartlarının sağlandığı görülür.

$f(n')$  fonksiyonu  $n' = -0.48$  için yine 0.79 değerini alır.  $C_x$  değeri Şekil 4.11' den  $\beta = 0.77$  için 0.26 olarak okunur. Tüm bu değerler Formül 4.2 de yerine konarak birleşimin verimlilik değeri:

$$\frac{N_{1X}^*}{A_1 \cdot f_{yi}} = 0.26 \times \frac{275 \times 10}{275 \times 5.6} \times 0.79 \cong 0.37$$

bulunur. Formül 4.8 kullanılarak birleşimin taşıma gücü değeri:

$$N_0^* \cong 839472 \text{ N}$$

$$N_{1X}^* = \frac{275 \times 10^2}{\sin 90^\circ} \times \left[ \frac{5.2}{1 - 0.81 \times 0.77} \right] \times 0.79 \cong 300213 \text{ N}$$

$$N_X^* = \min(N_0^*, N_{1X}^*) = 300213 \text{ N}$$

bulunur ki bu değer de Formül 4.2' ye göre hesaplanan değere bir önceki örnekteki gibi oldukça yakın olduğu görülür.

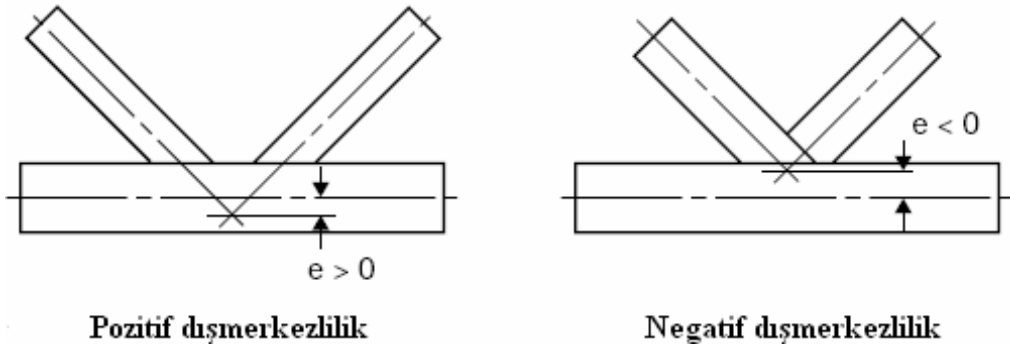
$$N_{1X}^* = 0.37 \times A_1 \times f_{yi} = 0.37 \times \left( \frac{\pi \times 168.3^2}{4} - \frac{\pi \times 157.1^2}{4} \right) \times 275 \cong 291246 \text{ N}$$

Bölüm 4.3.1.1 ve Bölüm 4.3.1.2' deki iki sayısal örnek bu bölümlerde incelenen birleşim tiplerini kıyaslama imkanı verir. Sadece örgü elemanının cidar kalınlığının farklı olması sayesinde, genel geçerliği olan bir kıyaslama yapılabilir. Birleşimlerin verimliliği dikkate alındığında T tipi birleşimin X tipi birleşime oranla oldukça mukavim olduğu gözlenir. Aynı zamanda X tipi birleşim için verimlilik değeri 0.37 gibi hayli düşük bir değerdir, bir başka deyişle örgü çubuğu taşıma kapasitesinin oldukça altında bir kuvveti aktarabilir. Bu durum örgü çubuğunun gereğinden güçlü bir kesite sahip olması ya da birleşimde kullanılacak takviye levhaları anlamına gelir. T tipi birleşim için ise verimlilik değeri 0.61 dir, X tipi birleşiminkine kıyasla daha yüksek mertebede yük aktarımı anlamına gelir ve çoğu mühendis için kabul edilebilir bir birleşim taşıma gücünü ifade eder.

Sonuç olarak T tipi birleşimlerin X tipi birleşimlere oranla daha mukavim olduğu ve birleşimin taşıma gücünü arttırması bakımından başlık elemanının örgü çubuğuna kıyasla daha büyük akma gerilmesine sahip malzemeden seçilmesinin X tipi birleşimler için daha faydalı olduğu söylenebilir.

### 4.3.1.3 Boşluklu K ve N tipi Birleşimler

Bu tip birleşimler Y, T, X ile örtüşen K, N ve KT tipi birleşimlere kıyasla daha geniş bir uygulama sahasına sahiptir. Örgü çubuklarının sadece aksel yük etkisinde olması istenilen tek düzlemlili kafes kirişlerde, genellikle bu tip birleşimler tercih edilir. Başlık elemanına daha kolay kaynak yapılmasına imkan vermesi de uygulama da kolaylık sağlar. Örgü çubuklarının başlık elemanına daha rahat kaynaklanabilmesi için gerekirse bir miktar dışmerkezliliğe izin verilir. K ve N tipi birleşimlerin taşıma gücü değerlerini ifade eden formüllerin geçerlilik aralığında da adı geçecek olan dışmerkezlilik ( $e$ ) değeri Şekil 4.12’ de açıklanmıştır.



Şekil 4.12 Dışmerkezlilik (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)

Boşluklu K ve N tipi birleşimler için taşıma gücü değeri (4.10)’ da, ilgili semboller, parametreler ve (4.10)’ un geçerlilik aralığı ise Şekil 4.13’ de, verilmiştir.

$$N_K^* = \min(N_{01}^*, N_{02}^*, N_{1K}^*, N_{2K}^*) \quad (4.10)$$

$$N_{1K}^* = \frac{f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \left( 1.8 + 10.2 \frac{d_1}{d_0} \right) f(\gamma, g') f(n') \quad (4.11)$$

$$N_{2K}^* = N_{1K}^* \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (4.12)$$

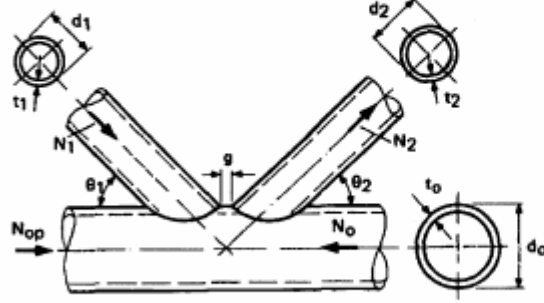
$N_{1K}^*$  ve  $N_{2K}^*$  ifadeleri sırasıyla birinci ve ikinci örgü çubuklarının neden olduğu başlık elemanı plastikleşmesi göçme biçimini esas alan taşıma gücü formülleridir.

$f(\gamma, g')$  fonksiyonu Formül 4.13’ de ifade edilmiştir. Fonksiyonun Şekil 4.18’ de  $\gamma$  ve  $g'$  değerlerine bağlı değişimi görülmektedir.

$$f(\gamma, g') = \gamma^{0.2} \left[ 1 + \frac{0.024 \gamma^{1.2}}{\exp(0.5g' - 1.33) + 1} \right] \quad (4.13)$$

$$\beta = \frac{d_1 + d_2}{2d_o} \quad \gamma = \frac{d_o}{2t_o} \quad n' = \frac{f_{op}}{f_{y0}} \quad g' = \frac{g}{t_o}$$

$$N_o = \Sigma N_i \cos \theta_i + N_{op}$$



K ve N tipi birleşimler için  
sembol ve parametreler

$$0.2 \leq \frac{d_i}{d_o} \leq 1.0$$

$$\frac{d_i}{t_i} \leq 50 \quad (i = 0, 1, 2)$$

$$f_{yi} \leq 355 \text{ N/mm}^2$$

$$g \geq t_1 + t_2$$

$$30^\circ \leq \theta_i \leq 90^\circ$$

$$-0.55 \leq \frac{\theta}{d_o} \leq 0.25$$

Formül 4.10 için  
geçerlilik aralığı

Şekil 4.13 Boşluklu K ve N tipi birleşim ve (4.10)' un geçerlilik aralığı şartları (Wardenier vd., 1991)

Formül 4.9 için geçerlilik aralığı sınırlamalarına, önceki birleşim tiplerinden farklı olarak,  $g \geq t_1 + t_2$  koşulu eklenmiştir. Bu koşul, iki örgü elemanının başlık üzerinde birbirlerine en yakın oldukları noktada, aralarında yeterli kaynak mesafesi kalmasını sağlamak amacıyla ilave edilmiştir.

Bu tip birleşimlerin taşıma gücü değerleri,  $g'$  değerine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle (4.2)' nin kullanılabilmesi için gerekli verim faktörü,  $g'$  değerinin 2, 6 ve 10 olması durumları için Şekil 4.14a, Şekil 4.14b ve Şekil 4.14c' de ifade edilmiştir;  $g'$  oranının ara değerleri için lineer interpolasyon yapılabilir.

Aşağıda (4.2)' ye göre boşluklu K tipi bir birleşim için taşıma gücü hesap örneği yer almaktadır.

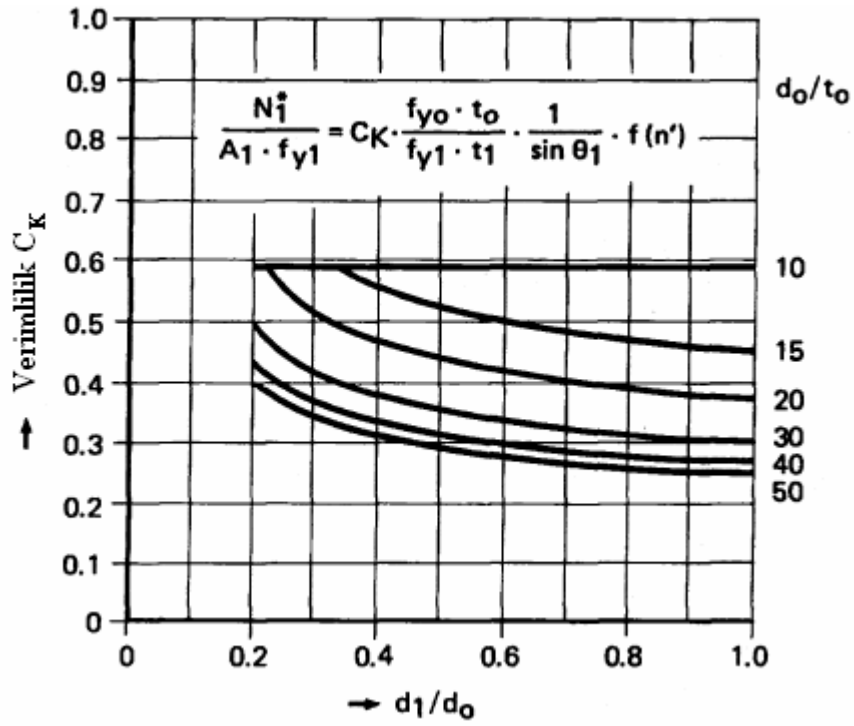
- Veriler:

Başlık elemanı : 219.1x10.0  $f_{y0} = 275 \text{ N/mm}^2$

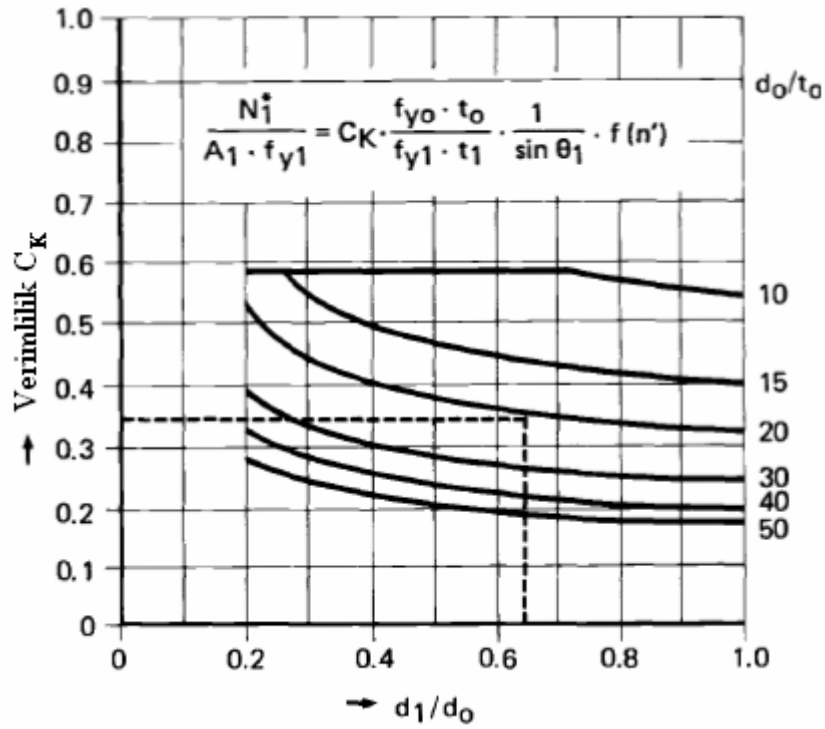
Örgü elemanı (1) : 139.7x6.3  $f_{y1} = 275 \text{ N/mm}^2$

Örgü elemanı (2) : 114.5x5.0  $f_{y1} = 275 \text{ N/mm}^2$

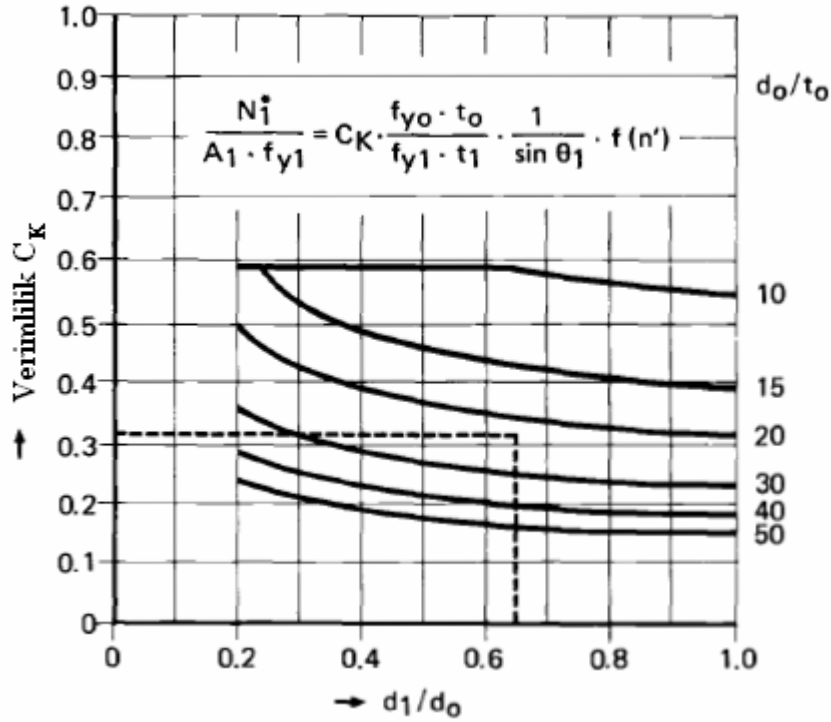
$\theta_1 = \theta_2 = 40^\circ$ ,  $f_{op} = -0.3f_{y0}$ ,  $g = 85 \text{ mm}$



Şekil 4.14a Boşluklu K ve N tipi birleşimler için  $g' = 2$  olması halinde verim faktörü (Wardenier vd., 1991)



Şekil 4.14b Boşluklu K ve N tipi birleşimler için  $g' = 6$  olması halinde verim faktörü (Wardenier vd., 1991)



Şekil 4.14c Boşluklu K ve N tipi birleşimler için  $g' = 10$  olması halinde verim faktörü (Wardenier vd., 1991)

- Birleşimin verimliliği:

$$\frac{d_1}{d_0} = \frac{139.7}{219.1} = 0.64 ; \frac{d_2}{d_0} = \frac{114.5}{219.1} = 0.52 ; \frac{d_0}{t_0} = 21.9 ; \frac{d_1}{t_1} = 22.2 ; \frac{d_2}{t_2} = 22.9 ; n' = \frac{f_{0p}}{f_{y0}} = -0.3 ;$$

$g=85 \geq t_1+t_2=6.3+5=11.3$ ;  $g' = \frac{85}{10} = 8.5$  bulunur ve Şekil 4.13' de yer alan geçerlilik

şartlarının sağlandığı görülür.

$f(n')$  fonksiyonu  $n' = -0.3$  için;

$$f(n') = 1 + 0.3 \times (-0.3) - 0.3 \times (-0.3)^2 = 0.88$$

değerini alır.  $f(\gamma, g')$  fonksiyonunun değeri ise aşağıda hesaplandığı üzere;

$$f(\gamma, g') = 10.955^{0.2} \times \left[ 1 + \frac{0.024 \times 10.955^{1.2}}{\exp(0.5 \times 8.5 - 1.33) + 1} \right] \cong 1.65$$

bulunur.  $C_K$  değeri Şekil 4.14b ve Şekil 4.14c' den 0.65 için okunan değerlerin lineer interpolasyonu ile 0.33 olarak hesaplanır. Formül 4.2' de ilgili değerler yerlerine konularak birleşimin birinci örgü çubuğu için verimliliği:

$$\frac{N_{1K}^*}{A_1 \cdot f_{y1}} = 0.33 \times \frac{275 \times 10}{275 \times 6.3} \times \frac{1}{\sin 40^\circ} \times 0.88 \cong 0.72$$

bulunur. İkinci çubuk için birleşimin verimliliği ise:

$$\frac{N_{2K}^*}{A_2 \cdot f_{y2}} = \frac{N_{1K}^*}{A_2 \cdot f_{y2}} \times \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{0.72 \times (2640 \times 275)}{1720 \times 275} \times \frac{\sin 40^\circ}{\sin 40^\circ} = 1.11$$

değerini alır.  $N_{2K}^*$  değerinin  $N_{1K}^*$  değerinden büyük olması başlık elemanı plastikleşmesine bu örgü çubuğunun neden olmayacağını gösterir. Formül 4.10 kullanılarak birleşimin taşıma gücü değeri:

$$N_{01}^* = \frac{275}{\sqrt{3}} \times 10 \times \pi \times 139.7 \times \frac{1 + \sin 40^\circ}{2 \sin^2 40^\circ} \cong 1385271 \text{ N}$$

$$N_{02}^* = \frac{275}{\sqrt{3}} \times 10 \times \pi \times 114.5 \times \frac{1 + \sin 40^\circ}{2 \sin^2 40^\circ} \cong 1135387 \text{ N}$$

$$N_{1K}^* = \frac{275 \times 10^2}{\sin 40^\circ} (1.8 + 10.2 \times 0.64) \times 1.65 \times 0.88 \cong 515820 \text{ N}$$

$$N_{2K}^* = 515820 \times \frac{\sin 40^\circ}{\sin 40^\circ} \cong 515820 \text{ N}$$

$$N_K^* = \min(N_{01}^*, N_{02}^*, N_{1K}^*, N_{2K}^*) = 515820 \text{ N}$$

bulunur. Bu değer Formül 4.2 ile bulunan değerle mukayese edildiğinde;

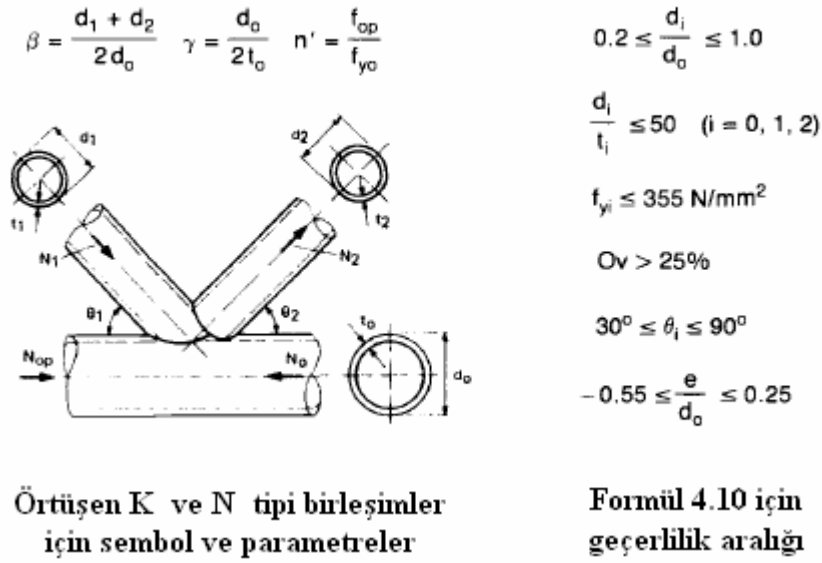
$$N_{1K}^* = 0.72 \times A_1 \times f_{y1} = 0.72 \times \left( \frac{\pi \times 139.7^2}{4} - \frac{\pi \times 127.1^2}{4} \right) \times 275 \cong 522771 \text{ N}$$

iki değer birbirine hayli yakın olduğu görülür.

