

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ ÇELİK ELEMANLARIN AMERİKAN VE  
AVRUPA STANDARTLARINA GÖRE BİRLEŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Yakup ALTAY**

**Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği**

**Programı : Yapı Mühendisliği**

**AĞUSTOS 2011**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ ÇELİK ELEMANLARIN AMERİKAN VE  
AVRUPA STANDARTLARINA GÖRE BİRLEŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Yakup ALTAY  
(501081077)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Temmuz 2011  
Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Ağustos 2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cavidan YORGUN (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Mecit ÇELİK (İTÜ)  
Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI (YÜ)**

**AĞUSTOS 2011**



## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi çalışmalarım sırasında bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren çalışmanın her aşamasında yardımını esirgemeyen tez danışman hocam Sayın Prof.Dr. Cavidan Yorgun'a teşekkür ederim.

Tüm öğrenim hayatımda boyunca maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen annem Ayşe Altay'a, babam Cengiz Altay'a, amcam Sırrı Altay'a, dedem Ali Altay'a teşekkür ederim.

Çalışma aşamasında moral ve motive destek olan kardeşlerim Yusuf Altay'a, Yunus Altay'a ve kuzenlerim Yavuz Altay ve Fatih Altay'a teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen İnş. Müh. Burak Alkan'a, Mak. Müh. Yusuf Kılıç'a ve Olgun Bektaş'a teşekkür ederim.

Yaptığım bu çalışmanın benden sonra bu konuda araştırma yapacak tüm insanlara bir ışık olmasını dilerim.

Ağustos 2011

Yakup Altay

(İnş. Müh.)



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	v
KISALTMALAR .....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY .....	xxi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Amaç, Kapsam ve Yöntem.....	1
1.2 Soğukta Şekil Verilmiş Çelik Elemanlar .....	1
1.2.1 Soğukta şekil verilmiş elemanların tarihçesi .....	2
1.2.2 Soğukta şekil verilmiş elemanların avantajları .....	2
1.3 Soğukta Şekil Verilmiş Çelik Elemanların Çeşitleri ve Uygulama Alanları .....	5
1.3.1 Soğukta şekil verilmiş çelik elemanların çerçevelerde kullanımı.....	6
1.3.2 Panel ve döşemelerde.....	7
<b>2. SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ ELEMANLARDA MALZEME</b>	
<b>ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>9</b>
2.1 Akma Noktası ve Akma Dayanımı .....	9
2.2 Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği.....	10
2.3 Süneklik.....	12
2.4 Kaynaklanabilme Özelliği.....	13
2.5 Yorulma ve Sertlik .....	13
2.6 Şekil Verme Yöntemleri.....	14
2.6.1 Sürekli şekil verme.....	15
2.6.2 Presle şekil verme .....	16
<b>3. BİRLEŞİMLER .....</b>	<b>19</b>
3.1 Kaynaklı Birleşimler .....	19
3.1.1 Ark kaynaklar.....	19
3.1.2 Direnç kaynakları.....	21
3.2 Bulonlu Birleşimler .....	21
3.3 Vidalı Birleşimler .....	23
3.4 Perçinler .....	24
3.4.1 Ham perçin.....	25
3.5 Baskı ve Rozet Bağlantılar .....	27
3.5.1 Baskı bağlantılar .....	27
<b>4. STANDARTLAR VE TASARIM.....</b>	<b>29</b>
4.1 AISI Standartına Göre Tasarım.....	29
4.2 Güvenlik Dayanımı Yöntemine Göre Tasarım (ASD).....	30
4.2.1 ASD yöntemiyle tasarım şekli .....	30
4.2.2 ASD yöntemi için yük kombinasyonları.....	31
4.3 Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım (LRFD) .....	32

4.3.1	Yük ve dayanım katsayılarıyla (LRFD) tasarım şekli.....	32
4.3.2	Yük ve dayanım katsayılarıyla tasarım (LRFD)yöntemi için yük kombinasyonları .....	33
<b>5.</b>	<b>SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ İNCE CİDARLI ELEMANLARDA BİRLEŞİM ELEMANLARININ AISI /NAS'A GÖRE TASARIMI .....</b>	<b>35</b>
5.1	Birleşimlerde Kaynak Tasarımı.....	35
5.1.1	Küt kaynaklar .....	36
5.1.2	Ark nokta kaynakları.....	38
5.1.2.1	Ark nokta kaynaklarında kenar mesafeleri	39
5.1.2.2	Ark nokta kaynaklarında kayma	40
5.1.2.3	Ark nokta kaynaklarında çekme	44
5.1.2.4	Ark nokta kaynaklarında kesme ve çekme etkisindeki birleşimler	46
5.1.3	Ark oval nokta kaynakları .....	48
5.1.3.1	Ark oval nokta kaynaklarında kenar mesafeleri	48
5.1.3.2	Ark oval nokta kaynağında kesme	48
5.1.4	Köşe kaynaklar .....	51
5.1.5	Eğri kenarlı küt kaynaklar .....	54
5.1.6	Direnç kaynakları .....	58
5.2	AISI Standartına Göre Bulonlu Birleşimlerin Tasarımı .....	59
5.2.1	Malzeme .....	59
5.2.2	Bulon montajı.....	60
5.2.3	Bulon deliklerinin maksimum boyutları .....	60
5.2.4	Minimum uzaklık .....	60
5.2.5	Minimum kenar ve uç mesafeler .....	61
5.2.6	Bulonlarda ezilme .....	61
5.2.6.1	Bulon deliği etrafındaki deformasyon tasarım olarak dikkate alınmadığı durumdaki ezilme dayanımı	61
5.2.6.2	Bulon deliği etrafındaki deformasyon tasarım olarak dikkate alındığı durumdaki ezilme dayanımı	62
5.2.7	Bulonlarda kesme ve çekme.....	63
5.3	AISI Standartına Göre Vidalı Birleşimleri .....	65
5.3.1	Minimum mesafe: .....	66
5.3.2	Vidalarda kesme .....	66
5.3.2.1	Devrilme ve ezilme ile sınırlandırılan kesme dayanımı	66
5.3.2.2	Vidalarda kesme dayanımı	68
5.3.3	Vidalarda çekme.....	68
5.3.3.1	Dışa çekme (pull-out) dayanımı	69
5.3.3.2	Üstüne çekme (pull-over) dayanımı	69
5.3.3.3	Vidalarda çekme dayanımı	70
5.3.4	Kesme ve üstüne çekmenin birlikte etkisi.....	71
5.3.4.1	ASD yöntemine göre tasarım	71
5.3.4.2	LRFD yöntemine göre tasarım	72
5.4	AISI Standartına Göre Birleşimlerin Kırılma Dayanımı .....	73
5.4.1	Kesme kırılması.....	73
5.4.2	Çekme kırılması .....	74
5.4.3	Blok kesme kırılması.....	77
5.5	AISI Standartına Göre Uygulamalar .....	81
5.5.1	Ark nokta kaynaklı birleşimlerde uygulama .....	81
5.5.2	Köşe kaynaklı birleşimlerde uygulama .....	88
5.5.3	Bulonlu birleşimlerde uygulama .....	90

5.5.4 Bulonlu birleşimlerde uygulama.....	97
<b>6. AVRUPA STANDARTINA GÖRE TASARIM.....</b>	<b>103</b>
6.1 Mekanik Bağlama Elemanlı Birleşimler .....	103
6.1.1 Ham perçinlerin tasarım dayanımları.....	106
6.1.1.1 Kesme yüklü perçinler	107
6.1.1.2 Çekme yüklü perçinler	107
6.1.1.3 Aralık kontrolü	108
6.1.2 Kendiliğinden yerleşen (Self-Tapping) vidaların tasarım dayanımları...	108
6.1.2.1 Kesme yüklü vidalar	108
6.1.2.2 Çekme yüklü vidalar	109
6.1.2.3 Aralık kontrolü	109
6.1.3 Pimlerin tasarım dayanımları .....	110
6.1.3.1 Kesme yüklü pimler	110
6.1.3.2 Çekme yüklü pimler	110
6.1.3.3 Aralık kontrolü	111
6.1.4 Bulonların tasarım dayanımları.....	111
6.1.4.1 Kesme yüklü bulonlar	112
6.1.4.2 Çekme yüklü bulonlar	113
6.1.4.3 Aralık kontrolü	113
6.2 Spot Kaynaklar .....	113
6.2.1 Spot kaynakların tasarım dayanımları.....	114
6.2.1.1 Kesme yüklü spot kaynaklar	114
6.2.1.2 Aralık kontrolü	115
6.3 Bindirme (Ek) Kaynaklar .....	115
6.3.1 Köşe kaynaklar.....	116
6.3.2 Ark nokta kaynakları.....	117
6.4 Avrupa Standartına Göre Uygulama .....	121
6.4.1 Ark nokta kaynaklı birleşimlerde uygulama.....	121
6.4.2 Köşe kaynaklı birleşimlerde uygulama.....	124
6.4.3 Bulonlu birleşimlerde uygulama.....	125
6.4.4 Bulonlu birleşimlerde uygulama.....	129
<b>7. SONUÇLAR .....</b>	<b>133</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>137</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>139</b>



## **KISALTMALAR**

<b>ANSI</b>	: American National Standards Institute
<b>AISC</b>	: American Institute of Steel Construction
<b>AISI</b>	: American Iron and Steel Institute
<b>ASCE</b>	: American Society of Civil Engineers
<b>ASD</b>	: Allowable Strength Design
<b>AWS</b>	: American Welding Society
<b>CSA</b>	: Canadian Standards Association
<b>EC-3</b>	: Eurocode-3
<b>LSD</b>	: Limit State Design
<b>LRFD</b>	: Load and Resistance Factor Design
<b>NAS</b>	: North American Specification
<b>SDI</b>	: Steel Deck Institute
<b>UMR</b>	: University of Missouri-Rolla



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1 : Kaynak pozisyonları[13] .....	36
Çizelge 5.2 : Eğri yüzeyli küt kaynaklar [13].....	57
Çizelge 5.3 : V türü küt kaynaklar [13] .....	57
Çizelge 5.4 : Bulon deliklerinin maksimum boyutları [13].....	60
Çizelge 5.5 : Ezilme katsayısı [13] .....	62
Çizelge 5.6 : Ezilme katsayısı [13] .....	62
Çizelge 5.7 : Kesme ve çekme durumunda karakteristik gerilme değerleri [13] .....	64
Çizelge 5.8 : Birleşimlerin tipleri [13].....	73
Çizelge 5.9 : Çekme elemanlı birleşimlerde kesme düzensizliği katsayısı [13].....	76
Çizelge 7.1 : Ark nokta kaynağında karşılaştırma.....	133
Çizelge 7.2 : Köşe kaynakta karşılaştırma .....	133
Çizelge 7.3 : Tek tesirli bulonlu birleşimde karşılaştırma .....	134
Çizelge 7.4 : Çift tesirli bulonlu birleşimde karşılaştırma.....	134