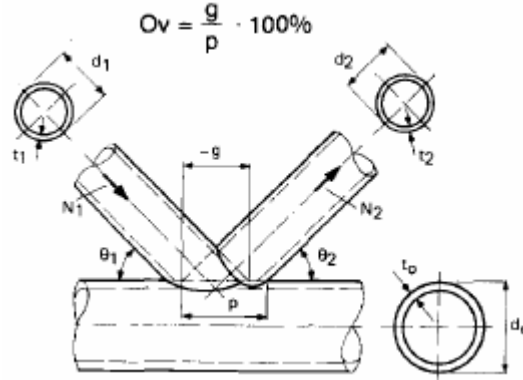
#### 4.3.1.4 Örtüşen K ve N tipi Birleşimler

Örtüşen K ve N tipi birleşimlerin başlık elemanı plastikleşmesini esas alan taşıma gücü formülü, boşluklu K ve N tipi birleşimlerinkine aynıdır. Bu tip birleşimlerde başlıkta kesme zımbalması göçme biçimi daha kritik olmaz. Bu nedenle bu göçme biçimini esas alan bir tahkik yapılmaz. Bir başka deyişle (4.10)' da bulunan başlık elemanında kesme zımbalması göçme biçimini esas alan taşıma gücü terimi ihmal edilir. Örtüşen K ve N tipi birleşimlere ait semboller, parametreler ve (4.10)' un geçerlilik aralığı Şekil 4.15' de verilmiştir.



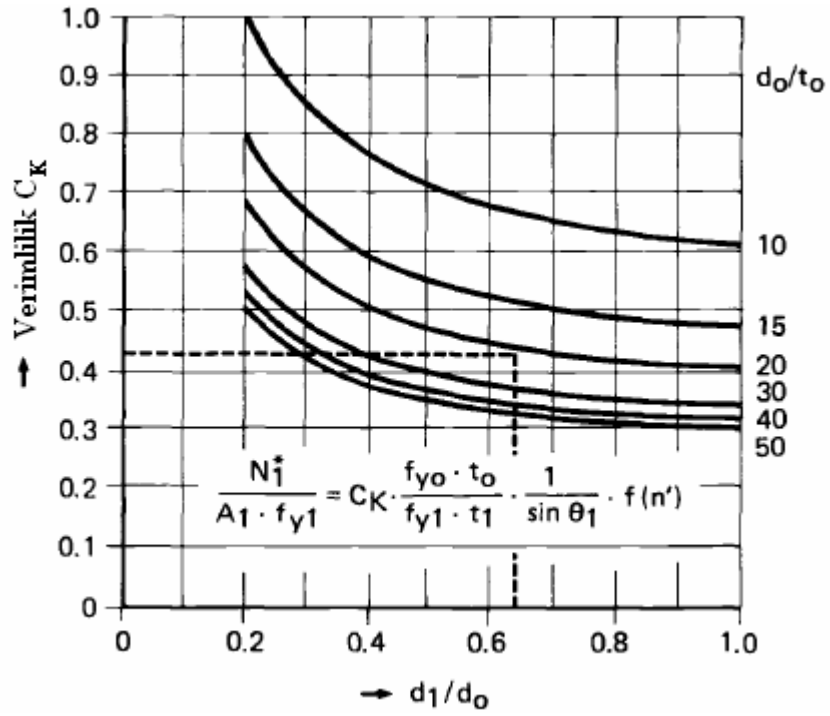


Şekil 4.15 Örtüşen K ve N tipi birleşim ve (4.10)' un geçerlilik aralığı şartları (Wardenier vd., 1991)

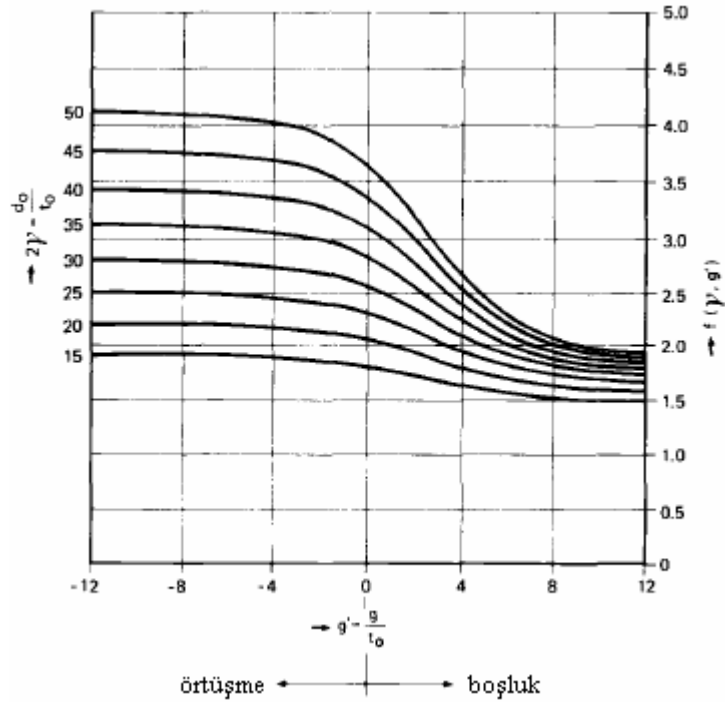


Şekil 4.16  $O_v$  değeri (Wardenier vd., 1991)

Formül 4.10' un geçerlilik aralığı ifadelerinde yer alan  $O_v$  değeri Şekil 4.16' da tanımlanmıştır. Örtüşen K ve N tipi birleşimlerde verim faktörü Şekil 4.17' de, boşluk ve örtüşmenin  $f(\gamma, g')$  fonksiyonuna etkisi ise Şekil 4.18' de ifade edilmiştir. Bu tip birleşimlerde, boşluklu K ve N tipi birleşimlerin aksine, tek bir verimlilik faktörü (4.2)' nin kullanılması için yeterlidir.



Şekil 4.17 Örtüşen K ve N tipi birleşimler için verim faktörü (Wardenier vd., 1991)



Şekil 4.18  $f(\gamma, g')$  fonksiyonu (Wardenier vd., 1991)

Aşağıda (4.2)' ye göre örtüşen K tipi bir birleşim için taşıma gücü hesap örneği yer almaktadır.

- Veriler:

Başlık elemanı : 219.1x10.0  $f_{y0} = 275 \text{ N/mm}^2$

Örgü elemanı (1) : 139.7x6.3  $f_{y1} = 275 \text{ N/mm}^2$

Örgü elemanı (2) : 114.5x5.0  $f_{y1} = 275 \text{ N/mm}^2$

$\theta_1 = \theta_2 = 40^\circ$ ,  $f_{op} = -0.3f_{y0}$ ,  $g = 85 \text{ mm}$ ,  $\%50 < O_v < \%100$

- Birleşimin verimliliği:

$$\frac{d_1}{d_0} = \frac{139.7}{219.1} = 0.64, \quad \frac{d_2}{d_0} = \frac{114.5}{219.1} = 0.52, \quad \frac{d_0}{t_0} = 21.9, \quad \frac{d_1}{t_1} = 22.2, \quad \frac{d_2}{t_2} = 22.9, \quad n' = \frac{f_{op}}{f_{y0}} = -0.3,$$

$g' = \frac{-85}{10} = -8.5$  bulunur ve Şekil 4.15' de yer alan geçerlilik şartlarının sağlandığı görülür.

$f(n')$  fonksiyonu  $n' = -0.3$  için, 0.88;  $f(\gamma, g')$  fonksiyonunu ise,

$$f(\gamma, g') = 10.955^{0.2} \times \left[ 1 + \frac{0.024 \times 10.955^{1.2}}{\exp(0.5 \times (-8.5) - 1.33) + 1} \right] \cong 2.30$$

değerini alır,  $C_K$  verimlilik faktörü ise Şekil 4.17' den 0.44 olarak okunur. İlgili değerler

Formül 4.2' de yerine konularak birleşimin birinci ve ikinci örgü çubukları için verimliliği:

$$\frac{N_{1K}^*}{A_1 \cdot f_{y1}} = 0.44 \times \frac{275 \times 10}{275 \times 6.3} \times \frac{1}{\sin 40^\circ} \times 0.88 \cong 0.96$$

$$\frac{N_{2K}^*}{A_2 \cdot f_{y2}} = \frac{N_{1K}^*}{A_2 \cdot f_{y2}} \times \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{0.96 \times (2640 \times 275)}{1720 \times 275} \times \frac{\sin 40^\circ}{\sin 40^\circ} = 1.47$$

bulunur. Formül 4.10 kullanılarak birleşimin taşıma gücü değeri:

$$N_{1K}^* = \frac{275 \times 10^2}{\sin 40^\circ} (1.8 + 10.2 \times 0.64) \times 2.30 \times 0.88 \cong 721135 \text{ N}$$

$$N_{2K}^* = 721135 \times \frac{\sin 40^\circ}{\sin 40^\circ} \cong 721135 \text{ N}$$

$$N_K^* = \min(N_{1K}^*, N_{2K}^*) = 721135 \text{ N}$$

bulunur. Bu değer Formül 4.2 ile bulunan değerle mukayese edildiğinde;

$$N_{IK}^* = 0.96 \times A_i \times f_{yi} = 0.96 \times \left( \frac{\pi \times 139.7^2}{4} - \frac{\pi \times 127.1^2}{4} \right) \times 275 \cong 697028 \text{ N}$$

her iki yönteminde bu tip birleşimlerin taşıma gücü hesabında rahatlıkla kullanılabilceği ortaya çıkar.

Bu noktaya kadar incelenen her bir birleşim tipi için, birleşen örgü çubuğunun akma gerilmesine ve  $d_1/t_1$  oranına bağlı bir verimlilik üst sınırı vardır. Bu sınırların değeri Formül 4.14' de ifade edilmiş, aynı zamanda da Şekil 4.19' da tablolaştırılmıştır.

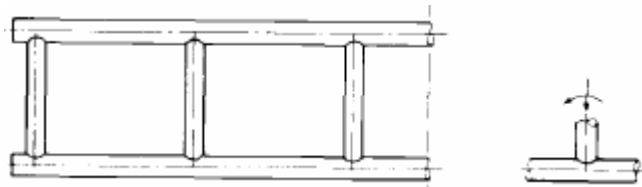
$$\text{verimlilik} = \frac{N^*}{A_i \cdot f_{yi}} \leq 0.22 \left( \frac{E}{f_{y1}} \frac{t_1}{d_1} \right)^{0.5} \leq 1.0 \quad 4.14$$

$d_1/t_1$ oranı limit değerleri		verimlilik limit değerleri					
akma gerilmesi	$d_1/t_1$ için limit	$f_{y1}$	$d_1/t_1$				
			30	35	40	45	50
$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$	$d_1/t_1 \leq 43$	235	1.0	1.0	1.0	0.98	0.93
$f_y = 275 \text{ N/mm}^2$	$d_1/t_1 \leq 37$	275	1.0	1.0	0.96	0.88	0.86
$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	$d_1/t_1 \leq 28$	355	0.98	0.88	0.85	0.78	0.76

Şekil 4.19 Birleşim verimliliği için limit değerler (Wardenier vd., 1991)

#### 4.3.1.5 Moment Birleşimleri

Tek düzlemlı kafes kirişler, örgü çubukları moment etkisinde kalacak biçimde de tasarlanabilirler. Moment etkisindeki örgü çubukları maruz kaldıkları moment etkisini birleşimlerinin mukavemeti nispetinde aktarırlar. Momente maruz birleşimler, genelde T tipi olup Vierendeel Birleşimleri olarak da isimlendirilirler. Şekil 4.20' de bir Vierendeel Birleşimi görülmektedir.



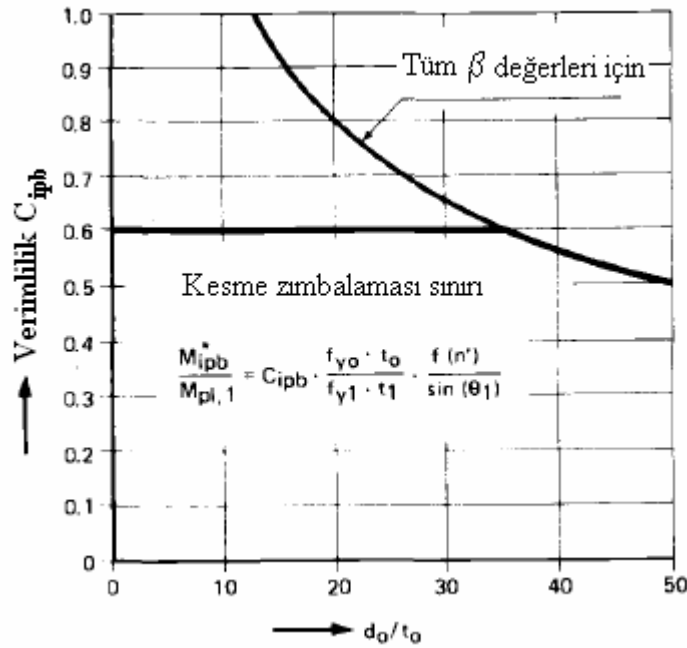
Şekil 4.20 Tipik Vierendeel Birleşimi (Wardenier vd., 1991)

Bu tip birleşimlerin başlık elemanı plastikleşmesi göçme biçimini esas alan taşıma gücü

değeri aksel yük aktaran birleşimlerininkine benzer olarak (4.15)' de ifade edilmiştir.

$$\frac{M_{ipb}^*}{M_{pl,1}} = C_{ipb} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} \frac{f(n')}{\sin \theta_1} \quad (4.15)$$

Formül 4.15 kesin hesap öncesi hızlı bir şekilde birleşimin tahkikine imkan verir. Sol tarafı birleşimin verimliliği adını alan (4.15)' de yer alan  $C_{ipb}$  değeri, aksel yük aktaran birleşimlere benzer olarak verimlilik faktörü adını alır ve Şekil 4.21' de ifade edilmiştir.  $M_{pl,1}$  terimi birleşime giren örgü çubuğunun plastik moment taşıma kapasitesini, yani plastik mukavemet momenti ile akma gerilmesinin çarpımını ifade eder.



Şekil 4.21 Vierendeel birleşimleri için verim faktörü (Wardenier vd., 1991)

Başlık elemanında plastikleşme ve kesme zımbalaması göçme biçimlerini esas alan taşıma gücü değerleri T, Y ve X tipi birleşimler için sırasıyla (4.16) ve (4.17)' de yer almaktadır. Bu formüllerin geçerlilik aralığı aksel yüke maruz birleşimlerininkiyle aynıdır.  $f(n')$  fonksiyonu (4.6) ve (4.7)' de ifade edildiği gibidir.

$$M_{ipb}^* = 4.85 f_{y0} t_0^2 \gamma^{0.5} \beta d_1 \frac{f(n')}{\sin \theta_1} \quad (4.16)$$

$$M_{ipb}^* \leq \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 d_1^2 \frac{1 + 3 \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} \quad (4.17)$$

Momente maruz boru profil birleşimleri aynı zamanda aksel yüke de maruz

kalabilmektedir. Bu yükleme halini dikkate alabilmek için (4.18) kullanılmalıdır.

$$\frac{N_i}{N_i^*} + \left( \frac{M_{ipb}}{M_{ipb}^*} \right) \leq 1.0 \quad (4.18)$$

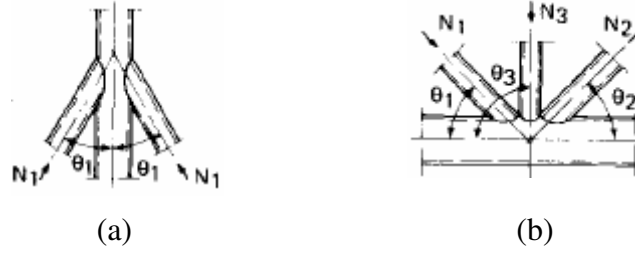
### 4.3.2 Tek Düzlem Kafes Kirişlerin Özel Birleşim Tipleri

Boru profillerden teşkil edilen ancak bu noktaya kadar değinilmeyen daha bir çok birleşim tipi mevcuttur. Bu birleşimlerin bazıları bu bölüme dek incelenenlere benzetilebilir, bazıları içinse daha farklı ve spesifik çalışmalar yapmak gerekmiştir.

#### 4.3.2.1 Boru Profillerin Diğer Birleşimleri

Bu bölümde dört birleşim tipi daha, genel hatlarıyla incelenmiştir.

Şekil 4.22a' da verilen birleşim tipi için taşıma gücü değeri X tipi birleşimden faydalanılarak belirlenir.  $N_1 \leq N_1^*$  eşitsizliği sağlanmalıdır.  $N_1^*$  değeri Formül 4.8 kullanılarak bulunur.

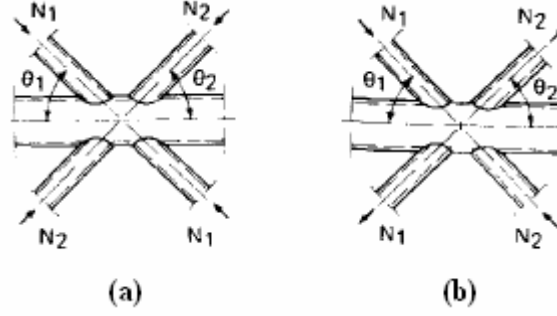


Şekil 4.22 Boru Profillerin özel birleşimleri – I (Wardenier vd., 1991)

Şekil 4.22b' de verilen tipteki birleşimler KT tipi birleşimler olarak isimlendirilirler. K tipi birleşimlere ait taşıma gücü formülleri bu tip birleşimler için de geçerlidir. Boşluklu KT tipi birleşimlere ait taşıma gücü değeri hesaplanırken  $d_1/d_0$  yerine  $(d_1+d_2+d_3)/3d_0$  konulmalıdır. Boşluk mesafesi olarak önemli miktarda ters işaretli yük taşıyan örgü çubukları arasındaki maksimum mesafe alınır. Eğer dikey örgü çubuğu, diğer iki örgü çubuğunun taşıdığı yüke kıyasla çok küçük bir yüke maruzsa, boşluk mesafesi birinci ve ikinci örgü çubukları arasındaki mesafedir. Bu durumda yine  $d_1/d_0$  değeri kullanılır. Örtüşen KT tipi birleşimler, boşluklu KT tipi birleşimlerle benzerlik gösterir. Örtüşme mesafesi olarak en küçük örtüşme değeri alınmalıdır. Bu hususların dışında KT tipi birleşimler ayrıca Formül 4.19 ve Formül 4.20' ye uygun tasarlanmalıdır.

$$N_1 \sin \theta_1 + N_3 \sin \theta_3 \leq N_1^* \sin \theta_1 \quad (4.19)$$

$$N_2 \sin \theta_2 \leq N_1^* \sin \theta_1 \quad (4.20)$$



Şekil 4.23 Boru Profillerin özel birleşimleri – II (Wardenier vd., 1991)

Şekil 4.23a' da görülen birleşime ait taşıma gücü değeri X tipi birleşimler için verilen formüllerle hesaplanır. İlave olarak Eşitsizlik 4.21' deki tahkik yapılmalıdır.

$$N_1 \sin \theta_1 + N_2 \sin \theta_2 \leq N_i^* \sin \theta_i \quad (4.21)$$

$$N_i^* \sin \theta_i = \min(N_1 \sin \theta_1, N_2 \sin \theta_2) \quad (4.22)$$

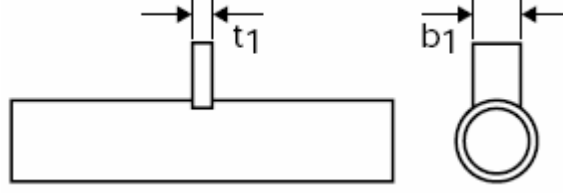
Şekil 4.23b' de görülen birleşime ait taşıma gücü değeri K tipi birleşimler için verilen formüllerle hesaplanır. Ek olarak  $N_1 \leq N_1^*$  ve  $N_2 \leq N_2^*$  eşitsizlikleri sağlanmalıdır.

#### 4.3.2.2 Dügüm Noktası Levhalı ya da Başlık Elemanına Doğrudan Kaynaklı I, H veya Kutu Profil Birleşimleri

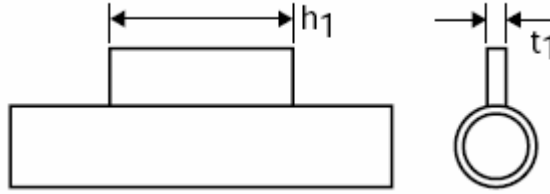
Tek düzlemlili kafes kirişlerin düğüm noktaları, örgü çubuklarının başlık elemanına düğüm noktası levhası kullanılarak birleştirilmesi suretiyle de teşkil edilirler. Bu durumda levhanın başlık elemanına aktarabileceği maksimum yük düğüm noktasının taşıma gücünü tayin eder. Bazı durumlarda ise başlık elemanı boru profil olmasına karşın örgü çubukları I, H veya kutu profil olabilir. Bu profiller ağırlıklı olarak doğrudan başlık elemanına kaynaklanır.

Bahsi geçen düğüm noktası levhalı ya da başlık elemanına doğrudan kaynaklı I, H veya kutu profil birleşimleri spesifik çalışmalar gerektirmiştir. Bu birleşimlerin taşıma güçlerini ifade eden formüller ,esas olarak, Japonya' da yapılan testlere dayanmaktadır. Bu testlerin orijinal raporlarında, birleşimler temelde iki tip olarak ayrılmıştır. Birinci tip (T tipi) boru profilden teşkil edilmiş başlık elemanının sadece bir tarafına bağlantıyı, ikinci tip (X tipi) ise her iki tarafına bağlantıyı ifade etmektedir. Her iki tip için de birleşimlerin aksenal yük ve moment etkisinde olmaları durumları incelenmiştir. Bu tip birleşimler Şekil 4.24a, 4.24b ve 4.24c' de,

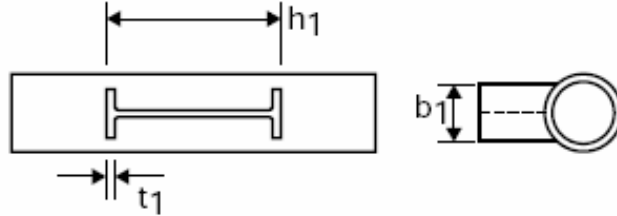
bu birleşim tiplerine ait taşıma gücü formülleri Tablo 4.1' de ifade edilmiştir. Bu formüllerin geçerlilik aralıkları ve kullanılan parametreler daha önce Bölüm 4.3.1' de aksenal yük aktaran örgü çubuklarına ait birleşimler için tanımlananlar ile aynıdır.



Şekil 4.24a Başlık elemanına dik düğüm noktası levhalı birleşim (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)



Şekil 4.24b Başlık elemanına paralel düğüm noktası levhalı birleşim (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)



Şekil 4.24c Başlık elemanına doğrudan kaynaklı I, H veya kutu profil birleşimleri (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)

Çizelge 4.1' de yer alan birleşimler için aynı zamanda zımbalama tahkiki yapılmalıdır. Bu tahkik Formül 4.31 ve Formül 4.32' ye göre yapılır.

$$(f_a + f_b)t_1 \leq \frac{f_{y0}t_0}{\sqrt{3}} \quad (\text{Başlık elemanına doğrudan kaynaklı kutu profil birleşimleri için}) \quad (4.31)$$

$$(f_a + f_b)t_1 \leq \frac{2f_{y0}t_0}{\sqrt{3}} \quad (\text{Tablo 4.1'de yer alan diğer birleşimler için}) \quad (4.32)$$

Formül 4.31 ve Formül 4.32' de bulunan  $f_a$  ve  $f_b$  terimleri sırasıyla düğüm noktası levhası, I, H veya kutu profilde normal kuvvet ve momentten kaynaklanan gerilmeleri ifade etmektedir.



Çizelge 4.1 Dügüm noktası levhalı ya da başlık elemanına doğrudan kaynaklı I, H veya kutu profil birleşimleri için taşıma gücü formülleri

Birleşim Tipi	Eksenel Yük		Düzlem içinde Eğilme
	T tipi	X tipi	
Başlık elemanına dik düğüm noktası levhalı birleşim	$N^* = \frac{1}{4 + 20\beta^2} f(n') f_{y0} t_0^2 \quad (4.23)$	$N^* = \frac{5}{1 - 0.81\beta} f(n') f_{y0} t_0^2 \quad (4.24)$	$M_{\text{fbb}}^* = t_1 N^* \quad (4.25)$
Başlık elemanına paralel düğüm noktası levhalı birleşim	$N^* = 5 \left(1 + 0.25 \frac{h_1}{d_0}\right) f(n') f_{y0} t_0^2 \quad (4.26)$	$N^* = 5 \left(1 + 0.25 \frac{h_1}{d_0}\right) f(n') f_{y0} t_0^2 \quad (4.26)$	$M_{\text{fbb}}^* = t_1 N^* \quad (4.25)$
Başlık elemanına doğrudan kaynaklı I ve H profil birleşimleri	$N^* = \frac{1}{4 + 20\beta^2} \left(1 + 0.25 \frac{h_1}{d_0}\right) f(n') f_{y0} t_0^2 \quad (4.27)$	$N^* = \frac{5}{1 - 0.81\beta} \left(1 + 0.25 \frac{h_1}{d_0}\right) f(n') f_{y0} t_0^2 \quad (4.28)$	$M_{\text{fbb}}^* = \frac{h_1 N^*}{1 + 0.25 \frac{h_1}{d_0}} \quad (4.29)$
Başlık elemanına doğrudan kaynaklı kutu profil birleşimleri	$N^* = \frac{1}{4 + 20\beta^2} \left(1 + 0.25 \frac{h_1}{d_0}\right) f(n') f_{y0} t_0^2 \quad (4.27)$	$N^* = \frac{5}{1 - 0.81\beta} \left(1 + 0.25 \frac{h_1}{d_0}\right) f(n') f_{y0} t_0^2 \quad (4.28)$	$M_{\text{fbb}}^* = h_1 N^* \quad (4.30)$

### 4.3.2.3 Boru Profillerin Ağız Düzleştirilmiş ve Alıştırılmış Birleşimleri

Öncelikle şunu belirtmek gerekir ki, bu tip birleşimler genellikle küçük veya geçici konstrüksiyonlarda kullanılır. Düzleştirme neticesinde, özellikle  $d_0/t_0 \geq 25$  durumunda birleşimin basınç dayanımının azaldığı yapılan deneylerde görülmüştür. Birleşimde yerel burkulmaya mahal vermemek için düzleştirilmiş kısım mümkün mertebe kısa tutulmalıdır.

Bu tip birleşimler için çok fazla sayıda deney yapılmamıştır. Yapılan deneylerde kullanılan ebat ve parametreler Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Ağız düzleştirilmiş boru profil birleşim deneylerinde denenen ebat ve parametreler

Denenen Ebatlar	Denenen Parametreler
$114 \leq d_0 \leq 169$	$14 \leq \frac{d_0}{t_0} \leq 50$
$42 \leq d_1 \leq 90$	$0.35 \leq \frac{d_1}{d_0} \leq 0.8$
$3 \leq t_0 \leq 8$	$\frac{d_1}{d_2} = 1.0, \frac{t_1}{t_2} = 1.0$
$3 \leq t_1 \leq 4.6$	$0 \leq O_v \leq \%75$
$f_{yi} \leq 400 \text{ N/mm}^2$	$\theta_1 = 90^\circ, \theta_2 = 45^\circ$

Aşağıda sıralanan değişikliklerin yapılması halinde, Bölüm 4.31.1, 4.3.1.2 ve 4.3.1.3' de yer alan formüller bu tip birleşimlerin taşıma gücü tayininde kullanılabilir.

- T ve X tipi birleşimler için basınç etkisinde  $d_1$  yerine  $d_{1\min}$  kullanılması
- Boşluklu K tipi birleşimlerde  $d_1$  yerine  $(d_1+d_{1\min})/2$  kullanılması

Yukarıdaki maddelerde bulunan parametreler Şekil 26' da açıklanmıştır.

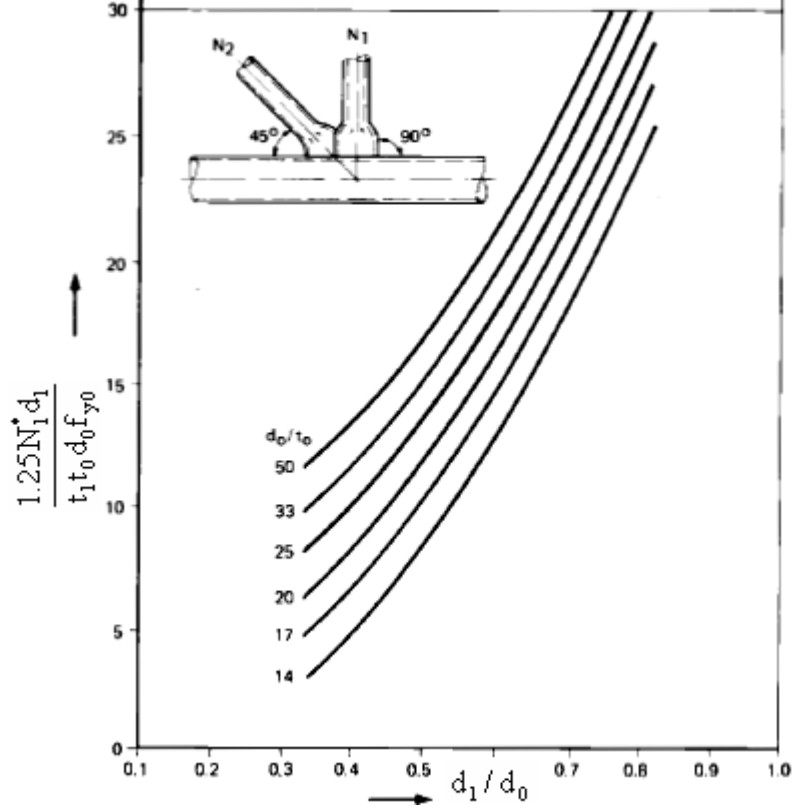
Başlık elemanında, akma gerilmesinin %80'ine kadar öngermenin uygulanması durumunda birleşimlerin dayanımı,  $f(n')$  değeri ile çarpılmalıdır. Öngermenin %80' in de üzerine çıkması durumu, yeterli sayıda deney sonucu bulunmadığından kabul edilemez.  $f(n')$  değeri

Formül 4.33 ve Formül 4.34' de ifade edilmiştir.

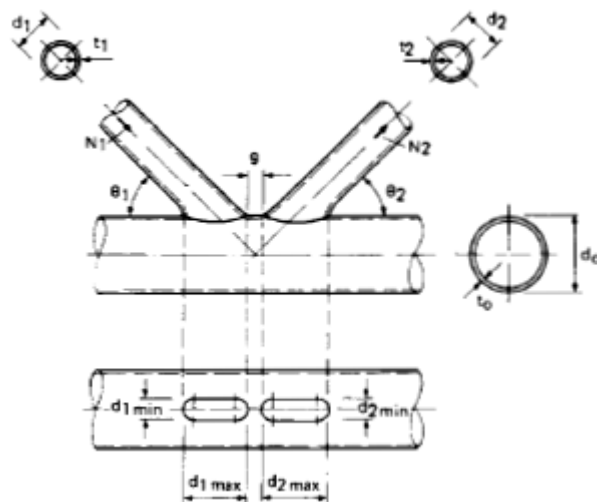
$$f(n') = 1.0 + 2.0n' \quad (0 \geq n' \geq -0.8) \quad (4.33)$$

$$f(n') = 1.0 \quad n' \geq 0 \quad (4.34)$$

Örtüşen K tipi birleşimler için taşıma gücü değeri Şekil 4.25' de yer almaktadır.



Şekil 4.25 Ağız düzleştirilmiş boru profillerin örtüşen K tipi birleşimleri için taşıma gücü değeri (Wardenier vd., 1991)



Şekil 4.26 Ağız düzleştirilmiş boru profillerin örtüşen K tipi birleşimi (Wardenier vd., 1991)

## 5. KUTU PROFİL BİRLEŞİMLERİNİN TASARIMI

Kutu profil birleşimlerinin tasarımında esas olan, tasarımcının pahalı ve uzun soluklu çalışmalara neden olmayacak birleşim tiplerini seçmesidir. Ağırılıkça minimum kesitlerin seçilerek görünen maliyetin azaltılması, birleşimlerde düğüm noktası levhalarının kullanılması sebebiyle bir anda kazanç olmaktan çıkabilir. Zaman zaman sade bir birleşim elde edebilmek için daha büyük kesitli profillere taşıyıcı konstrüksiyonda yer verilebilir. Optimum tasarım kutu profil birleşimlerine ait temel prensiplerin ve kritik noktaların ışığında gerçekleştirilmelidir.

### 5.1 Kutu Profil Birleşimlerinin Yük Taşıma Kapasitesini Etkileyen Parametreler

Boru profil birleşimlerinde olduğu gibi kutu profil birleşimlerinde de yük taşıma kapasitesi yüklemeye, örgü çubuklarının birleşime gelme açlarına, gerilme dağılışına vb. parametrelere bağlıdır. Genel olarak şu hususların göz önünde tutulması, kutu profil birleşimlerinin optimum tasarımına imkan verecektir.

- Tam örtüşen birleşimler dışında, başlık elemanlarının cidar kalınlığı yüksek seçilmelidir. Yüksek cidar kalınlıklı başlık elemanları, yük akışının örgü çubuğu çevresi boyunca değişimini, bir başka deyişle örgü çubuğu enkesitinde oluşan minimum ile maksimum gerilme arasındaki farkı azaltır. Öte yandan burkulma dayanımı gözetildiğinde, geniş ve ince cidarlı profiller tercih edilmelidir. Başlık elemanı bu iki kriterin optimizasyonu ile belirlenecektir. Uygulamada genellikle cidar kalınlığı yüksek, nispeten dar profiller seçilmektedir.
- Örgü çubukları ince cidarlı seçilmelidir. Yük akışı, başlık elemanı cidar kalınlığının örgü çubuğu cidar kalınlığına oranı arttıkça daha düzgün dağılımlı gerçekleşir. Aynı zamanda düşük cidar kalınlığı düşük kaynak kalınlığı anlamına gelir ki bu durum da daha hızlı kaynak yapılmasını sağlar.
- Örgü çubukları başlık elemanından daha dar olmalıdır. Bu sayede örgü çubuğunu başlık elemanına birleştiren köşe kaynağı için düz bir satıh temin edilebilir.
- Boşluklu birleşimler örtüşen birleşimlere tercih edilmelidir. Bu tercih daha kolay uç hazırlığı ve kaynak teşkiline imkan verir.
- Örtüşen birleşimler teşkil edilecekse minimum %25 örtüşme sağlanmalıdır.


Örtüşmenin %50 mertebesinde olması idealdir.

- Örgü çubuklarının başlık elemanı ile yaptıkları açının  $30^\circ$ ' nin altında olması kaynak yapılması bakımından ciddi zorluklara neden olacağından bu durumdan kaçınılmalıdır. Aksi durum ancak birleşimin dayanımının deney vasıtasıyla belirlenmesi halinde kabul edilebilir.

## 5.2 Kutu Profil Birleşimlerinin Göçme Biçimleri

Bir kutu profil birleşiminin taşıma gücü değeri, boru profil birleşimlerinde olduğu gibi bu birleşimin göçmesine neden olan yükü tarif eden formül ile tespit edilir. Bu formül daha önce ifade edildiği gibi, kritik göçme biçimini esas alır. Kutu profil birleşimlerinde de Bölüm 4.2' de ifade edilen göçme biçimleri gerçekleşebilir. Bu göçme biçimlerinin dışında, başlık elemanında cidar burkulması da kutu profil birleşimlerinde bir göçme biçimi olarak ortaya çıkar.

Başlık elemanında cidar burkulması yalnızca, örgü çubuğu kenar genişliğinin, başlık elemanı kenar genişliğine oranının 0.85 ya da daha büyük olması durumunda gerçekleşir.

Göçme Biçimi	Göçmeye Maruz Kalmış Birleşim
Başlık Elemanında Cidar Burkulması	

Şekil 5.1 Başlık elemanında cidar burkulması (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)

Ancak şunu hemen belirtmek gerekir ki, kutu profil birleşimlerinde başlık elemanı plastikleşmesi ve başlık elemanında kesme zımbalamasına ilave olarak, örgü çubuğu etkin genişlik göçmesi de kritik göçme biçimi olabilir; bir başka deyişle bu üç göçme biçimi taşıma gücü değerinin hesaplanmasına esas olur.

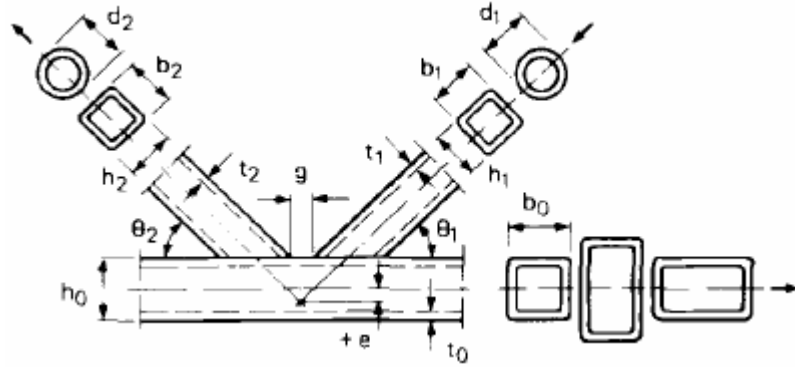
## 5.3 Kutu Profil Birleşimlerinin Taşıma Gücü

Kutu profil birleşimleri Bölüm 4' de olduğu gibi taşıma gücü esas alınarak incelenmiştir. Yani birleşimin belli bir oranda azaltılmış taşıma gücü değerinin, faktörize edilmiş yükten büyük olması prensibi esas alınmıştır (Eşitsizlik 4.1). Bölüm 4.3' de ifade edilen boru profil birleşimlerinin taşıma gücünü olumlu yönde etkileyen hususlar, kutu profil birleşimleri için de

geçerlidir. Birleşim tipleri standart ve özel birleşim tipleri olarak gruplandırılabilir.