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Soğuk şekil verilmiş kesitlerin değişik şekilleri[1] .....	3
Şekil 1.2 : Hafif çelik yapı [3] .....	4
Şekil 1.3 : İnşaat süreleri[3] .....	5
Şekil 1.4 : Yapı kullanım alanları[3] .....	5
Şekil 1.5 : Maliyet karşılaştırması[3] .....	5
Şekil 1.6 : Maliyet oranları[3] .....	5
Şekil 1.7 : Değişik tipte soğukta şekil verilmiş elemanlar [1].....	6
Şekil 1.8 : Birincil taşıyıcı sistem olarak soğukta şekil verilmiş elemanlar [4] .....	7
Şekil 1.9 : İkincil taşıyıcı eleman olarak soğukta şekil verilmiş çatı panelleri (DünyaTicaret Merkezi) [1] .....	7
Şekil 1.10 : İkincil taşıyıcı eleman olarak soğukta şekil verilmiş çatı panelleri (Dünya Ticaret Merkezi) [1] .....	8
Şekil 1.11 : Soğukta şekil verilmiş panel ve döşeme kesitleri[1] .....	8
Şekil 2.1 : Ani akma[1].....	10
Şekil 2.2 : Kademeli akma[1] .....	11
Şekil 2.3 : Akma noktası belirlenmesi[1] .....	11
Şekil 2.4 : Süneklik ölçümü[5] .....	14
Şekil 2.5 : Sürekli şekil verme işlemi [1] .....	15
Şekil 2.6 : Presle şekil verme[6] .....	16
Şekil 2.7 : Soğukta şekil verilmiş elemanlar [7].....	16
Şekil 2.8 : Presle şekil verme [6] .....	17
Şekil 3.1 : Kaynak çeşitleri[1] .....	20
Şekil 3.2 : Direnç kaynakları [1].....	21
Şekil 3.3 : Bulonlu birleşimlerde göçme tipleri a-)Levhanın boylamasına kesme göçmesi b-)Levhanın ezilme göçmesi c-)Levhanınçekme göçmesi d-)Bulonların kesme göçmesi[1].....	22
Şekil 3.4 : Kendi deliğini açan vidaların uygulamaları [1].....	23
Şekil 3.5 : Vidalı birleşimlerde göçme tipleri a-) vidalarda ezilme ve çekme b-)üstüne ve dışına çekme durumu c-)kesme aktaran vidalar [8] .....	24
Şekil 3.6 : Ham perçin tipleri [1] .....	26
Şekil 3.7 : Baskı bağlantı şekli gerçekleştirmesi [10].....	27
Şekil 3.8 : Rozet bağlantılar [11].....	28
Şekil 5.1 : Etkili küt kaynak kordon kalınlığı [1] .....	37
Şekil 5.2 : Kaynak pulu [13].....	38
Şekil 5.3 : Kaynak pulu [13].....	39
Şekil 5.4 : Tek levha da ark nokta kaynak için kenar mesafeleri [13].....	39
Şekil 5.5 : Çift levha da ark nokta kaynak için kenar mesafeleri [13].....	40
Şekil 5.6 : Kaynaklı birleşimlerin düzlem dışı burkulması [13].....	41
Şekil 5.7 : Tek bir levha da ark nokta kaynak için çap tanımları[13].....	42
Şekil 5.8 : Çift bir levha da ark nokta kaynak için çap tanımları [13].....	43

Şekil 5.9 : Sac levha-sac levha birleşimlerde ark nokta kaynağı [13] .....	44
Şekil 5.10 : Dış kaynak, iç kaynaklar ve bindirmeli birleşimler [13] .....	46
Şekil 5.11 : Düz pozisyonda levha ile kalın taşıyıcı elemanın ark oval nokta kaynağı [13].....	48
Şekil 5.12 : Ark oval nokta kaynaklarının kenar mesafeleri [13] .....	49
Şekil 5.13 : Levha-levha birleşimlerde ark oval nokta kaynağı[13].....	50
Şekil 5.14 : Levha-levha birleşimlerde ark nokta kaynağı [13].....	52
Şekil 5.15 : Köşe kaynaklı birleşimde göçme modu [13].....	53
Şekil 5.16 : Eğri kenarlı küt kaynak enlemesine yükleme durumu [13].....	54
Şekil 5.17 : Eğri kenarlı küt kaynakta boylamasına yükleme durumu [13] .....	55
Şekil 5.18 : V-türü küt kaynakta boylamasına yükleme durumu [13].....	56
Şekil 5.19 : Eğri kenarlı küt kaynakta kaynak adımları [13] .....	58
Şekil 5.20 : Eğri kenarlı küt kaynakta kaynak adımları [13] .....	58
Şekil 5.21 : Devrilme ve ezilmemin karşılaştırılması [13] .....	67
Şekil 5.22 : $t_2/t_1 \geq 2.5$ için tasarım denklemleri [13].....	67
Şekil 5.23 : $t_2/t_1 \leq 1.0$ için tasarım denklemleri [13] .....	67
Şekil 5.24 : Pul ile birlikte üstüne çeken vidalar [13].....	70
Şekil 5.25 : Bulon kesitte $\bar{x}$ tanımı [13] .....	77
Şekil 5.26 : Köşe kaynaklı kesitte $\bar{x}$ tanımı [13] .....	77
Şekil 5.27 : Tek bindirmeli bir birleşimin muhtemel kırılma çizgisi [13].....	79
Şekil 5.28 : Rijitleştirilmiş C kesitin muhtemel kırılma çizgisi (blok kesme) [13]...	79
Şekil 5.29 : Çentilmiş rijit C kesitin muhtemel kırılma çizgisi (blok kesme) [13]....	80
Şekil 5.30 : Birden çok birleşim elemanı olan bindirmeli birleşimin muhtemel kırılma çizgisi (Çekme) [13] .....	80
Şekil 5.31 : Köşe kaynaklı birleşimin muhtemel kırılma çizgisi [13] .....	81
Şekil 5.32 : Ark nokta kaynaklı birleşim .....	82
Şekil 5.33 : Kesme kırılmasında göçme .....	83
Şekil 5.34 : Çekme kırılmasında göçme .....	84
Şekil 5.35 : Blok kesme kırılmasında göçme .....	84
Şekil 5.36 : Köşe kaynaklı birleşim .....	88
Şekil 5.37 : Tek tesirli bulonlu birleşim .....	90
Şekil 5.38 : Kesme kırılmasında göçme .....	92
Şekil 5.39 : Çekme kırılmasında göçme .....	92
Şekil 5.40 : Blok kesme kırılmasında göçme .....	93
Şekil 5.41 : Çift tesirli bulonlu birleşim .....	97
Şekil 6.1 : Birleşim elemanları ve nokta kaynaklar için aralık mesafeleri [7].....	105
Şekil 6.2 : Birleşim elemanın durumuna göre boyunca çekme dayanımının (pull through) azaltılması[7].....	105
Şekil 6.3 : Uzun birleşimler [14] .....	106
Şekil 6.4 : Bulonların akma ve çekme dayanımları [14] .....	111
Şekil 6.5 : Spot kaynağın kesme deneyindeki deney numunesi [7].....	115
Şekil 6.6 : Köşe kaynaklı bindirmeli birleşim [7].....	117
Şekil 6.7 : Kaynak pullu ark nokta kaynağı [7] .....	118
Şekil 6.8 : Ark nokta kaynakları [7] .....	119
Şekil 6.9 : Uzatılmış ark oval nokta kaynağı [7] .....	120
Şekil 6.10 : Ark nokta kaynaklı birleşim .....	121
Şekil 6.11 : Çekme kırılmasında göçme .....	123
Şekil 6.12 : Blok kayma kırılmasında göçme .....	123
Şekil 6.13 : Köşe kaynaklı birleşim .....	124
Şekil 6.14 : Bulonlu birleşim .....	126