### 5.3.1 Kutu Profillerin Tek Düzlemli Kafes Kiriş Birleşimleri

Bu bölümde uygulamada sıkça yer bulan, aksenal yüke maruz tek düzlemli kafes kiriş birleşim tipleri, başlık elemanının kare ya da dikdörtgen kesitli olması durumları için incelenecektir. Ayrıca Şekil 5.2’ de görüldüğü gibi örgü çubuklarının boru profil olması haline ilişkin taşıma gücü değerleri verilecektir. Bazı birleşim tipleri için hızlı ön boyutlamaya imkan veren grafikler vasıtasıyla taşıma gücü değerleri elde edilecektir.



Şekil 5.2 K tipi birleşim (Packer vd., 2000)

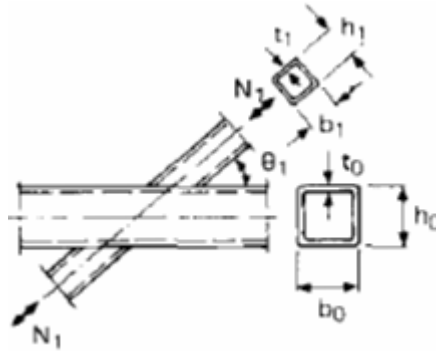
#### 5.3.1.1 T, Y ve X tipi Birleşimler

T, Y ve X tipi birleşimlere ait, farklı göçme biçimlerini esas alan taşıma gücü sınır değerlerini ifade eden formüller Çizelge 5.1’ de verilmiştir. Örgü çubuklarının boru profil olması

durumunda, formüller  $\frac{\pi}{4}$  değeri ile çarpılacak ve  $b_1$  ve  $h_1$  değerleri  $d_1$  (örgü çubuğu çapı)

değeri ile değiştirilecektir. Boru profil birleşimlerine benzer olarak  $\beta$  parametresi  $\frac{b_i}{b_0}$  oranını

ifade etmektedir. Tipik bir X tipi birleşim Şekil 5.3’ de ifade edilmiştir.

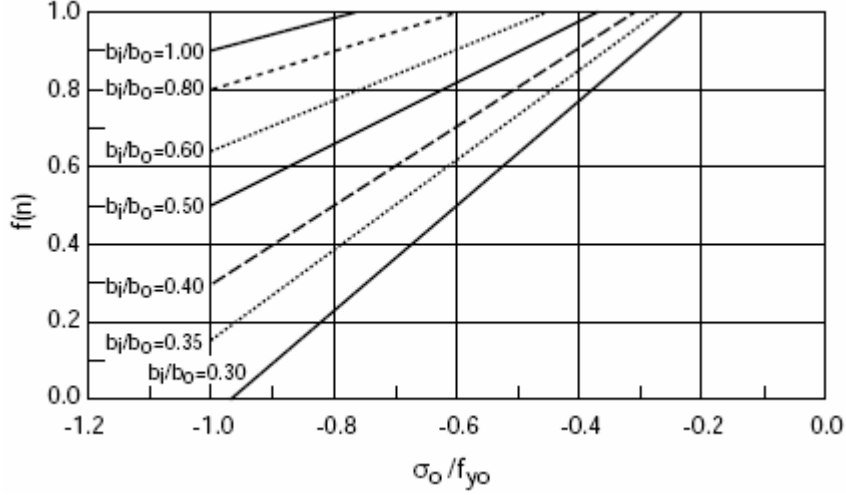


Şekil 5.3 Tipik X tipi birleşim (Packer vd., 2000)

Çizelge 5.1 T, Y ve X tipi birleşimler için taşıma gücü değerleri

Başlık enkesiti	Göçme biçimi	Faktörize edilmiş taşıma gücü değeri
Kare enkesitli kutu profil	Başlık elemanı plastikleşmesi	$\beta \leq 0.85$ için
		$N_1^* = \frac{f_{y0} t_0^2}{(1-\beta) \sin \theta_1} \left[ \frac{2\beta}{\sin \theta_1} + 4(1-\beta)^{0.5} \right] f(n)$ (5.1)
Dikdörtgen enkesitli kutu profil	Başlık elemanı plastikleşmesi	$\beta \leq 0.85$ için
		$N_1^* = \frac{f_{y0} t_0^2}{(1-\beta) \sin \theta_1} \left[ \frac{2h_1}{b_0 \sin \theta_1} + 4(1-\beta)^{0.5} \right] f(n)$ (5.2)
	Başlık elemanı cidar burkulması	$\beta = 1$ için
		$N_1^* = \frac{f_k t_0}{\sin \theta_1} \left[ \frac{2h_1}{\sin \theta_1} + 10t_0 \right]$ (5.3)
	Örgü çubuğu etkin genişlik göçmesi	$\beta > 0.85$ için
		$N_1^* = f_{y1} t_1 [2h_1 - 4t_1 + 2b_e]$ (5.4)
Başlık elemanında kesme zımbalaması		$0.85 \leq \beta \leq 1 - (2t_0 / b_0)$ için
		$N_1^* = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_1} \left[ \frac{2h_1}{\sin \theta_1} + 2b_{ep} \right]$ (5.5)
Başlık elemanında kesme		$\theta_1 < 90^\circ$ ve X-tipi birleşimler için
		$N_1^* = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_1}$ (5.6)

Çizelge 5.1’ de yer alan  $f(n)$ , başlık uç kuvveti fonksiyonu, Şekil 5.4’ de  $\beta$  ve  $n=\sigma_0/f_{y0}$  değerlerine bağlı olarak ifade edilmiştir. Fonksiyonun kesin değeri (5.7) ve (5.8)’ de verilmiştir.



Şekil 5.4 Başlık uç kuvveti fonksiyonu,  $f(n)$  (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)

$$f(n)=1.0 \quad n = \frac{\sigma_0}{f_{y0}} \geq 0 \text{ (başlıkta çekme kuvveti)} \quad (5.7)$$

$$f(n) = \min\left(1.3 + \frac{0.4\sigma_0}{f_{y0}\beta}; 1\right) \quad n < 0 \text{ (başlıkta basınç kuvveti)} \quad (5.8)$$

Yine Çizelge 5.1’ de yer alan  $f_k$ ,  $b_e$ ,  $b_{ep}$  ve  $A_V$  terimleri ve sonraki bölümlerde yer alacak  $b_{e(ov)}$  terimi Çizelge 5.2’ de ifade edilmiştir. Formül 5.12’ de yer alan  $j$  indisi örtülen elemana ait parametreleri belirtmek üzere kullanılmıştır.

Çizelge 5.1’ de yer alan formüller başlık elemanı enkesitinin kare veya dikdörtgen olması durumları için gruplandırılmıştır. Bu tabloda bulunan formüllerin geçerlilik aralığı Çizelge 5.3’ de kare enkesitli başlık elemanları için, Çizelge 5.4’ de ise dikdörtgen enkesitli başlık elemanları için verilmiştir.

Çizelge 5.3’ de (a) ile işaretlenmiş sınırlandırmalara uyulmaması durumunda, kare enkesitli başlık elemanları için de diğer göçme biçimlerini (başlık elemanında kesme, cidar burkulması kesme zımbalaması, örgü elemanı etkin genişliği) esas alan tahkikler yapılmalıdır. Bu tahkikler, Çizelge 5.1’ de dikdörtgen enkesitli başlık elemanları için verilen formüller kullanılarak yapılabilir.



Çizelge 5.2  $f_k$ ,  $f_{kn}$ ,  $b_e$ ,  $b_{ep}$ ,  $A_V$  ve  $\alpha$  değerleri

Terim	Formül
$f_k$	$= f_{y0}$ (Çekme kuvveti) (5.9a)
	$= f_{kn}$ (Basınç kuvveti, T- ve Y- tipi birleşim) (5.9b)
	$= 0.8 \sin \theta_1 f_{kn}$ (Basınç kuvveti, X-tipi birleşim) (5.9c)
$f_{kn}$	3.46( $h_0 t_0 - 2$ )( $1/\sqrt{\sin \theta_1}$ ) değeri narinlik oranı( $\lambda$ ) olmak üzere başlık elemanında oluşan burkulma gerilmesi
$b_e$	$= \min\left(\frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i, b_i\right)$ (5.10)
$b_{ep}$	$= \min\left(\frac{10}{b_0/t_0} b_i, b_i\right)$ (5.11)
$b_{e(ov)}$	$= \min\left(\frac{10}{b_j/t_j} \frac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} b_i, b_i\right)$ (5.12)
$A_V$	$= (2h_0 + \alpha b_0) t_0$ (kutu kesitli örgü çubukları için) (5.13)
	$= 2h_0 t_0$ (boru kesitli örgü çubukları için) (5.14)
$\alpha$	$= \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}}$ (5.15)

Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4' de (b) ile işaretlenmiş sınırlandırmanın sağlanmaması ve  $\frac{g}{b_0} > 1.5(1-\beta)$  olması durumunda, bu birleşim tipi T ya da Y tipi birleşim olarak kabul edilerek hesap yapılır.

Ayrıca tüm birleşim tipleri aşağıdaki şartları sağlamak zorundadır:

- $f_{yi}, f_{yj} \leq 355 \text{ N/mm}^2$
- $\frac{f_{yi}}{f_{ui}} \leq 0.8, \frac{f_{yj}}{f_{uj}} \leq 0.8$

Kutu profil birleşimlerinde de boru profil birleşimlerinde olduğu gibi hızlı ön boyutlamaya imkan veren bazı grafikler oluşturulmuştur. Ancak bu grafikler tüm birleşim tiplerinin, tüm göçme biçimlerini kapsayacak sayıda değildir. Birleşimin verimlilik faktörünü ifade eden bu grafikler, bu grafiklerin kullanılarak taşıma gücü değerinin hesaplandığı sayısal örnekler içerisinde verilmiştir.

❖ Çekme etkisindeki T, Y ve X tipi birleşimlere ait hesap örneği:

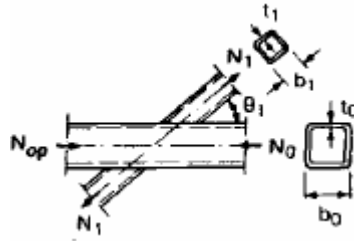
Veriler:

Başlık elemanı: 200x200x8.0,  $A_0 = 6050 \text{ mm}^2$

Örgü elemanı : 100x100x5.0,  $A_1 = 1890 \text{ mm}^2$

$f_{y0} = f_{y1} = 355 \text{ N/mm}^2, \theta_1 = 45^\circ, \sin \theta_1 = 0.707$

$$n = \frac{\sigma_0}{f_{y0}} = -0.48$$



Şekil 5.5 Çekme etkisinde Y tipi birleşim (Packer vd., 2000)

Çizelge 5.3 Başlık elemanının kare enkesitli olması hali için birleşim tiplerine göre ilgili formüllerin geçerlilik aralığı

Birleşim tipi	Birleşim parametreleri (i=1, 2 ve j : örtülen örgü çubuğu)							
	$b_i/b_0$	$b_i/t_i$		$b_0/t_0$	$\frac{(b_1 + b_2)}{2b_1}$	$\frac{b_1}{b_j}, \frac{t_1}{t_j}$	Örtüşme	Dış merkezlik
		Basınc	Çekme					
T, Y, X	$0.25 \leq \beta \leq 0.85$ (a)	$\leq 1.25 \sqrt{\frac{E}{f_{yt}}}$ $\leq 35$	$\leq 35$	$10 \leq \frac{b_0}{t_0} \leq 35$	-	-	-	-
Boşluklu K, N	$\geq 0.1 + 0.01 \frac{b_0}{t_0}$ $\beta \geq 0.35$	$\leq 1.1 \sqrt{\frac{E}{f_{yt}}}$	$\leq 35$	$15 \leq \frac{b_0}{t_0} \leq 35$ (a)	$b_1 \geq 0.77 \frac{b_1 + b_2}{2}$ (a)	-	$0.5(1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1.5(1 - \beta)$ (b) $g \geq t_2 + t_2$	$-0.55 \leq \frac{e}{h_0} \leq 0.25$
Örtüşen K, N	$\geq 0.25$	$\leq 1.1 \sqrt{\frac{E}{f_{yt}}}$		$\frac{b_0}{t_0} \leq 40$	-	$\frac{b_1}{b_j} \leq 1.0$ $\frac{t_1}{t_j} \leq 0.75$	$\%25 \leq O_v \leq \%100$	
Boru örgü çubukları	$0.4 \leq \frac{d_1}{b_0} \leq 0.8$	$\frac{d_1}{t_1} \leq 1.5 \sqrt{\frac{E}{f_{yt}}}$	$\frac{d_2}{t_2} \leq 50$	Yukarıda ifade edilen sınırlamalar $d_f=b_1$ olmak koşuluyla aynen geçerlidir.				

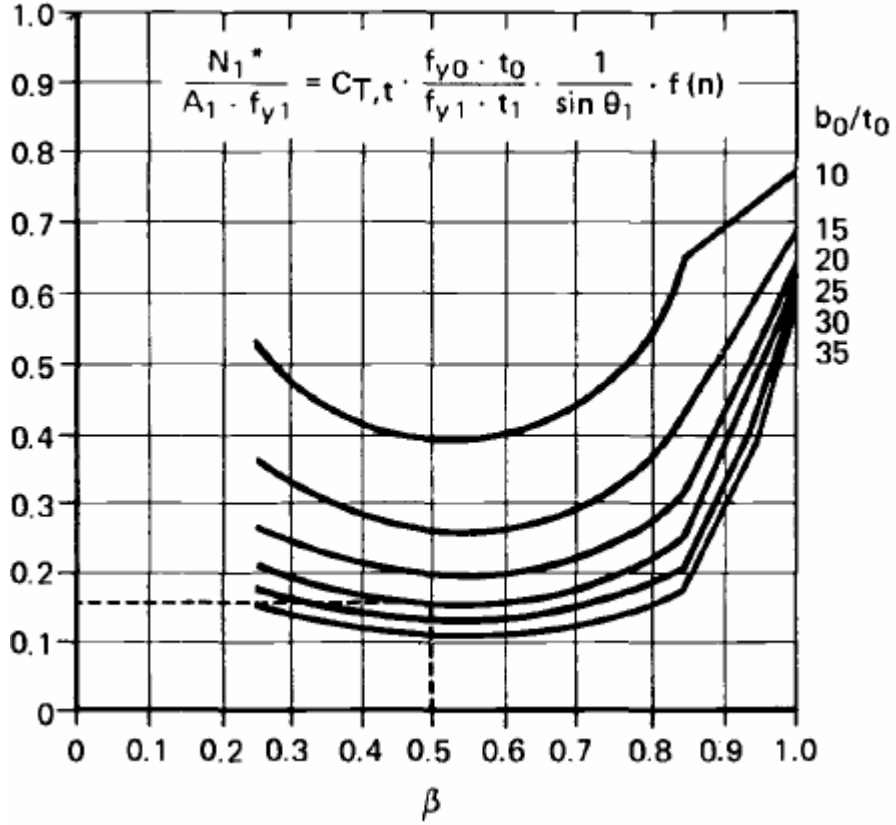
Çizelge 5.4 Başlık elemanının dikdörtgen enkesitli olması hali için birleşim tiplerine göre ilgili formüllerin geçerlilik aralığı

Birleşim tipi	Birleşim parametreleri (i=1, 2 ve j : örtülen örgü çubuğu)						Dış merkezlik
	$b_i/b_0$ $h_i/h_0$	$b_i/t_i, h_i/t_i, d_i/t_i$		$h_i/b_i$	$\frac{b_0}{t_0}, \frac{h_0}{t_0}$	Örtüşme	
		Basınç	Çekme				
T, Y, X	$\geq 0.25$				$\leq 35$	-	-
Boşluklu K, N	$\geq 0.1 + 0.01 \frac{b_0}{t_0}$ $\beta \geq 0.35$	$\leq 1.25 \sqrt{\frac{E}{f_{y1}}}$ $\leq 35$	$\leq 35$	$0.5 \leq \frac{h_i}{b_i} \leq 2$	$0.5(1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1.5(1 - \beta)$ (b) $g \geq t_2 + t_2$	$0.25 \leq O_v \leq 100$ $\frac{t_i}{t_j} \leq 1.0, \frac{b_i}{b_j} \geq 0.75$	$-0.55 \leq \frac{e}{h_0} \leq 0.25$
	$\geq 0.25$	$\leq 1.1 \sqrt{\frac{E}{f_{y1}}}$			$\leq 40$		
Boru örgü çubukları	$0.4 \leq \frac{d_i}{b_0} \leq 0.8$	$\leq 1.5 \sqrt{\frac{E}{f_{y1}}}$	$\leq 50$	Yukarıda ifade edilen sınırlamalar $d_i=b_i$ olmak koşuluyla aynen geçerlidir.			

Birleşimin verimliliği:

$$0.25 \leq \beta = \frac{100}{200} = 0.5 \leq 1.0, \quad \frac{b_0}{t_0} = \frac{200}{8} = 25 \leq 35, \quad \frac{b_1}{t_1} = \frac{100}{5.0} = 20 \leq 35, \quad f_{yi} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$30^\circ \leq \theta_1 = 45^\circ \leq 90^\circ$  bulunarak birleşimin Tablo 5.3' de verilen geçerlilik şartlarını sağladığı görülür.



Şekil 5.6 Çekme etkisinde bulunan T, Y ve X tipi birleşimlere ait verimlilik faktörü,  $C_{T,t}$  (Packer vd., 2000)

Çekme etkisinde bulunan T, Y ve X tipi birleşimlere ait verimlilik faktörü,  $C_{T,t}$ , Şekil 5.6' da verilmiştir. Şekil 5.6' da ifade edilen grafikten  $\beta$  ve  $b_0/t_0$  oranına bağlı olarak verim faktörünün 0.16 değeri okunur. Başlık uç kuvveti fonksiyonu  $f(n)$  ise Formül 5.8 kullanılarak,

$$f(n) = \min\left(1.3 + \frac{0.4x(-0.48)}{0.5}; 1\right) \Rightarrow f(n) = 0.916$$

bulunur. Bu değerler Şekil 5.6' da yer alan birleşimin verimliliği formülünde yerine konularak,

$$\frac{N_1^*}{A_1 f_{y1}} = 0.16 \frac{355 \times 8.0}{355 \times 5.0} \frac{1}{0.707} 0.916 \cong 0.33$$

bulunur. Faktörize edilmiş taşıma gücü değeri ise,

$$N_1^* = 0.33 \times 1890 \times 0.355 = 224 \text{ kN}$$

bulunur.

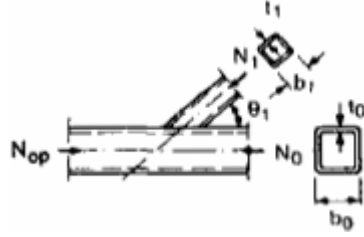
❖ Basınç etkisindeki T ve Y tipi birleşimlere ait hesap örneği:

Veriler:

Başlık elemanı: 100x100x8.0,  $A_0 = 2910 \text{ mm}^2$

Örgü elemanı : 100x100x5.0,  $A_1 = 1890 \text{ mm}^2$

$$f_{y0} = f_{y1} = 355 \text{ N/mm}^2, \theta_1 = 90^\circ, \sin \theta_1 = 1.0 \quad n = \frac{\sigma_0}{f_{y0}} = -0.6$$



Şekil 5.7 Basınç etkisinde Y tipi birleşim (Packer vd., 2000)

Birleşimin verimliliği:

$$0.25 \leq \beta = \frac{100}{100} = 1.0 \leq 1.0, \quad \frac{b_0}{t_0} = \frac{100}{8} = 12.5 \leq 35, \quad \frac{b_1}{t_1} = \frac{100}{5.0} = 20 \leq 1.25 \sqrt{\frac{210000}{355}} \cong 30,$$

$f_{yi} = 355 \text{ N/mm}^2, \theta_1 = 90^\circ$  bulunarak birleşimin Çizelge 5.3' de verilen geçerlilik şartlarını sağladığı görülür.

Basınç etkisinde bulunan T ve Y tipi birleşimlere ait verimlilik faktörü,  $C_{T,c}$ , Şekil 5.8' de verilmiştir. Şekil 5.8' de ifade edilen grafikten  $\beta$  ve  $b_0/t_0$  oranına bağlı olarak verim faktörünün 0.68 değeri okunur. Başlık uç kuvveti fonksiyonu  $f(n)$  ise Formül 5.8 kullanılarak,

$$f(n) = \min\left(1.3 + \frac{0.4 \times (-0.6)}{1.0}, 1\right) \Rightarrow f(n) = 1.0$$

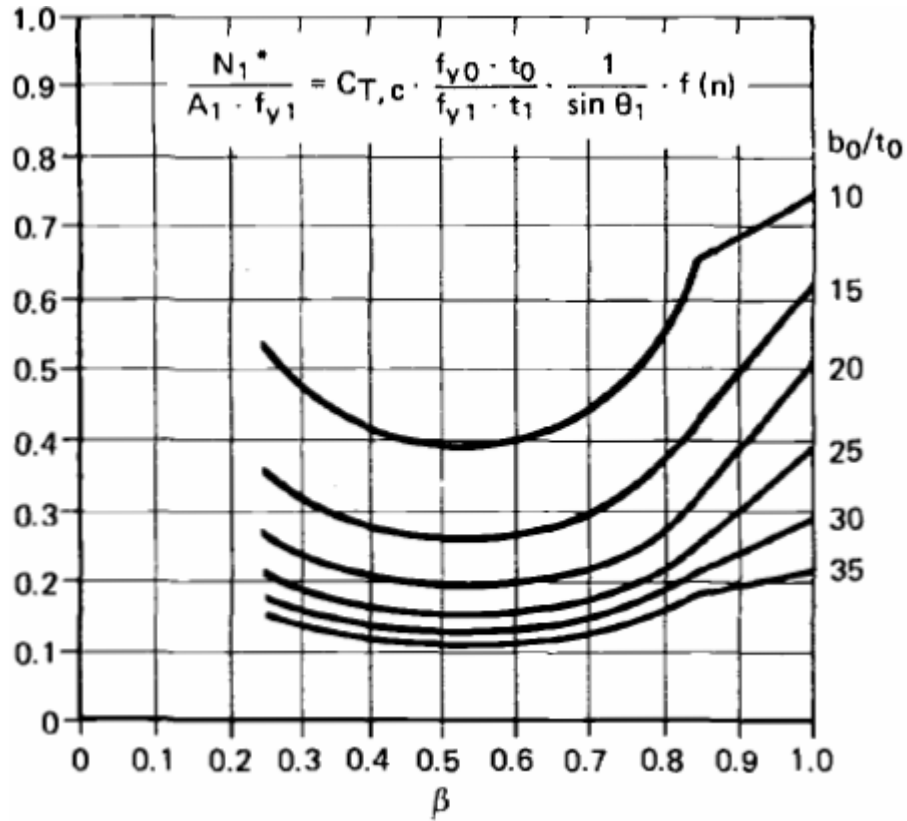
bulunur. Bu değerler Şekil 5.8' de yer alan birleşimin verimliliği formülünde yerine konularak,

$$\frac{N_1^*}{A_1 f_{y1}} = 0.82 \frac{355 \times 8.0}{355 \times 5.0} \frac{1}{1.0} \cong 1.09$$

bulunur. Faktörize edilmiş taşıma gücü değeri ise,

$$N_1^* = 1.0 \times 1890 \times 0.355 \cong 671 \text{ kN}$$

bulunur.



Şekil 5.8 Basınç etkisinde bulunan T ve Y tipi birleşimlere ait verimlilik faktörü,  $C_{T,c}$  (Packer vd., 2000)

❖ Basınç etkisindeki X tipi birleşimlere ait hesap örneği:

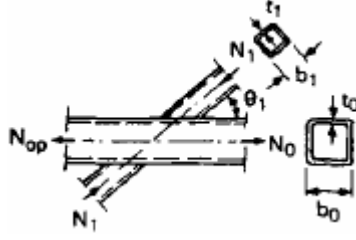
Veriler:

Başlık elemanı : 150x150x10.0,  $A_0 = 5450 \text{ mm}^2$

Örgü elemanları : 140x140x8.0,  $A_1 = 4130 \text{ mm}^2$

$f_{y0} = f_{y1} = 355 \text{ N/mm}^2$ ,  $\theta_1 = 30^\circ$ ,  $\sin \theta_1 = 0.5$

$$n = \frac{\sigma_0}{f_{y0}} = 0.38$$

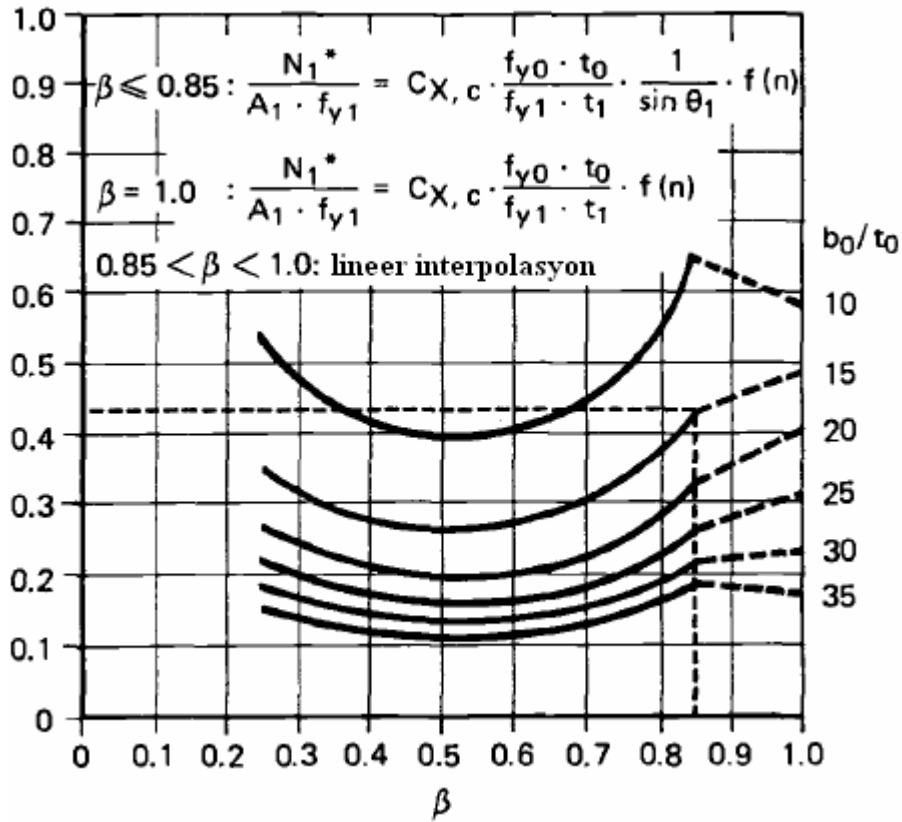


Şekil 5.9 Basınç etkisinde X tipi birleşim (Packer vd., 2000)

Birleşimin verimliliği:

$$0.25 \leq \beta = \frac{140}{150} \cong 0.93 \leq 1.0, \quad \frac{b_0}{t_0} = \frac{150}{10.0} = 15 \leq 35, \quad \frac{b_1}{t_1} = \frac{140}{8.0} = 17.5 \leq 1.25 \sqrt{\frac{210000}{355}} \cong 30,$$

$f_{yi} = 355 \text{ N/mm}^2$ ,  $30^\circ \leq \theta_1 = 30^\circ \leq 90^\circ$  bulunarak birleşimin Tablo 5.3' de verilen geçerlilik şartlarını sağladığı görülür.



Şekil 5.10 Basınç etkisinde bulunan X tipi birleşimlere ait verimlilik faktörü,  $C_{X,c}$  (Packer vd., 2000)



Basınç etkisinde bulunan X tipi birleşimlere ait verimlilik faktörü,  $C_{X,c}$ , Şekil 5.10' da verilmiştir. Şekil 5.10' da ifade edilen grafikten  $\beta$  ve  $b_0/t_0$  oranına bağlı olarak verim faktörünün 0.43 ve 0.49 değerleri. Verim faktörü,  $\beta$  oranı 0.85' den büyük olduğu için iki değer alır. Birleşimin verimliliği bu iki değer için ayrı ayrı hesaplanacak, bulunan değerler arasında lineer interpolasyon yapılacaktır. Başlık uç kuvveti fonksiyonu  $f(n)$  ise Formül 5.7' ye göre 1 değerini alır. Bu değerler Şekil 5.10' da yer alan birleşimin verimliliği formüllerinde yerine konularak,

$$\left( \frac{N_1^*}{A_1 f_{y1}} \right)_{\beta=0.85} = 0.43 \frac{355 \times 10.0}{355 \times 8.0} \frac{1}{0.5} 1.0 \cong 1.08$$

$$\left( \frac{N_1^*}{A_1 f_{y1}} \right)_{\beta=1.0} = 0.49 \frac{355 \times 10.0}{355 \times 8.0} 1.0 \cong 0.61$$

bulunur. Ancak boru profil birleşimlerinde olduğu gibi verimlilik faktörü sadece başlık elemanı plastikleşmesi göçme biçimini esas alan taşıma gücü değerini vermek üzere kullanılabilir. Bu nedenle Tablo 5.1' e göre  $\beta$  oranının 1' den daha büyük değerler alması durumunda, diğer göçme biçimlerini esas alan taşıma gücü değerleri de hesaplanmalı ve minimum taşıma gücü değeri bulunmalıdır.

❖ T, Y ve X tipi birleşimlere ait örgü çubuğu etkin genişlik göçme biçimini esas alan hesap örneği:

Veriler:

Başlık elemanı : 100x100x8.0,  $A_0 = 2910 \text{ mm}^2$

Örgü elemanları : 100x100x5.0,  $A_1 = 1890 \text{ mm}^2$

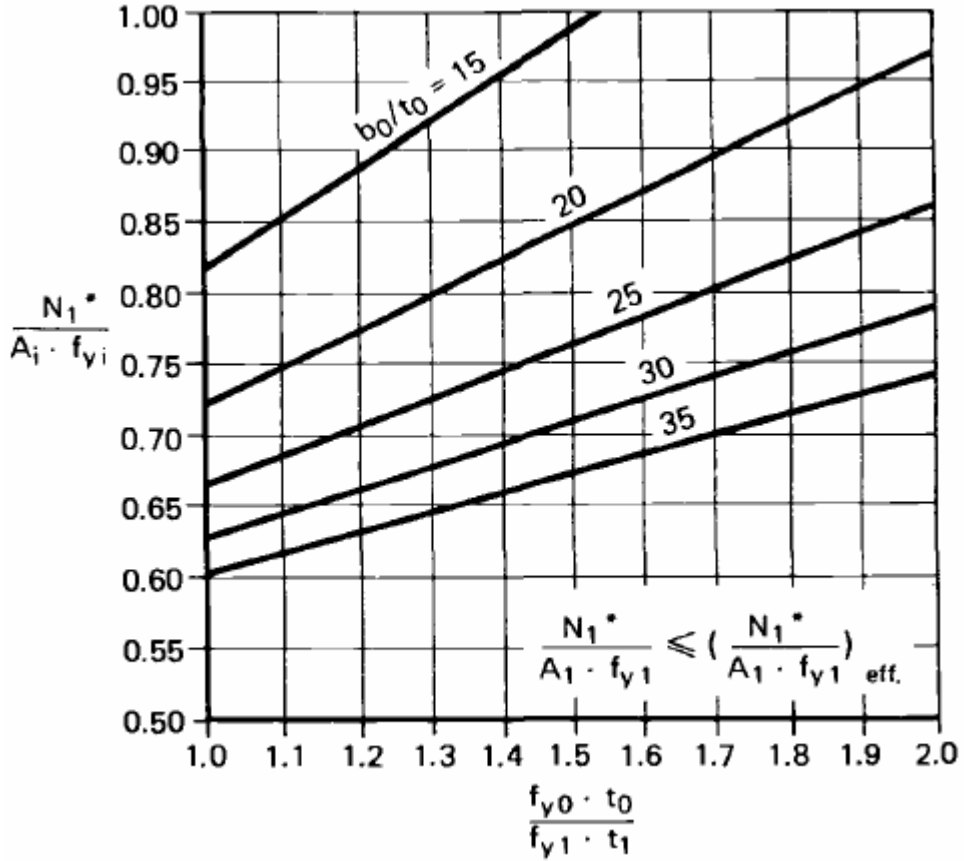
$f_{y0} = f_{y1} = 355 \text{ N/mm}^2$ ,  $\theta_1 = 90^\circ$ ,  $\sin \theta_1 = 1.0$

Birleşimin verimliliği:

$$0.25 \leq \beta = \frac{100}{100} = 1.0 \leq 1.0, \quad \frac{b_0}{t_0} = \frac{100}{8} = 12.5 \leq 35, \quad \frac{b_1}{t_1} = \frac{100}{5.0} = 20 \leq 1.25 \sqrt{\frac{210000}{355}} \cong 30,$$

$f_{y_i} = 355 \text{ N/mm}^2$ ,  $30^\circ \leq \theta_1 = 90^\circ \leq 90^\circ$  bulunarak birleşimin Çizelge 5.3' de verilen geçerlilik şartlarını sağladığı görülür.

T, Y ve X tipi birleşimlere ait örgü çubuğu etkin genişlik göçme biçimini esas alan taşıma gücü değeri  $b_0/t_0$  ve  $(f_{y_0}t_0)/(f_{y_1}t_1)$  oranlarına bağlı olarak Şekil 5.11' de verilmiştir. Birleşimin verimliliği,  $b_0/t_0 = 12.5$  ve  $(f_{y_0}t_0)/(f_{y_1}t_1) = (355 \times 8.0)/(355 \times 5) = 1.6$  değerleri için 1.0 değerini alır. Bu durum, bu birleşim için kritik göçme biçiminin, örgü çubuğu etkin genişlik göçme biçimi olmayacağı anlamına gelir.



Şekil 5.11 T, Y ve X tipi birleşimler için örgü çubuğu etkin genişlik göçme biçimini esas alan birleşim verimlilik grafiği (Packer vd., 2000)

### 5.3.1.2 Boşluklu K ve N tipi Birleşimler

Bu tip birleşimler kutu profil birleşimlerinin en çok kullanılanlarıdır. Bu noktaya kadar incelenen birleşim tiplerinde olduğu gibi başlık elemanı plastikleşmesi göçme biçimi, bu birleşim tipi için de taşıma gücüne esas göçme biçimidir. Özellikle 0,6 ~ 0,8 aralığında yer alan  $\beta$  değerleri için bu göçme biçimi daha sık görülür. Bu durum aynı zaman da başlık elemanında kesme zımbalaması göçme biçiminin de sıkça görüldüğü geometrik koşul olarak belirir. Örgü elemanı ile başlık elemanının genişliklerinin aynı olması durumunda başlık

elemanı cidar burkulması göçme biçiminin gerçekleşme olasılığı artar. Özellikle dikdörtgen enkesitli başlık elemanlarının dar kenarının örgü elemanlarına kaynaklanması bu göçme biçiminin kritik hale gelmesine neden olur.

Boşluklu K ve N tipi birleşimler, T,Y ve X tipi birleşimler gibi başlık elemanının kare ya da dikdörtgen enkesitli olmasına göre taşıma gücü değerine esas olabilecek göçme biçimi sayısı bakımından farklılık gösterir. Bu nedenle gereğinden fazla tahkikten kaçınmak maksadıyla bu birleşim tipi için de gerekli taşıma gücü formülleri başlık elemanı enkesitine göre gruplandırılmıştır. Boşluklu K ve N tipi birleşimler için taşıma gücü değerleri her iki başlık enkesiti tipi için Çizelge 5.5’ de verilen formüllerde ifade edilmiştir. Bu formüllerin geçerlilik aralığı Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’ de yer almaktadır.

Çizelge 5.5’ de yer alan Formül 5.21, başlık elemanında boşluk bölgesinde oluşan kesme kuvvetinin etkisini göz önüne almaktadır. Formülde bulunan  $V$  ve  $V_p$  terimleri sırasıyla başlık elemanı boşluk bölgesinde oluşan kesme kuvveti ve başlık elemanı kesme kapasitesine karşılık gelmektedir. Çizelge 5.5’ de bulunan diğer bazı terimler Çizelge 5.2’ de açıklanmıştır.

❖ Kare enkesitli başlık elemanı için boşluklu K tipi birleşime ait hesap örneği:

Veriler:

Başlık elemanı : 200x200x10.0,  $A_0 = 7450 \text{ mm}^2$

Örgü elemanı (Basınç) : 150x150x8.0,  $A_1 = 4450 \text{ mm}^2$

Örgü elemanı (Çekme) : 140x140x8.0,  $A_2 = 4130 \text{ mm}^2$

$f_{y0} = f_{y1} = f_{y2} = 355 \text{ N/mm}^2$ ,  $\theta_1 = \theta_2 = 45^\circ$ ,  $\sin \theta_1 = \sin \theta_2 = 0.707$

$n = \frac{\sigma_0}{f_{y0}} = -0.8$ ,  $g=75 \text{ mm}$  (boşluk),  $\frac{e}{h_0} = 0.2$

Birleşimin verimliliği:

$0.35 \leq \beta_1 = \frac{140}{200} = 0.7 \leq 1.0$ ,  $0.35 \leq \beta_2 = \frac{150}{200} = 0.75 \leq 1.0$ ,

Çizelge 5.5 Boşluklu K ve N tipi birleşimler için taşıma gücü değerleri

Başlık enkesiti	Göçme biçimi	Faktörize edilmiş taşıma gücü değeri
Kare enkesitli kutu profil	Başlık elemanı plastikleşmesi	$\beta \leq 1.0$ için
		$N_i^* = 6.3 \frac{f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_i} \frac{\sqrt{b_0}}{\sqrt{t_0}} \left[ \frac{b_1 + b_2}{2b_0} \right] f(n)$ (5.16)
Dikdörtgen enkesitli kutu profil	Başlık elemanı plastikleşmesi	-
		$N_i^* = 6.3 \frac{f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_i} \frac{\sqrt{b_0}}{\sqrt{t_0}} \left[ \frac{b_1 + h_1 + b_2 + h_2}{2b_0} \right] f(n)$ (5.17)
	Örgü çubuğu etkin genişlik göçmesi	-
		$N_i^* = f_{yi} t_i [2h_i - 4t_i + b_i + b_e]$ (5.18)
Başlık elemanında kesme zımbalaması	Başlık elemanında kesme zımbalaması	$\beta \leq 1 - (2t_0 / b_0)$ için
		$N_i^* = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \left[ \frac{2h_i}{\sin \theta_i} + b_i + b_{ep} \right]$ (5.19)
Başlık elemanında kesme	Başlık elemanında kesme	-
		$N_i^* = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \quad (5.20)$ $N_i^* \leq (A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \left[ 1 - \left( \frac{V}{V_p} \right)^2 \right]^{0.5}$ (5.21)

$$\frac{b_{1,2}}{b_0} = \frac{8}{10} = 0.8 \geq 0.1 + 0.01 \frac{200}{10} = 0.2, \quad 15 \leq \frac{b_0}{t_0} = \frac{200}{8} = 25 \leq 35, \quad f_{y_i} = 355 \text{ N/mm}^2$$

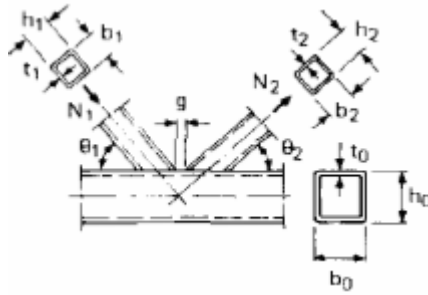
$$\frac{b_1}{t_1} = \frac{150}{8.0} = 18.75 \leq 1.25 \sqrt{\frac{210000}{355}} \cong 30, \quad \frac{b_2}{t_2} = \frac{140}{8.0} = 17.5 \leq 1.25 \sqrt{\frac{210000}{355}} \cong 30,$$

$$b_1 = 150, b_2 = 140 \geq 0.77 \frac{140 + 150}{2} \cong 112,$$

$$0.5(1 - 0.7) = 0.15 \leq \frac{g}{b_0} = \frac{75}{200} = 0.375 \leq 1.5(1 - 0.75) = 0.3125, \quad g = 75 \geq t_1 + t_2 = 8 + 8 = 16$$

$$-0.55 \leq \frac{e}{h_0} = \frac{40}{200} = 0.2 \leq 0.25, \quad 30^\circ \leq \theta_1 = \theta_2 = 45^\circ \leq 90^\circ$$

bulunarak birleşimin Çizelge 5.3' de verilen geçerlilik şartlarını sağladığı görülür.