<b>Şekil 6.15</b> : Bulonlarda net kesit kırılma göçmesi.....	127
<b>Şekil 6.16</b> : Blok kayma kırılmasında göçme.....	128
<b>Şekil 6.17</b> : Çift tesirli bulonlu uygulama.....	129



## SEMBOL LİSTESİ

$A_e$	: Elemanın etkili alanı
$A_g$	: Elemanın brüt alanı
$A_{nt}$	: Çekme kuvvetine maruz kalan net alan (kuvvete dik)
$A_{nv}$	: Kesme kuvvetine maruz kalan net alan
$A_s$	: Birleşim elemanının çekme gerilme alanı
$B_{lf}$	: EN 1993 1-8'e göre uzun birleşimlerin azaltma katsayısı
$C$	: Ezilme katsayısı
$C_w$	: Islak çimentonun inşa sırasındaki itibari ağırlığı
$D_s$	: Çelik döşemenin ağırlığı
$d$	: Bulon çapı
$d_a$	: Ark nokta kaynağın ortalama çapı
$d_e$	: Kaynak alanının etkili çapı
$d'_w$	: Üstüne çekme dayanımının etkin çapı
$E$	: Elastisite modülü
$e_1$	: Aktarılan yükün doğrultusunda; birleşim elemanının merkezinden birleştirilen parçanın sonuna olan uzaklığı
$e_2$	: Aktarılan yüke dik doğrultuda; birleşim elemanının merkezinden birleştirilen parçanın kenarına olan uzaklığı
$\varepsilon$	: Uzama
$\varepsilon_{un}$	: Uniform uzama
$\varepsilon_l$	: Lokal uzama
$F_{b,Rd}$	: Birleşimin ezilme dayanımı
$F_{nt}$	: Karakteristik bulon çekme gerilmesi
$F_{nv}$	: Karakteristik bulon kesme gerilmesi
$F_{n,Rd}$	: Birleşimin net kesit dayanımı
$F_{o,Rd}$	: Dışa çekme (pull-out) dayanımı
$F_u$	: Levhanın kopma dayanımı
$F_{u1}$	: Vida başı ya da pul ile temasta olan elemanın çekme dayanımı
$F_{u2}$	: Vida başı ya da pul ile temasta olmayan elemanın çekme dayanımı
$F_{p,Rd}$	: Üstüne çekme (pull-through) dayanımı
$F_{t,Rd}$	: Birleşimin çekme dayanımı
$F_{xx}$	: Elektrotların karakteristik çekme dayanımı
$F_v$	: Gerekli kesme gerilmesi
$F_{v,Rd}$	: Birleşimin kesme dayanımı
$F_y$	: Levhanın akma dayanımı
$f_{ub}$	: Birleşim elemanının çekmedik kopma dayanımı
$f_{u,sup}$	: Vidayla sabitlenmiş taşıyıcı elemanın çekmedeki kopma dayanımı
$G$	: Kayma modülü
$g$	: Bağlama elemanların merkezleri arasındaki enlemesine mesafe
$h$	: Çekilen kaynak kenar yüksekliği
$h_{wc}$	: Net gövde yüksekliği