Şekil 5.12 Hesap örneği için boşluklu K tipi birleşim (Packer vd., 2000)

Boşluklu K tipi birleşimlere ait verimlilik faktörü,  $C_{K,g}$ , Şekil 5.13' de verilmiştir. Şekil 5.13'

de ifade edilen grafikten  $\frac{b_0}{t_0} = \frac{200}{10} = 20$  ve  $\frac{b_1 + b_2}{2b_1} = \frac{150 + 140}{150} = 0.97$  değerleri için verim

faktörünü 0.35 değerini alır. Başlık uç kuvveti fonksiyonu  $f(n)$  ise Formül 5.8 kullanılarak,

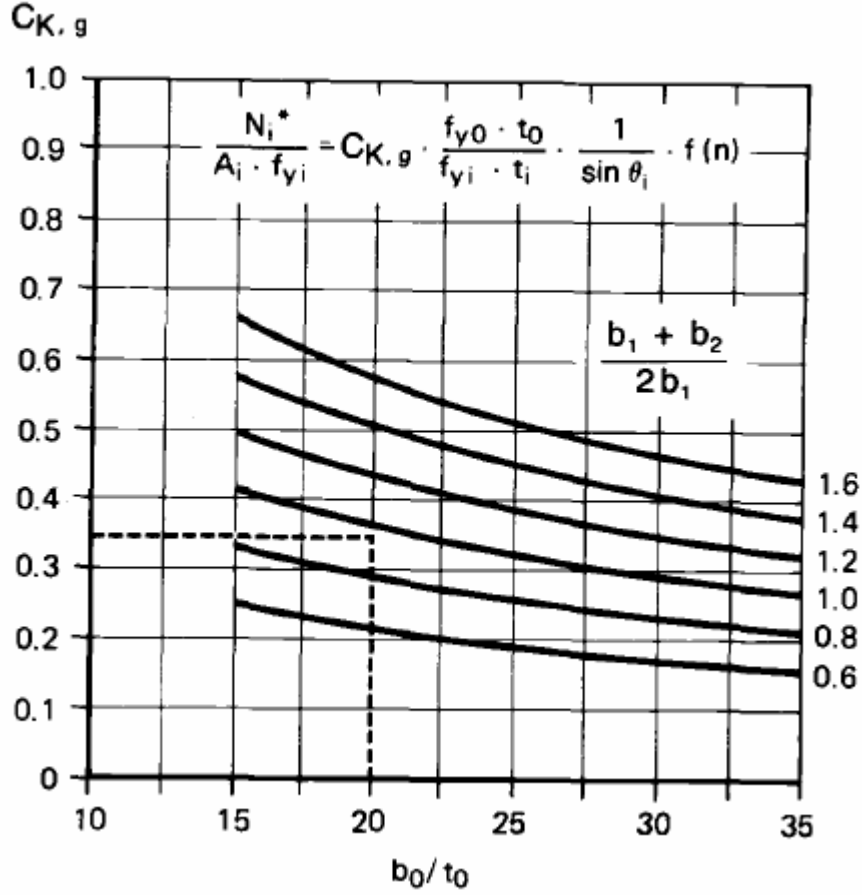
$$f(n) = \min\left(1.3 + \frac{0.4x(-0.8)}{0.725}; 1\right) \Rightarrow f(n) = 0.86$$

bulunur. Bu değerler Şekil 5.13' de yer alan birleşimin verimliliği formülünde yerine konularak 1. ve 2. örgü çubukları için birleşimin verimliliği,

$$\frac{N_1^*}{A_1 f_{y1}} = 0.35 \frac{355 \times 10.0}{355 \times 8.0} \frac{1}{0.707} 0.86 \cong 0.53$$

$$\frac{N_2^*}{A_2 f_{y2}} = \frac{N_1^* \sin \theta_1}{A_2 f_{y2} \sin \theta_2} = \frac{0.53 \times 355 \times 4450 \times 0.707}{4130 \times 355 \times 0.707} \cong 0.57$$

bulunur.

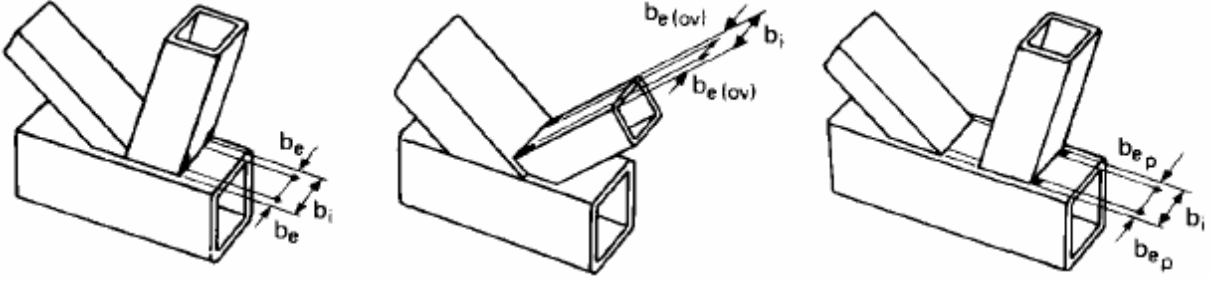


Şekil 5.13 Boşluklu K tipi birleşimlere ait verimlilik grafiği,  $C_{K.g}$  (Packer vd., 2000)

Örgü çubuklarının boru profil olması durumunda, T, Y ve X tipi birleşimlere benzer olarak Çizelge 5.5' deki formüller  $\frac{\pi}{4}$  değeri ile çarpılacak ve  $b_1$  ve  $h_1$  değerleri  $d_1$  ve  $d_2$  (örgü çubuğu çapı) değerleri ile değiştirilecektir. Örtüşen K ve N tipi birleşimler için de durum benzerdir. Boşluklu ve örtüşen K ve N tipi birleşimlere ait taşıma gücü formüllerinde kullanılan  $b_i$ ,  $b_e$ ,  $b_p$  ve  $b_{ov}$  büyüklükleri Şekil 5.14'de ifade edilmiştir.

### 5.3.1.3 Örtüşen K ve N tipi Birleşimler

Örgü elemanında yerel burkulma göçme biçimi ağırlıklı olarak örtüşen K ve N tipi birleşim tipinde görülür. Bu birleşim tipinde örtüşme miktarı birleşimin taşıma gücü değeri üzerinde



Şekil 5.14  $b_i$ ,  $b_e$ ,  $b_{ov}$  ve  $b_p$  büyüklüklerinin fiziksel anlatımı (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)

önemli rol oynar. Örtüşme değerinin en az %25 olması gereklidir. Birleşimin dayanımı, örtüşme değeri %25' i aştıkça lineer olarak artar, %50 ile %80 arasındaki örtüşme değerleri için ise sabit olduğu söylenebilir. Bu tip birleşimlerde önceki birleşim tiplerinden farklı olarak taşıma gücü değeri başlık elemanı enkesitine bağlı olarak değişmez. Taşıma gücü değerini veren formüller Çizelge 5.6' da verilmiştir.

Çizelge 5.6 Örtüşen K ve N tipi birleşimler için taşıma gücü değerleri

Başlık enkesiti	Göçme biçimi	Faktörize edilmiş taşıma gücü değeri
Kare ve dikdörtgen enkesitli kutu profil	Örgü çubuğu etkin genişlik göçmesi	$\%25 \leq O_v \leq \%50$
		$N_i^* = f_{yi} t_i \left[ \left( \frac{O_v}{50} \right) (2h_i - 4t_i) + b_e + b_{e(O_v)} \right]$ (5.22)
		$\%50 \leq O_v \leq \%80$
		$N_i^* = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + b_e + b_{e(O_v)})$ (5.23)
		$\%80 \leq O_v$
		$N_i^* = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + b_i + b_{e(O_v)})$ (5.24)

Bu tip birleşimlerde %80' e kadar örtüşme kısmi, %80' i aşan örtüşme ise tam örtüşme olarak isimlendirilir. Örtüşen K ve N tipi birleşimlerde sadece örten örgü çubuğu esas alınarak birleşimin dayanımı hesaplanır, buna karşın örtülen elemanın birleşime aktarabileceği kuvvet bu değeri aşamaz. Kısmi ve tam örtüşen iki kutu profil birleşimi için hesap örnekleri aşağıda verilmiştir.

❖ Kare enkesitli başlık elemanı için kısmi örtüşen K tipi birleşime ait hesap örneği:

Veriler:

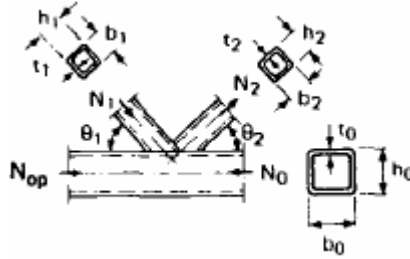
Başlık elemanı : 200x200x10.0,  $A_0 = 7450 \text{ mm}^2$

Örgü elemanı (Basınç) : 150x150x8.0,  $A_1 = 4450 \text{ mm}^2$  (Örtülen eleman, j indisi)

Örgü elemanı (Çekme) : 140x140x8.0,  $A_2 = 4130 \text{ mm}^2$  (Örten eleman, i indisi)

$f_{y0} = f_{y1} = f_{y2} = 355 \text{ N/mm}^2$ ,  $\theta_1 = \theta_2 = 45^\circ$ ,  $\sin \theta_1 = \sin \theta_2 = 0.707$

$g = -125 \text{ mm}$ ,  $q=125 \text{ mm}$  (boşluk),  $\frac{e}{h_0} = -0.3$



Şekil 5.15 Hesap örneği için kısmi örtüşen K tipi birleşim (Packer vd., 2000)

Birleşimin verimliliği:

Kısmi örtüşen K tipi birleşimlerin grafikte taşıma gücü değeri hesabı için geçerlilik aralıkları Tablo 5.3' de verilen koşullardan farklıdır. Bu tip birleşimler için geçerlilik aralığı koşulları aşağıda sıralanmıştır.

$$\%50 \leq O_v = \frac{q}{p} 100 = \frac{125}{140 / \sin 45^\circ} 100 \cong 63 \leq 100, \quad \frac{b_i}{b_j} = \frac{140}{150} \cong 0.93 \geq 0.75,$$



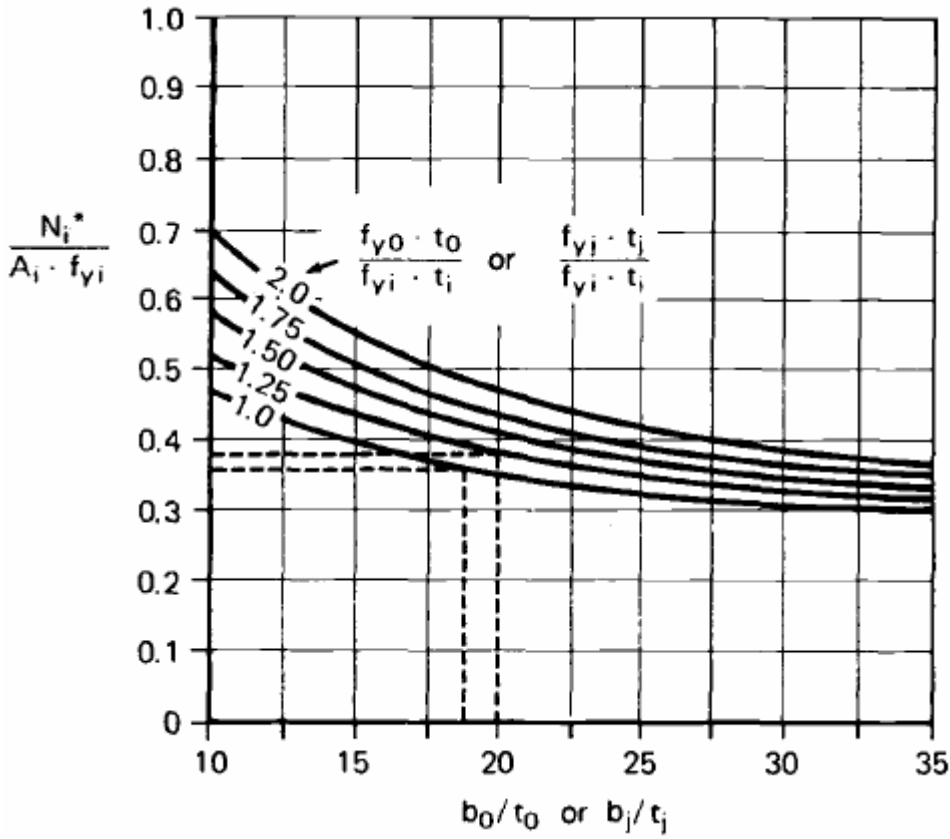
$$\frac{t_i}{t_j} = \frac{8.0}{8.0} = 1.0 \geq 1.0, \quad \frac{b_0}{t_0} = \frac{200}{10} = 20 \leq 40, \quad \frac{b_2}{t_2} = \frac{140}{8} = 17.5 \leq 35,$$

$$\frac{b_1}{t_1} = \frac{150}{8} = 18.75 \leq 1.1 \sqrt{\frac{E}{f_{y1}}} = 1.1 \sqrt{\frac{210000}{355}} \cong 26.75,$$

$$\frac{b_1}{b_0} = \frac{150}{200} = 0.75, \quad \frac{b_2}{b_0} = \frac{140}{200} = 0.70 \geq 0.25, \quad f_{y0} = f_{y1} = f_{y2} = 355 \text{ N/mm}^2 \leq f_{yi} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$-0.55 \leq \frac{e}{h_0} = \frac{-60}{200} = -0.3 \leq 0.25, \quad 30^\circ \leq \theta_1 = \theta_2 = 45^\circ \leq 90^\circ$$

Yukarıda da görüldüğü gibi geçerlilik aralığı koşulları sağlanmaktadır.



Şekil 5.16 Kısmi örtüşen K tipi birleşimler için örgü çubuğu etkin genişlik göçme biçimini esas alan birleşim verimlilik grafiği (Packer vd., 2000)

Şekil 5.16' da verilen, örgü çubuğu etkin genişlik göçme biçimi için birleşimin verimlilik grafiğinden faydalanılarak birleşimin verimliliği aşağıda hesaplanmıştır.

$b_0/t_0=20$  ve  $(f_{y0}t_0)/(f_{yi}t_i)=1.25$  için verimlilik değeri 0.38;  $b_j/t_j=18.75$  ve  $(f_{yj}t_j)/(f_{yi}t_i)=1.0$  için verimlilik değeri 0.36 olarak elde edilir. Toplam verimlilik ve taşıma gücü değeri sırasıyla;

$$\frac{N_i^*}{A_i f_{yi}} = 0.36 + 0.38 = 0.74 \text{ ve } N_i^* = 0.74 \times 355 \times 4130 \times 10^{-3} \cong 1085 \text{ kN}$$

bulunur.

❖ Kare enkesitli başlık elemanı için tam örtüşen K tipi birleşime ait hesap örneği:

Veriler:

Başlık elemanı : 200x200x10.0,  $A_0 = 7450 \text{ mm}^2$

Örgü elemanı (Basınç) : 150x150x8.0,  $A_1 = 4450 \text{ mm}^2$  (Örtülen eleman, j indisi)

Örgü elemanı (Çekme) : 140x140x8.0,  $A_2 = 4130 \text{ mm}^2$  (Örten eleman, i indisi)

$f_{y0} = f_{y1} = f_{y2} = 355 \text{ N/mm}^2$ ,  $\theta_1 = \theta_2 = 45^\circ$ ,  $\sin \theta_1 = \sin \theta_2 = 0.707$

$g = -165 \text{ mm}$ ,  $q = 165 \text{ mm}$  (boşluk),  $\frac{e}{h_0} = -0.4$

Birleşimin verimliliği:

Tam örtüşen K tipi birleşimler için geçerlilik aralığı koşulları aşağıda sıralanmıştır.

$$\%80 \leq O_v = \frac{q}{p} 100 = \frac{165}{140 / \sin 45^\circ} 100 \cong 83 \leq 100,$$

$$\frac{b_i}{b_j} = \frac{140}{150} \cong 0.93 \geq 0.75,$$

$$\frac{t_i}{t_j} = \frac{8.0}{8.0} = 1.0 \geq 1.0,$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{200}{10} = 20 \leq 40,$$

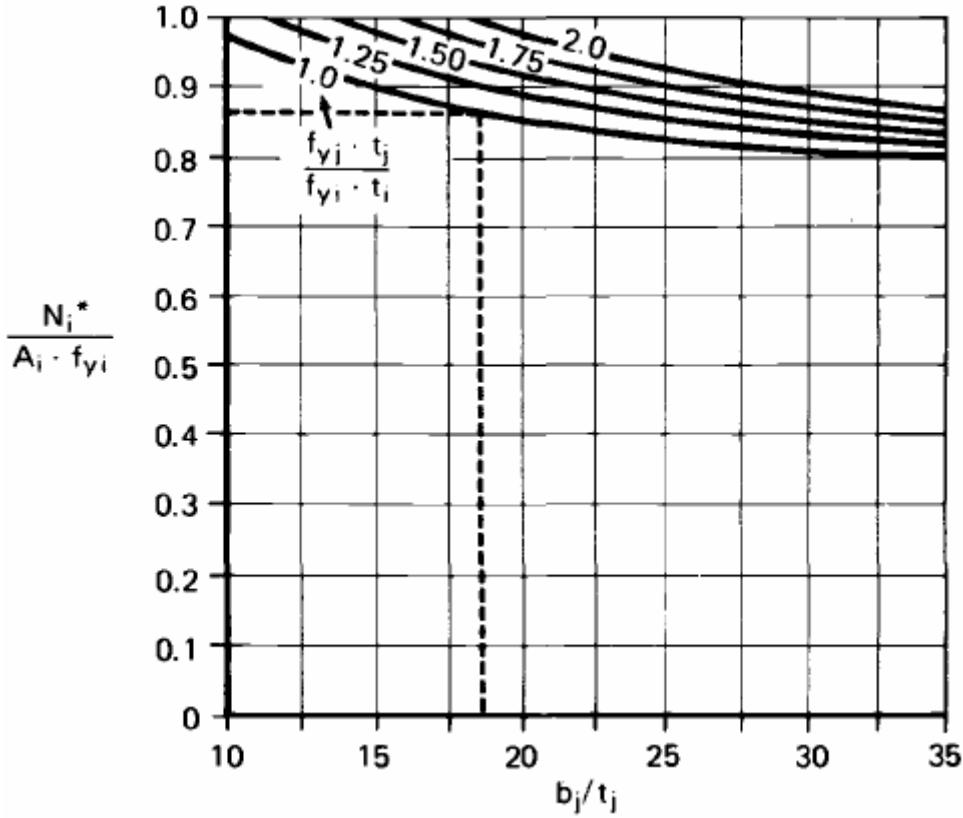
$$\frac{b_2}{t_2} = \frac{140}{8} = 17.5 \leq 35,$$

$$\frac{b_1}{t_1} = \frac{150}{8} = 18.75 \leq 1.1 \sqrt{\frac{E}{f_{y1}}} = 1.1 \sqrt{\frac{210000}{355}} \cong 26.75,$$

$$\frac{b_1}{b_0} = \frac{150}{200} = 0.75, \frac{b_2}{b_0} = \frac{140}{200} = 0.70 \geq 0.25, f_{y0} = f_{y1} = f_{y2} = 355 \text{ N/mm}^2 \leq f_{yi} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$-0.55 \leq \frac{e}{h_0} = \frac{-80}{200} = -0.4 \leq 0.25, 30^\circ \leq \theta_1 = \theta_2 = 45^\circ \leq 90^\circ$$

Yukarıda da görüldüğü gibi geçerlilik aralığı koşulları sağlanmaktadır.



Şekil 5.17 Tam örtüşen K tipi birleşimler için örgü çubuğu etkin genişlik göçme biçimini esas alan birleşim verimlilik grafiği (Packer vd., 2000)

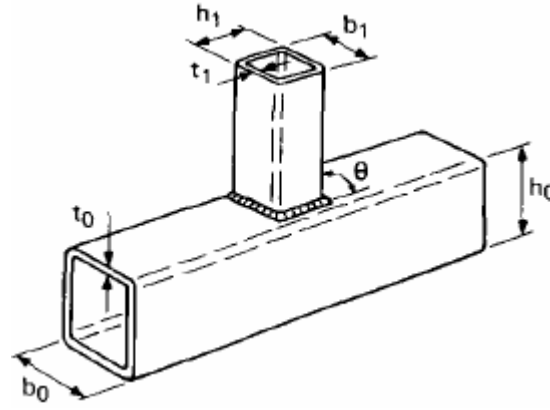
Şekil 5.17 kullanılarak  $b_j/t_j=18.75$  ve  $(f_{y_i}t_j)/(f_{y_i}t_i)=1.0$  için birleşimin verimliliği 0.87 elde edilir. Birleşimin taşıma gücü değeri;

$$N_i^* = 0.87 \times 355 \times 4130 \times 10^{-3} \cong 1276 \text{ kN}$$

bulunur.

#### 5.3.1.4 Moment Birleşimleri

Uygulamada en çok tatbik edilen moment birleşimleri Vierendeel birleşimleridir. Bu birleşim tipleri adından da anlaşılacağı gibi Vierendeel kirişlerinin teşkilinde yer alır. İlk kez 1896' da Arthur Vierendeel tarafından kullanılan bu kafes kirişte, başlık elemanına yaklaşık  $90^\circ$  ile bağlanan örgü çubukları yer almaktaydı. Günümüzde de genellikle ilk şekliyle kullanılmasına karşın zaman zaman görsel amaçlarla eğik veya eğri formlanmış başlık elemanlarının yer aldığı Vierendeel kirişleri uygulanmaktadır. Tipik bir Vierendeel birleşimi Şekil 5.18' de görülmektedir.



Şekil 5.18 Tipik Vierendeel birleşimi (Packer vd., 2000)

Çizelge 5.7 Düzlem içinde momente maruz T ve X tipi birleşimler için taşıma gücü değerleri

Başlık enkesiti	Göçme biçimi	Faktörize edilmiş taşıma gücü değeri
Kare ve dikdörtgen enkesitli kutu profil	Başlık elemanı plastikleşmesi	$\beta \leq 0.85$
		$M_{ipb}^* = f_{y0} t_0^2 h_1 \left( \frac{1-\beta}{2h_1/b_0} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{h_1/b_0}{1-\beta} \right) f(n)$ (5.25)
	Örgü çubuğu etkin genişlik göçmesi	$0.85 < \beta \leq 1.0$
		$M_{ipb}^* = f_{y1} \left[ Z_1 - \left( 1 - \frac{b_c}{b_1} \right) b_1 t_1 (h_1 - t_1) \right]$ (5.26)
	Başlık elemanı cidar burkulması	$0.85 < \beta \leq 1.0$
		$M_{ipb}^* = 0.5 f_k t_0 (h_1 + 5t_0)^2$ (5.27)

Vierendeel birleşimlerinin dayanımını ifade eden formüller değişen  $\beta$  oranlarına göre Çizelge 5.6' da verilmiştir. Bu formüller birleşimlerin düzlem içinde momente maruz kalması durumunu yansıtmaktadır. Vierendeel kirişleri dışında kafes kirişler, ağırlıklı olarak birleşimleri aksenal yük aktaracak biçimde teşkil edilirler. Ancak imalat kolaylığı sağlamak bakımından dışmerkezlik oluşacak şekilde tasarlanan birleşimlerde moment meydana gelir.

Çizelge 5.6, T ve X tipi birleşimlere ait taşıma gücü formüllerini ifade etse de boşluklu K ve N tipi birleşimler için de geçerlidir. Bu birleşim tiplerinin hesabında örgü çubuklarının her birinin birleşimi X ya da Y tipi birleşimden uygun düşeni olarak kabul edilir. Çizelge 5.7 için geçerlilik aralığı koşulları Çizelge 5.8’ de yer almaktadır.

Bilindiği gibi Vierendeel birleşimleri sadece moment etkisi altında kalmaz aynı zamanda aksenal yüke de maruz kalırlar. Bu durumda söz konusu birleşimin moment ve aksenal yük dayanımı hesaplandıktan sonra Eşitsizlik 5.28’ in de sağlanması gerekir.

$$\frac{N_i}{N_i^*} + \frac{M_{ipb}}{M_{ipb}^*} \leq 1.0 \quad (5.28)$$

Çizelge 5.8 Düzlem içinde momente maruz T ve X tipi birleşimlerin Çizelge 5.7’ ye göre hesabı için geçerlilik aralığı koşulları

Parametre	$f_{yi}$	$b_0/t_0, h_0/t_0$	$b_1/t_1$	$\theta_i$
Sınır	$\leq 355 \text{ N/mm}^2$	$\leq 35$	$\leq 1.1 \sqrt{\frac{E}{f_{yi}}}$	$\leq 90^\circ$

### 5.3.2 Kutu Profiller için Tek Düzlemli Kafes Kirişlerin Özel Birleşim Tipleri

Bu bölümde, bu noktaya kadar incelenen kutu profil birleşim tiplerinin dışında uygulamada yer bulan birleşimlere yer verilecektir. Ancak örgü çubuğu sayısı arttıkça yük kombinasyonları da artmaktadır. Buna ek olarak özellikle imalatçı firma uygulamada kolaylık sağlamak bakımından literatürde bile bulunmayan bazı birleşim tiplerini teşkil edebilmektedir. Bu durumların birleşim tipi sayısını oldukça arttırdığı açıktır. Akademisyenler literatürde yer almayan birleşim tiplerinin hesabı için incelenmiş birleşim tiplerine benzetme yolunu önermektedir.

#### 5.3.2.1 Kutu Profillerin Tek Düzlemli KT tipi Kafes Kiriş Birleşimleri

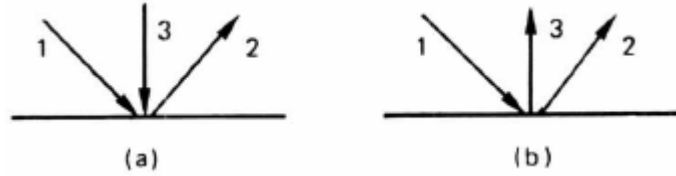
KT tipi birleşimler özellikle büyük açıklık geçen çatı makaslarında yer almaktadır. Bu birleşim tipinde aynı düğüm noktasında üç örgü çubuğu başlık elemanına birleşmektedir, bu durum genellikle örtüşen birleşim anlamına gelir. Ancak başlık elemanının büyük kesitli olması ve makas ortasında küçük enkesitli örgü çubuklarının yer almasıyla boşluklu KT tipi

birleşimler ortaya çıkabilir. Bu tip birleşimlerin dayanımı, K ve N tipi birleşimlere benzer olarak, birleşimin boşluklu ya da örtüşen olmasına bağlı olarak değişmektedir.

Boşluklu KT tipi birleşimlerin taşıma gücü Çizelge 5.5' de yer alan formüllerde, başlık elemanı enkesitinin kare olması halinde  $(b_1+b_2)/2b_0$  terimi yerine  $(b_1+b_2+ b_3)/3b_0$  , başlık elemanının dikdörtgen enkesitli olması halinde ise  $(b_1+b_2+ h_1+ h_2)/4b_0$  terimi yerine  $(b_1+b_2+ b_3+ h_1+ h_2+ h_3)/6b_0$  alınarak hesaplanır. Bu tip birleşimlerde boşluk, aksi istikamette yük bileşeni ihtiva eden iki örgü çubuğu arasındaki maksimum mesafe olarak alınır. Eğer düşey örgü çubuğu ihmal edilebilir mertebede aksel yüke maruzsa birleşim Boşluklu K tipi birleşim olarak kabul edilir. Uygulamada en sık yer alan iki KT tipi birleşim Şekil 5.19' da görülmektedir. Boşluklu KT tipi birleşimler ayrıca Eşitsizlik 5.29 ve 5.30' dan uygun olanını sağlamalıdır.

$$N_2^* \sin \theta_2 \geq N_1 \sin \theta_1 + N_3 \sin \theta_3 \quad (\text{Şekil 5.21a}) \quad (5.29)$$

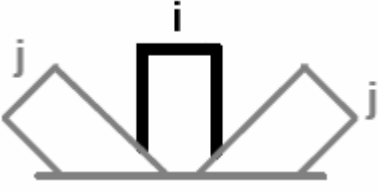
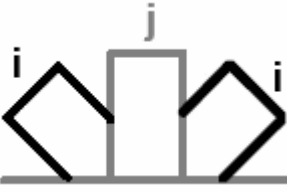
$$N_1^* \sin \theta_1 \geq N_2 \sin \theta_2 + N_3 \sin \theta_3 \quad (\text{Şekil 5.21b}) \quad (5.30)$$



Şekil 5.19 KT tipi birleşim örnekleri (Packer vd., 2000)

Örtüşen KT tipi birleşimler, esasen örten örgü çubuğunun birleşime aktarabileceği yükün tespitine dayanır. Örtülen örgü çubuğunun en fazla örten örgü çubuğu kadar yük aktarabileceği kabul edilir. Bu tip birleşimlerde temel olarak iki örtüşme hali söz konusudur. Her iki hal için de taşıma gücünü veren formüller Çizelge 5.8' de verilmiştir. Bu tip birleşimler de Eşitsizlik 5.29 ve 5.30' dan uygun olanını sağlamalıdır.

Çizelge 5.9 Örtüşen KT tipi birleşimler için taşıma gücü değerleri

Örtüşme tipi	Faktörize edilmiş taşıma gücü değeri
	$25\% \leq O_v \leq 50\%$
	$N_i^* = f_{yi} t_i \left[ \left( \frac{O_v}{50} \right) (2h_i - 4t_i) + 2b_{e(O_v)} \right]$ <p style="text-align: center;">(5.31)</p>
	$50\% \leq O_v$
	$N_i^* = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + 2b_{e(O_v)})$ <p style="text-align: center;">(5.32)</p>
	<p style="text-align: center;">Bkz. (5.22), (5.23) ve (5.24)</p>

### 5.3.2.2 Kutu Profillerin Tek Düzlemli Düğüm Noktası Levhalı ya da Başlık Elemanına Doğrudan Kaynaklı I veya H Profil Birleşimleri

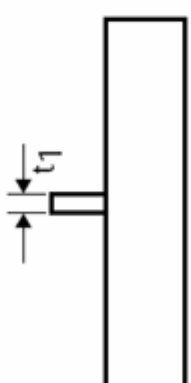
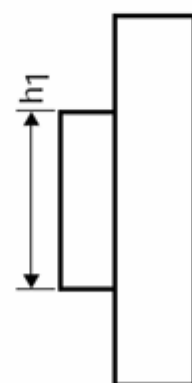
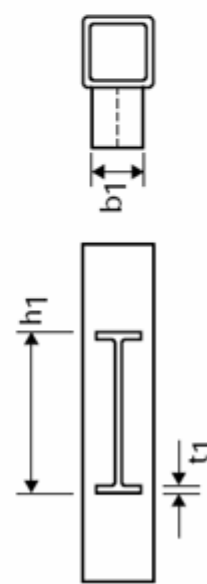
Tıpkı boru profil birleşimleri gibi kutu profil birleşimleri de düğüm noktası levhalı ya da başlık elemanına doğrudan kaynaklı I veya H profillerle teşkil edilebilir. Bu tip birleşimler de temelde diğerlerine benzemekle beraber daha az sayıda tahkikle birleşimin taşıma gücü değeri elde edilebilir. Çizelge 5.11 bu tip birleşimlere ait aksenal yük ve moment taşıma gücünü veren formülleri özetlemektedir. Bu formüllerin geçerlilik aralığı Çizelge 5.10' da özetlenmiştir.

Başlık elemanına paralel düğüm noktası levhalı birleşimler için verilen aksenal yük taşıma gücü formülünde yer alan  $f(m)$  fonksiyonu Şekil 5.20' de ifade edilmiştir.

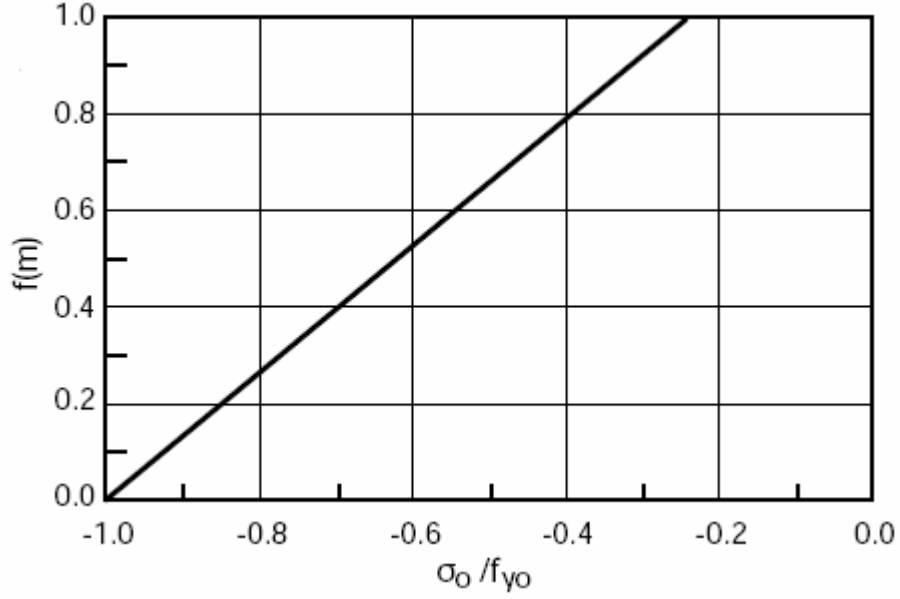
Çizelge 5.10 Çizelge 5.11 için geçerlilik aralığı koşulları

Parametre	$b_0/t_0, h_0/t_0$	$t_i/b_0$	$h_i/b_0$
Sınır	$\leq 30$	$\leq 0.2$	$\leq 4$

Çizelge 5.11 Kutu profillerin düğüm noktası levhalı ya da başlık elemanına doğrudan kaynaklı I veya H profil birleşimleri için taşıma gücü değerleri

Birleşim Tipi		Faktörize edilmiş eksenel yük taşıma gücü	Faktörize edilmiş moment taşıma gücü
Başlık elemanına dik düğüm noktası levhalı birleşim		$N^* = \min \left( \begin{array}{l} f_{y0} t_0 (2t_1 + 10t_0) \\ \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3}} (2t_1 + 2b_{ef}) \end{array} \right)$ (Formül 5.33)	$M_{\text{f}b}^* = 0.5N^* t_1$ (Formül 5.34)
Başlık elemanına paralel düğüm noktası levhalı birleşim		$N^* = \frac{f_{y0} t_0}{1 - \frac{t_1}{b_0}} \left[ \frac{2h_1}{b_0} + 4 \sqrt{1 - \frac{t_1}{b_0}} \right] f (m)$ (Formül 5.35)	$M_{\text{f}b}^* = 0.5N^* h_1$ (Formül 5.36)
Başlık elemanına doğrudan kaynaklı I ve H profil birleşimleri		$N^* = \min \left( \begin{array}{l} 2f_{y0} t_0 (2t_1 + 10t_0) \\ \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3}} (2t_1 + 2b_{ef}) \end{array} \right)$ (Formül 5.37)	$M_{\text{f}b}^* = 0.5N^* (h_1 - t_1)$ (Formül 5.38)





Şekil 5.20 Başlık elemanına paralel düğüm noktası levhalı birleşim için uç kuvveti fonksiyonu, f(m) (Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints)

### 5.3.2.3 Kutu Profillerin Dirsek Şekilli Birleşimleri

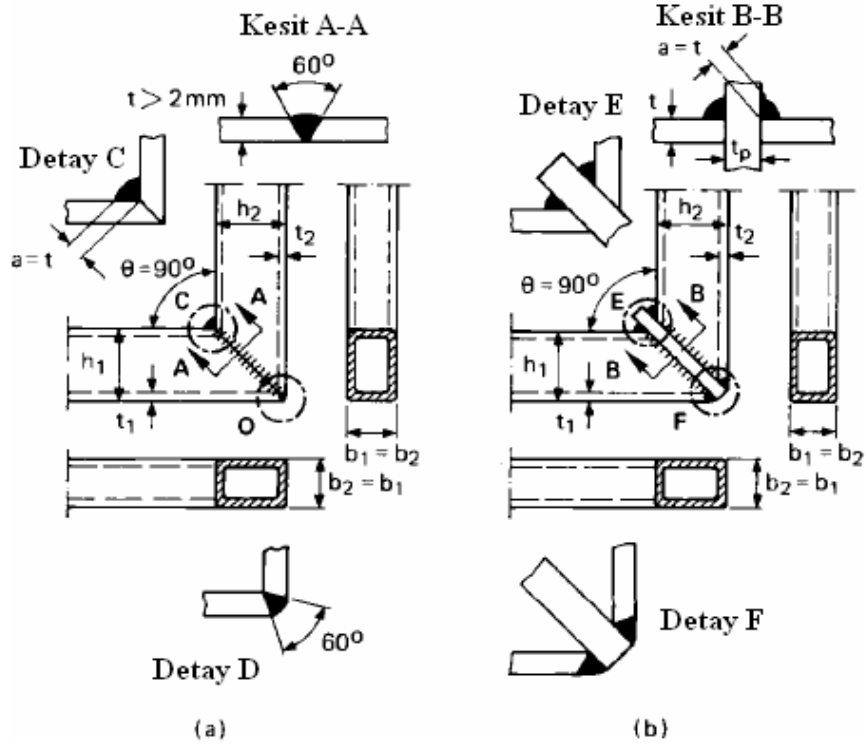
Bu tip birleşimlerin yeterliliği Eşitsizlik 5.39 ve 5.40' ın sağlanmasıyla gerçekleşir. Uygulamada teorik dayanımın elde edilebilmesi için Şekil 5.21' de ifade edildiği gibi imalat yapılmalıdır. Dirsek şekilli birleşimler Şekil 5.21' de de görüldüğü gibi profillerin doğrudan birleşimi ile sağlanabildiği gibi enine levha kullanılarak da teşkil edilebilir.