<b>L</b>	: Birleşim uzunluğu ya da kaynağın boylamasına uzunluğu
$\mu$	: Poisson oranı
<b>m<sub>f</sub></b>	: Ezilme tipi birleşimin düzeltme katsayısı
<b>n</b>	: Kritik en kesitteki birleşim elemanı sayısı
<b>n<sub>b</sub></b>	: Kritik düzlemdeki delik sayısı
<b>R</b>	: Gerekli dayanım
<b>R<sub>a</sub></b>	: Güvenli dayanım
<b>R<sub>n</sub></b>	: Karakteristik dayanım
<b>R<sub>u</sub></b>	: Arttırılmış yükler için gerekli dayanım
$\Omega$	: Güvenlik katsayısı (ASD)
$\Omega_s$	: P <sub>ns</sub> için güvenlik katsayısı (ASD)
$\Omega_t$	: P <sub>nt</sub> için güvenlik katsayısı (ASD)
$Q_i$	: Yük etkisi
$\gamma_i$	: Yük arttırma katsayısı
$\gamma_{M2}$	: EN 1993 1-3'e güvenlik katsayısı
$\phi$	: Dayanım azaltma katsayısı (LRFD)
$\phi_s$	: P <sub>ns</sub> için dayanım azaltma katsayısı (LRFD)
$\phi_t$	: P <sub>nt</sub> için dayanım azaltma katsayısı (LRFD)
<b>w<sub>1</sub></b>	: Kaynak kenar boyutu
<b>w<sub>2</sub></b>	: Kaynak kenar boyutu
<b>R</b>	: Dış eğrilik yüzeyin yarıçapı
<b>P<sub>n</sub></b>	: Birleşim elemanın karakteristik dayanımı
<b>P<sub>nt</sub></b>	: Birleşim elemanın karakteristik çekme dayanımı
<b>P<sub>not</sub></b>	: Bir vidanın taşıdığı karakteristik dışa çekme dayanımı
<b>P<sub>nov</sub></b>	: Bir vidanın taşıdığı karakteristik üstüne çekme dayanımı
<b>P<sub>ns</sub></b>	: Vidanın karakteristik kesme dayanımı
<b>P<sub>ss</sub></b>	: Üretici firma tarafından belirtilen karakteristik vida kesme dayanımı
<b>P<sub>ts</sub></b>	: Üretici firma tarafından belirtilen karakteristik vida çekme dayanımı
<b>p<sub>1</sub></b>	: Aktarılan yükün doğrultusundaki birleşim elemanları arası mesafe
<b>p<sub>2</sub></b>	: Aktarılan yüke dik doğrultusundaki birleşim elemanları arası mesafe
<b>R<sub>n</sub></b>	: Karakteristik blok kesme kırılması dayanımı
<b>s</b>	: En kesitteki bulon delik sayısının levha genişliğine oranı
<b>s'</b>	: Ard arda gelen iki deliğin merkezleri arası boyuna mesafesi
<b>T</b>	: Birleşimin gerekli çekme dayanımı
<b>t</b>	: Kesme yüküne maruz kalan levhaların toplam kalınlığı
<b>T<sub>n</sub></b>	: Karakteristik çekme kırılması dayanımı
<b>t<sub>w</sub></b>	: Etkili köşe kaynak kalınlığı
<b>t<sub>1</sub></b>	: Vida başı ile temasta olan elemanın et kalınlığı
<b>t<sub>2</sub></b>	: Vida başı ile temasta olmayan elemanın et kalınlığı
<b>t<sub>c</sub></b>	: Vidanın dış dibi genişliği
<b>t<sub>sup</sub></b>	: Pim veya vidayla sabitlenmiş taşıyıcı elemanların kalınlığı
<b>U<sub>s1</sub></b>	: Kesme düzensizliği katsayısı
<b>U<sub>st</sub></b>	: Şaşırtmalı birleşim katsayısı
<b>U<sub>bs</sub></b>	: Düzgün olmayan blok kesme katsayısı
$\bar{x}$	: En kesitin merkezinden kesme düzlemine olan uzaklık
<b>Q</b>	: Birleşimin gerekli kesme dayanımı
<b>V<sub>n</sub></b>	: Karakteristik kesme kırılması dayanımı

## **SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ ÇELİK ELEMANLARIN AMERİKAN VE AVRUPA STANDARTLARINA GÖRE BİRLEŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

### **ÖZET**

Soğukta şekil verilmiş elemanlar çelik yapı endüstrisinin öneminin artmasına paralel olarak son yıllarda özellikle hafif çelik yapılarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak her ülke kendi standartını oluştururken ülkemizde soğukta şekil verilmiş elemanlarla ilgili standart mevcut değildir.

Bu çalışmada birinci bölümde çalışmanın amacı, kapsam ve yöntemi belirlenmiştir. Ayrıca soğukta şekil verilmiş elemanların kullanımı ve avantajları anlatılmıştır. İkinci bölümde soğukta şekil verilmiş elemanların malzeme özellikleri ve davranışları hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde; soğukta şekil verilmiş elemanların birleşim tipleri ve özellikleri anlatılmıştır. Daha sonraki bölümde ise dünya da kullanılan standartlar hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca Amerikan standartının hesaplama yönteminde kullanılan ASD ve LRFD yöntemlerinin yükleme kombinasyonları ve çalışma prensipleri hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde; Amerikan standartına göre birleşimlerin tasarım dayanımları ve özellikleri anlatılmıştır. Ayrıca ark nokta kaynağı, küt kaynak, tek tesirli bulonlu ve çift tesirli bulonlu olmak üzere dört farklı birleşimde AISI ya göre sayısal örnekte hesap yapılmıştır.

Altıncı bölümde; Avrupa standartına göre birleşimlerin tasarım dayanımları ve özellikleri anlatılmıştır. Ayrıca beşinci bölümde AISI ya göre hesaplanan dört çeşit farklı birleşim tipi sayısal değerleri değiştirilmeden Avrupa standartına göre hesap yapılmıştır.

Son bölümde ise; dört farklı tip birleşimin Avrupa ve Amerikan standartına göre karşılaştırılması ve standartlar arasındaki farklar irdelenmiştir. Standartlarda kullanılan tasarım denklemlerinin birbirine benzemesine rağmen çok farklı sonuçlar vermesi standartlarda kullanılan azaltma katsayılarından dolayı olduğu görülmüştür.



# **EVALUATION OF THE CONNECTIONS WITH COLD FORMED STEEL ELEMENTS ACCORDING TO THE AMERICAN AND EUROPEAN STANDARDS**

## **SUMMARY**

In recent years, cold formed steel elements are being used widely especially in the area of light steel structures with respect to growing steel constructions and other industries. Despite the fact that every country such as American and European country has their own specifications of cold formed steels, in our country a standart does not exist.

In the first chapter of this study the purpose, scope and method are defined. Also the advantage and the usage of the cold formed steel elements are introduced. In the second chapter the material properties and the behaviours of the cold formed steels are explained.

In the third chapter, the connection types and properties of the cold formed elements are stated. In the next chapter the world standards are introduced. In addition to that the loading combinations and working principles of the ASD and LRFD methods used in the calculations of the American standards, are explained.

In the fifth chapter the design strength and the properties of the connections with respect to the American standards are introduced. Furthermore the four different types of the connections: arc spot welds, fillet weld, bolt with single shear and bolts with double shear are explained with numerical examples with respect to AISI.

In the sixth chapter the design strength and the properties of the connections with respect to the European standards are introduced. Besides, the calculations which were done regarding AISI involving four types of connections in the previous chapter, are re-evaluated with respect to the European standards without changing the parameters.

In the final chapter, the differences between the European and the American standards of the four connections are compared and inspected. In spite of having similarities in the design equations, the results obtaining from these equations show a wide range differences due to the safety factor.



## **1. GİRİŞ**

Soğukta şekil verilmiş çelik elemanlar yapı inşasına 1850' larda girmesine rağmen ancak 1940' ta yaygın olarak Amerika ve Avrupa'da kullanılmaya başlanmıştır. Bu ihtiyaca karşı kontrol mekanizmaları için standartların gereksinimi ortaya çıkmıştır. Amerika'da ilk standart George Winter'in Cornell Üniversitesinde yönettiği çalışmalar sonucunda AISI 1946 olarak yayınlamıştır. Bu çalışmaya takip ederek diğer ülkelerde kendi standartlarını ortaya çıkarmışlardır. Özellikle 1980'lerden sonra dünya da artan ahşap fiyatlarından dolayı az katlı yapılarda Hafif Çelik yapıların kullanımı Amerika ve Avrupa'da fazla artış göstermiştir.

Ülkemizde ise ancak 1999 Gölcük depreminden sonra çeliğin yapı endüstrisinde öneminin artmasına paralel olarak az da olsa kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda ise özellikle İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük kentlerimizde az katlı binaların tasarımında hafif çelik yapılar yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır.

### **1.1 Amaç, Kapsam ve Yöntem**

Bu çalışmada soğukta şekil verilmiş çelik elemanlarının birleşimleri hakkında Amerikan NAS-S 100-07/ S2-10 ve Avrupa EN 1993-1-3: 2006 standartlarına göre hesaplamalar yapılmış ve standartların karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada kaynaklı, bulonlu, perçinli ve vidalı birleşimlerin standartlara göre hesap adımları anlatılmış. Ark nokta kaynaklı, köşe kaynaklı, tek tesirli bulonlu ve çift tesirli bulonlu olmak üzere dört çeşit birleşim detayları standartlar açısından benzerlik ve farklılıkları incelenmiştir.

### **1.2 Soğukta Şekil Verilmiş Çelik Elemanlar**

Çelik yapılarda, bilinen iki tür çelik eleman vardır. Bunlardan ilk grup, hadde profilleri ve levhalardan oluşan yapma profillerdir. İkinci grup ise, az bilinen ancak gün geçtikçe önemi artan; sürekli şekil verme, pres bükme veya eğilmeli bükme yöntemiyle soğukta şekil verilmiş çelik sac, şerit, levha veya yassı çubuklardır. Bu

ikinci grub soğukta şekil verilmiş çelik yapı elemanlarıdır. Çelik sac ve şeritler 0.378 mm ile 6.35 mm arasındaki kalınlıklarda kullanırken çelik levhalar ve yassı çubuklar 25.4 mm civarında soğukta şekil verilerek çelik yapılarda kullanılırlar [1].

### **1.2.1 Soğukta şekil verilmiş elemanların tarihçesi**

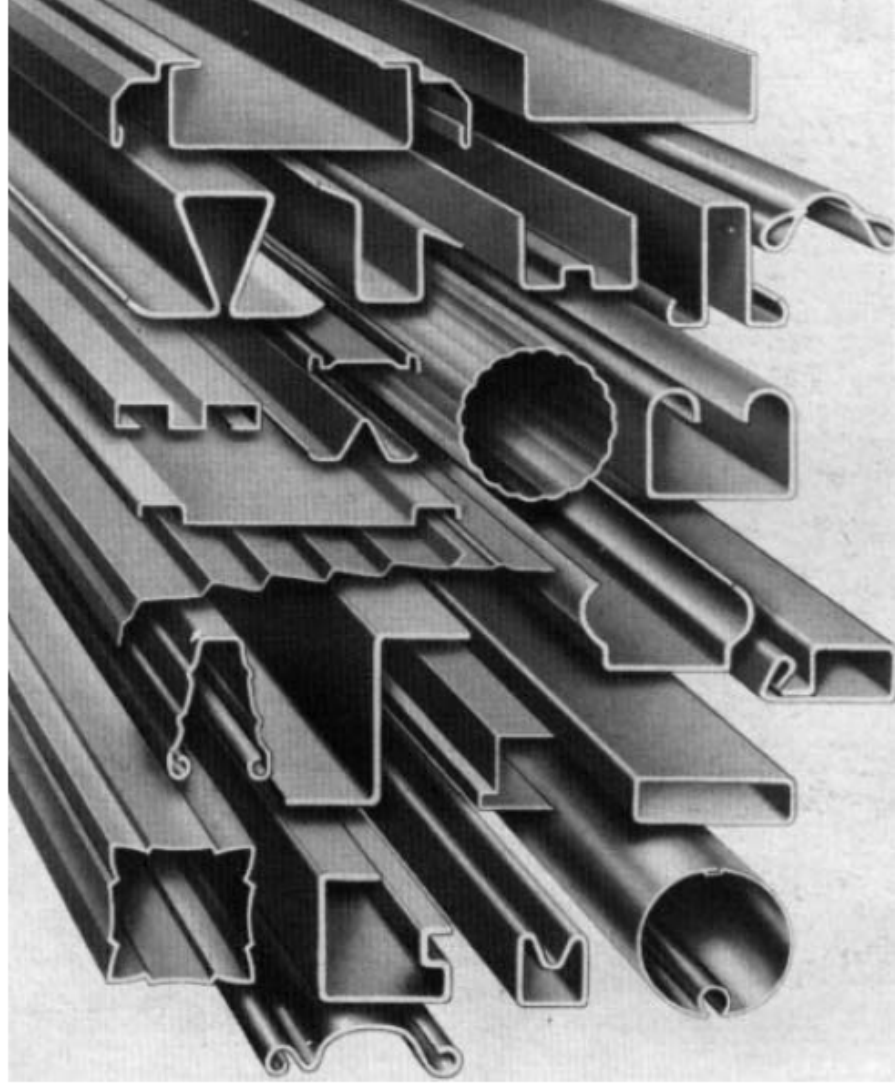
Soğukta şekil verilerek üretilen çelik taşıyıcı elemanlar kullanılarak üretilen hafif çelik yapılar konusunda bilgi ve deneyim birikimi, 20. Yüzyılın başlarında uçak endüstrisinin mümkün olduğunca hafif, fakat taşıma kapasitesi o nispette yüksek taşıyıcı elemanlara ihtiyaç duyması, konuyla ilgili bilgi birikimini hızlandıran yoğun araştırmaların yapılmasına neden olmuştur. Uçak endüstrisinde kullanılan malzeme, yapı ağırlığını azaltmak amacıyla alüminyum alaşım ise de boyutlandırma prensipleri ufak değişikliklerle çelik malzeme içinde geçerli hale getirilebiliyordu. Bu tür yapı üretim tekniği ve boyutlandırma prensibiyle ilgili bilgi birikiminin hızlanmasına neden olan ikinci faktör, otomobil endüstrisidir. Birinci Dünya savaşı sırasında, otomobil kaportasının ve demiryolu vagonlarının üretimi; ince çelik levhaların soğukta şekillendirilmesi suretiyle elde edilen elemanların kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Uçak ve otomobil endüstrisinin bu şekilde neden olduğu bilgi ve tecrübe birikimi, soğukta şekillendirilmiş çelik taşıyıcı elemanların yapı endüstrisinde de yaygın şekilde kullanılmasına neden olmuştur. O zamandan beri bu yapı tekniği hızla gelişmiş, özellikle ABD ve İngiltere’de gittikçe yaygınlaşarak kullanılmaya devam etmiştir. Bu gelişim İngiltere’den sonra diğer Avrupa ülkelerince de izlenerek yapı endüstrisine uygulanmıştır [2].