$$\frac{N_i}{N_{ri}} + \frac{M_i}{M_{ri}} \leq \alpha \quad (5.39)$$

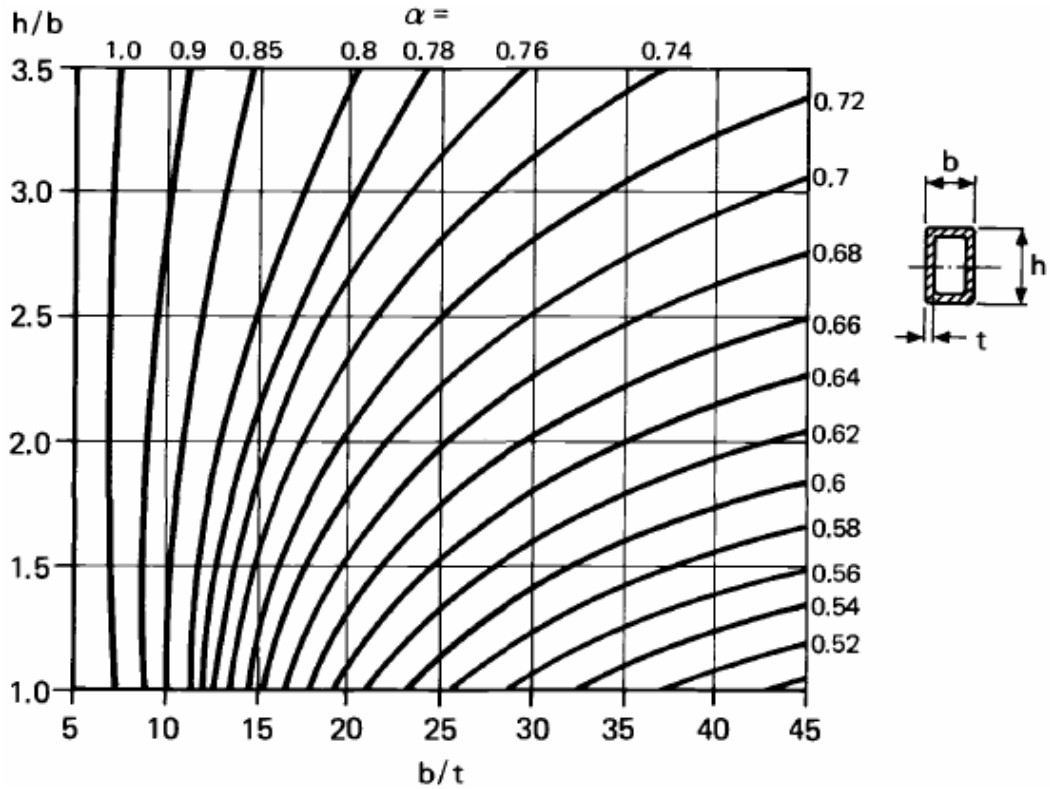
$$\frac{V}{V_p} \leq 0.5 \quad (5.40)$$

Yukarıdaki ifadelerde geçen  $N_{ri}$ ,  $M_{ri}$  ve  $V_p$  terimleri sırasıyla i elemanının aksenal yük dayanımı, moment dayanımı ve i elemanında kayma akması meydana getiren kesme kuvvetine ( $V_p = \frac{2h_i t_i f_{yi}}{\sqrt{3}}$  alınabilir) karşılık gelmektedir. Gerilme azaltma faktörü olarak

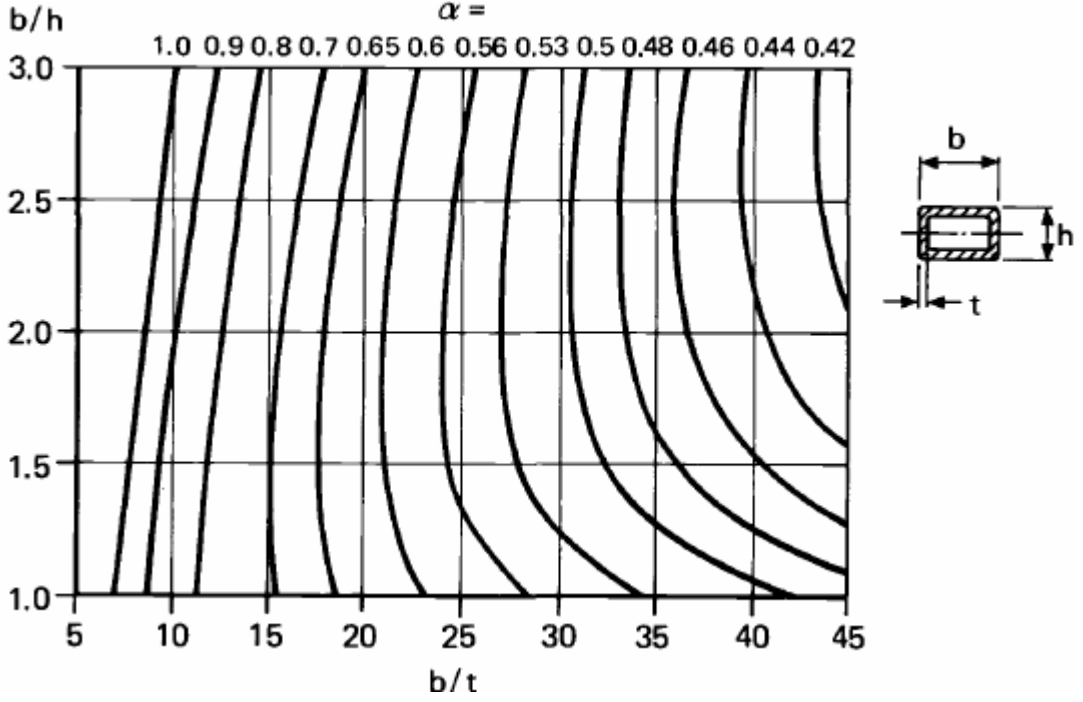
isimlendirilen  $\alpha$ ; enine levhalı birleşimlerde 1, doğrudan kaynaklı birleşimlerde ise Şekil 5.22 ve 5.23' den alınacaktır.  $N_i$  değeri doğrudan kaynaklı birleşimlerde  $0.2N_{ri}$  değerini aşmayacaktır.



Şekil 5.21 Dirsek şekilli birleşimlerin teşkili (Packer vd., 2000)



Şekil 5.22 Güçlü ekseninde eğilmeye maruz kutu profillerin dirsek şekilli birleşimleri için gerilme azaltma faktörü (Packer vd., 2000)



Şekil 5.23 Zayıf ekseninde eğilmeye maruz kutu profillerin dirsek şekilli birleşimleri için gerilme azaltma faktörü (Packer vd., 2000)

Şekil 5.22 ve 5.23' de ifade edilen  $\alpha$  değeri birleşen elemanlar arasındaki açının  $90^\circ$  olması hali için geçerlidir. Ancak bazı durumlarda birleşim açısı  $90^\circ$  den büyük olabilmektedir. Bu durum birleşimin dayanımını artırır. Doğrudan kaynaklı birleşimlerde birleşim açısının,  $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  olması hali için  $\alpha$  değeri Formül 5.41' deki gibi hesaplanır.

$$\alpha = 1 - \left( \sqrt{2} \cos \frac{\theta}{2} \right) (1 - \alpha_{\theta=90^\circ}) \quad (5.41)$$

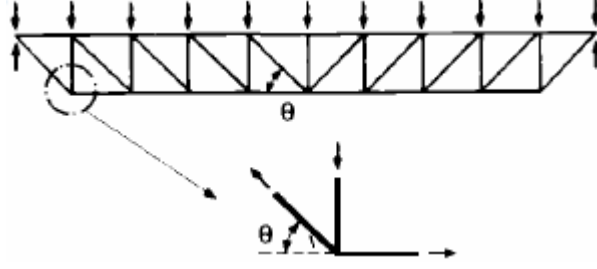
Kaynak; Şekil 5.23' de belirtildiği üzere doğrudan kaynaklı birleşimlerde birleşen elemanın cidar kalınlığına eşit kalınlıklı küt kaynak, enine levhalı birleşimlerde yine birleşen elemanın cidar kalınlığına eşit kalınlıklı köşe kaynak olarak teşkil edilmelidir. Bu durumda, doğrudan kaynaklı birleşimlerde, birleşen elemanların akma gerilmesi  $235 \text{ N/mm}^2$  ise  $\alpha$  değeri en fazla 0.84, birleşen elemanların akma gerilmesi  $355 \text{ N/mm}^2$  ise  $\alpha$  değeri en fazla 0.71 alınmalıdır.

Enine levhalı birleşimlerde enine levha kalınlığı,  $10 \text{ mm}$ 'den ve  $t_i$  ( $i=1,2$ ) birleşen elemanların cidar kalınlığı olmak üzere  $1.5t_i$ ' den az olmamalıdır.

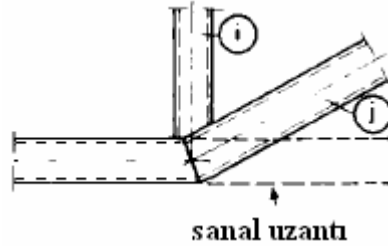
#### 5.3.2.4 Kutu Profillerin Üç Elemanlı Dirsek Şekilli Birleşimleri

Bu birleşim tipi dirsek şekilli birleşimlerin özel bir hali olarak da kabul edilebilir. Yatay bir profilin, yatayda bir açı yaparak devam etmesi ve kırıklık noktasına düşeyde bir elemanın

bağlanmasıyla teşkil edilir (Şekil 5.24). Yatay profilin kırıklık noktasında sürekliliği küt kaynak ile sağlanır. Gerek kare gerekse dikdörtgen enkesitli profillerle yapılan deneylerde; bu birleşim tipinin benzer görünümüne rağmen T veya X tipi birleşimlerden farklı bir davranış ortaya koyduğu gözlenmiştir. Bu tip birleşimlerde örtüşen K ve N tipi birleşimlere benzer bir yük akışı oluşmaktadır. Bu durum hesap esaslarında yatay profilin kırıklık noktasından sonra da sanal olarak devam ettiği ve yatayla açı yapan profilin bu sanal parçaya birleştiği kabulüyle dikkate alınır (Şekil 5.25).



Şekil 5.24 Bir Pratt makasında üç profilli dirsek şekilli birleşim (Packer vd., 2000)



Şekil 5.25 Üç elemanlı dirsek şekilli birleşimin örtüşen K tipi birleşime benzeştirilmesi (Packer vd., 2000)

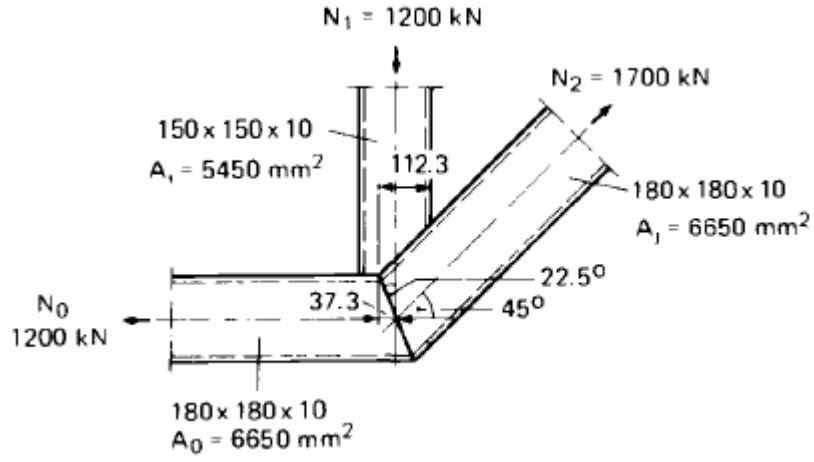
Kırıklık açısı  $45^\circ$  olan bir üç elemanlı dirsek şekilli birleşim maruz kaldığı arttırılmış yüklerle birlikte Şekil 5.26' da görülmektedir. Bu birleşim Şekil 5.25' de ifade edilen örtüşen N tipi birleşim olarak kabul edilerek yeterliliği tahkik edilecektir. Birleşimin Çizelge 5.3' e göre geçerlilik aralığı kontrolü aşağıda verilmiştir.

$$\frac{b_1}{b_0} = \frac{150}{180} = 0.83 \geq 0.25, \quad \frac{b_2}{b_0} = \frac{180}{180} = 1 \geq 0.25$$

$$\frac{b_1}{t_1} = \frac{150}{10} = 15 \leq 1.1 \sqrt{\frac{210000}{355}} \cong 24.3, \quad \frac{b_2}{t_1} = \frac{180}{10} = 18 \leq 24.3, \quad \frac{b_0}{t_0} = \frac{180}{10} = 18 \leq 40$$

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{10}{10} = 1 \leq 1, \quad \frac{b_1}{b_2} = \frac{150}{180} = 0.83 \geq 0.75, \quad 0.25 \leq O_v = \frac{112.3}{150} \cong 0.75 \leq 0.80$$

$$-0.55 \leq \frac{e}{h_0} = 0 \leq 0.25, f_{y0} = f_{y1} = f_{y2} = 355 \text{ N/mm}^2$$



Şekil 5.26 Hesap örneği için üç profilli dirsek şekilli birleşim (Packer vd., 2000)

Formül 5.23 yardımıyla birleşimin yeterliliği tahkik edilir.

$$N_i^* = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + b_e + b_{e(O_v)}) = 0.355 \times 10 \times (2 \times 150 - 4 \times 10 + 2 \times (\frac{10}{18} \times 1 \times 50)) = 1540 \text{ kN} \geq 1200 \text{ kN}$$

## 6. SONUÇLAR

Kapalı enkesitli ince cidarlı profiller (kutu ve boru profiller) kullanılarak imal edilecek bir çelik yapı elemanı tasarımında, birleşimin tipini göz önünde bulunduran kesit seçimi imalat ve görsel bakımdan oldukça önemlidir. Kullanılacak birleşim tipinin yük aktarma kapasitesinin yeterliliğinin yanı sıra sadeliği de sağlanmalıdır. Bu durum, düğüm noktası teşkilinin tüm aşamalarına ve birleşim dayanım hesabına hakim olunarak gerçekleştirilebilir.

Kutu ve boru profiller özellikle kafes kiriş yapımında kullanılmaktadırlar. Başlıca birleşim araçları kaynaktır ve genellikle sürekli bir başlık elemanına örgü çubuklarının kaynaklanması ile teşkil edilirler. Kutu ve boru profillerin kaynaklı birleşimlerinde aşağıda sıralanan şu hususlara uyulması birleşimin daha verimli olmasına ve kolay imalatına imkan verecektir.

- Örgü çubukları ile başlık elemanı arasındaki açının minimum  $30^\circ$  olması teşkil edilecek kaynağın uygulanabilirliği açısından gereklidir.
- İmalat kolaylığı açısından birleşimde zaman zaman belli bir miktar dışmerkezliliğe izin verilir. Bu sınır  $-0.55 \leq \frac{e}{h_0}, \frac{e}{d_0} \leq 0.25$  kapalı aralığı olarak belirlenmiştir. Bu durumda çekme alan başlık elemanında dışmerkezlilikten doğan ilave momentlerin dikkate alınmasına gerek yoktur.
- Boşluklu birleşimler, kısmi bindirmeli birleşimlere imalat kolaylığı bakımından tercih edilmelidir. Ancak bindirmeli birleşim teşkili zorunlu ise tam bindirmeli birleşim, boşluklu birleşimlerle aynı imalat kolaylığına sahip fakat daha iyi davranış gösterdiğinden tercih edilmelidir.
- Boşluklu birleşimlerde boşluk miktarı, kaynak dikişlerinin teşkil edilebilmesi için en az örgü çubukları et kalınlıkları toplamı kadar olmalıdır.
- Başlık elemanı çapının ya da genişliğinin cidar kalınlığına oranı azaldıkça birleşimin mukavemeti artar. Ancak bu durum genellikle başlık elemanı narinliğini artırır. Başlık elemanı kesitin seçimi, narinlik ve birleşimin verimliliği arasında yapılacak optimizasyonla belirlenmelidir.

- Birleşimin mukavemeti, başlık elemanı cidar kalınlığının örgü elemanı cidar kalınlığına oranı arttıkça artar.
- Başlık elemanı akma gerilmesinin örgü elemanı akma gerilmesine oranı arttıkça birleşimin verimliliği artar. Bu durumda, mümkünse başlık elemanları örgü elemanlarına kıyasla daha yüksek mukavemetli çelikten imal edilmelidir.

Bu hususlara dikkat edilerek hazırlanan birleşimlerde, genellikle ilave levhalar kullanılarak takviyeye gerek kalmaz. Ayrıca, ön tasarım aşamasında bu çalışmada yer alan birleşimin verimliliği grafikleri yardımıyla, başlıca birleşim tipleri için dayanım hesapları yapılabilir. Bu durum, seçilen kesitlerin nasıl bir düğüm noktası teşkiline neden olacağının yeterli yaklaşıklıkta tespitine imkan verir.

**KAYNAKLAR**

Corus Tubes, Design of SHS Welded Joints

Corus Tubes, SHS Jointing

Corus Tubes, SHS Welding

Deren, H., Uzgider, E. ve Pirođlu, F. (2002), elik Yapılar, ađlayan Basımevi, İstanbul

Dutta, D., Wardenier, J., Yeomans, N., Sakae, K., Bucak, Ö. ve Packer, J.A. (1998), Design Guide for Fabrication, Assembly and Erection of Hollow Sections Structures, TÜV Verlag, Cologne, Germany

Packer, J.A., Wardenier, J., Kurobane, Y., Dutta, D. ve Yeomans, N. (1992), Design Guide for Rectangular Hollow Sections (RHS) Joints Under Predominantly Static Loading, Verlag TÜV Rheinland, Cologne, Germany

Wardenier, J. (2002), Hollow Sections in Structural Applications, Bouwen met Staal, Rotterdam, Netherlands

Wardenier, J., Kurobane, Y., Packer, J.A., Dutta, D. Ve Yeomans, N. (1991), Design Guide for Circular Hollow Sections (CHS) Joints Under Predominantly Static Loading, Verlag TÜV Rheinland, Cologne, Germany



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	03.09.1980	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1994-1997	Yeşilköy 50. Yıl Lisesi
Lisans	1997-2002	İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

**Çalıştığı Kurum**

2002-Devam ediyor Seza Mühendislik Mimarlık İnş. Tic. Ltd. Şti.