### **1.2.2 Soğukta şekil verilmiş elemanların avantajları**

Soğukta şekil verilmiş çelik taşıyıcı elemanların yapı uygulamalarında sağladığı yararlar şöyle sıralanabilir [1]:

- Hadde profilleriyle karşılaştırıldığında, soğukta şekil verilmiş hafif elemanlar nispeten hafif yük ve küçük açıklıklar için üretilmiştir.
- Alışılmış olandan farklı kesit geometrileri, soğuk şekil verme işlemi ile ekonomik olarak üretilebilir ve sonuç olarak elverişli dayanım/ ağırlık oranı elde edilir. (Şekil 1.1)
- Küçük ambalajlar ve nakliyeye uygun olan kesitler üretilebilir.

- Yük taşıma panelleri ve döşemeleri, zemin, çatı, duvar konstrüksiyonu için faydalı yüzeyler sağladığı gibi elektrik ve elektrikselsel iletim boruları için kapalı küçük hücreler oluşturur.
- Eğer elemanlar birbiriyle ve mesnet elemanla uygun olarak birleştirilmişse yük taşıma panelleri ve döşemeleri yalnızca yüzeye dik gelen kuvvetlere değil, aynı zamanda kesme kuvvetlerine de karşı koyar.



**şekil 1.1** : Soğuk şekil verilmiş kesitlerin değişik şekilleri[1]

Soğuk şekil verilmiş elik yapısal elemanları ahşap, beton gibi diğer yapı malzemeleri ile karşılaştırıldığında aşağıdaki özellikleri gösterirler [1];

- Hafiflik
- Yüksek mukavemet ve rijitlik
- Kolay prefabrikasyon ve imalat

- Hızlı, kolay montaj ve kurulum
- Hava koşullarından oluşan gecikmeler azalır
- Daha doğru detaylandırma
- Çevre sıcaklığı etkisinde büzülme ve eğilme oluşmaz.
- Kalıp işlerine gerek duyulmaması
- Böcek ve küften etkilenmemesi
- Üniform kalite
- Ekonomik taşıma ve ulaştırma
- Yanıcı olmaması
- Geri dönüşümlü malzeme olması

Soğukta şekil verilmiş hafif çelik taşıyıcılı sistemlerin gün geçtikçe özellikle az katlı binaların yapımında kullanımları artmaktadır. Yukarıda da soğukta şekil verilmiş çelik elemanların avantajları belirtilmiştir. Şekil 1.2 de ülkemizde uygulanan kordelya evleri adlı projede hafif çelik kullanılarak yapılan bir yapı görülmektedir.

Yapılan araştırmalar sonucu bu evlerin betonarme, konvansiyonel çelik ve hafif çelik olarak yapılması incelendiğinde hafif çelik sistemlerin inşaat süresi, kullanım alanı ve maliyet açısından betonarme ve konvansiyonel çelikten daha uygun olduğu Şekil 1.3,1.4,1.5 ve 1.6 gösterilmiştir.



**Şekil 1.2 : Hafif çelik yapı [3]**

İNŞAAT SÜRELERİ		
HAFİF ÇELİK	BETONARME	KONVANS. ÇELİK
30 gün	58 gün	50 gün
Günlük Ortalama Çalışan Sayısı: 9,37	Günlük Ortalama Çalışan Sayısı: 9,36	Günlük Ortalama Çalışan Sayısı: 9,36

Şekil 1.3 : İnşaat süreleri[3]

NET KULLANIM ALANLARI		
HAFİF ÇELİK	BETONARME	KONVANSİYONEL ÇELİK
204 m <sup>2</sup>	191 m <sup>2</sup>	202 m <sup>2</sup>

Şekil 1.4 : Yapı kullanım alanları[3]

METREKARE MALİYETLERİ		
HAFİF ÇELİK	BETONARME	KONVANSİYONEL ÇELİK
246 YTL / m <sup>2</sup>	286 YTL / m <sup>2</sup>	265 YTL / m <sup>2</sup>

Şekil 1.5 : Maliyet karşılaştırması[3]

METREKARE MALİYET ORANLARI		
HAFİF ÇELİK	BETONARME	KONVANSİYONEL ÇELİK
0,86	1,00	0,93

Şekil 1.6 : Maliyet oranları[3]

### 1.3 Soğukta Şekil Verilmiş Çelik Elemanların Çeşitleri ve Uygulama Alanları

Soğukta şekil verilmiş çelik yapı elemanları;

- Çerçeve sistemler
- Panel ve döşeme sistemleri

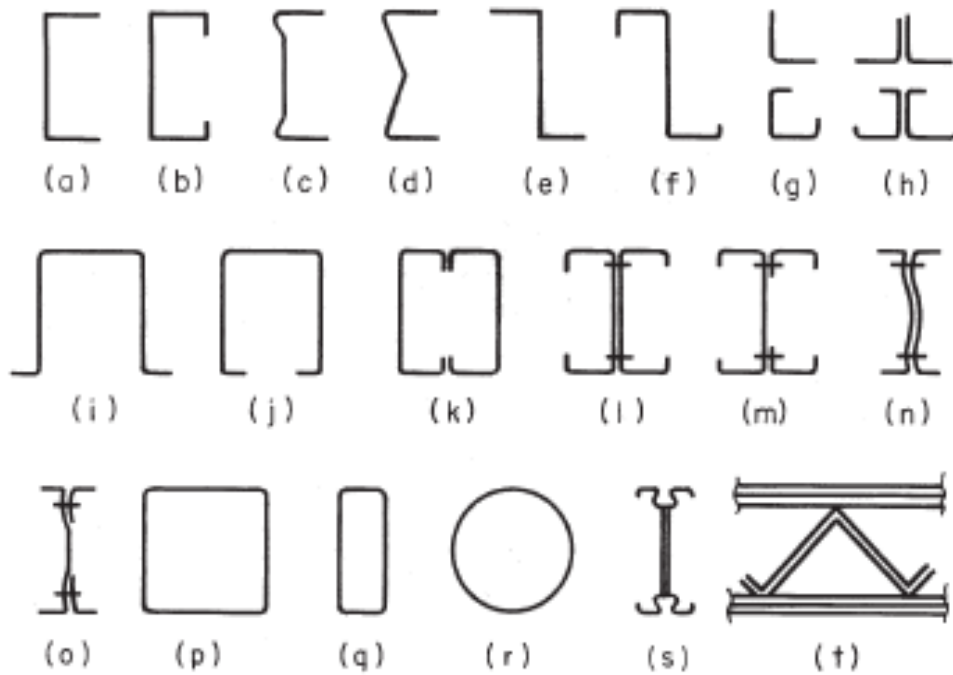
olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

### 1.3.1 Soğukta şekil verilmiş çelik elemanların çerçevelerde kullanımı

Soğukta şekil verilmiş elemanlarda Şekil 1.7 de gösterilen kesitler kullanılmaktadır. Bu kesitlerden en yaygın olarak kullanılanları C kesitler, Z kesitler, I kesitler, T kesitler, şapka kesitler ve tüp elemanlardır. Yapılan araştırmalar gösterilmiştir ki sigma kesitler C kesitlerle karşılaştırıldığında yüksek yük taşıma kapasiteleri, küçük boşluk aralığı, hafiflik ve yüksek burulma rijitliği açısından den daha iyi sonuç vermektedir [1].

Soğukta şekil verilmiş çelik elemanların derinliği 50.8-305 mm, malzemenin kalınlığı ise 1,22-6,35 mm arasında değişmektedir [1].

Bazı durumlarda elemanların derinliği 457 mm çıkabilmekte araç ve bina yapımında elemanların kalınlığı 13 mm ya da daha kalın olabilmektedir. 19-25 mm kalınlıktaki soğukta şekil verilmiş levha kesitler levhalı çelik yapılarda, araçlarda aktarma kutuplarında ve trafik işaret direklerinde kullanılmaktadır [1].

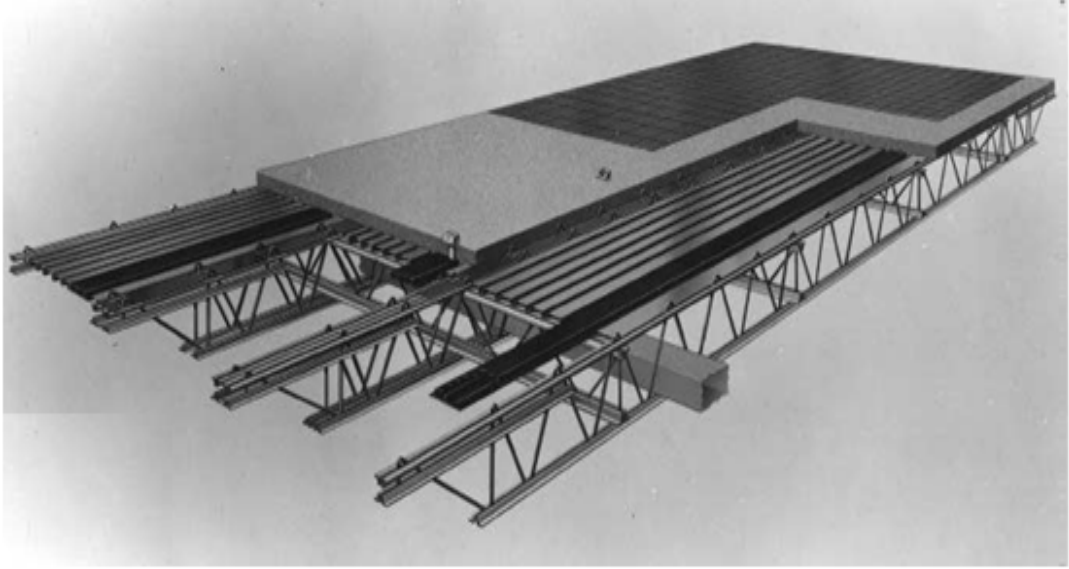


Şekil 1.7 : Değişik tipte soğukta şekil verilmiş elemanlar [1]

Bu taşıyıcı elemanların tasarım kriteri olarak yapıda önemli olan etkenler; taşınan yük, yapı dayanımı ve rijitlik olarak sıralanabilir. 6 kata kadar bu elemanlar birincil taşıyıcı eleman olarak kullanılmaktadır (Şekil1.9). Bunun üzerinde yüksek katlı binalarda ise ana taşıyıcı hadde profilleri olmak üzere ikincil taşıyıcı olarak döşeme kirişi, döşeme ya da panel olarak kullanılmaktadır. (Şekil 1.10 ve Şekil 1.11)



**Şekil 1.8 :** Birincil taşıyıcı sistem olarak soğukta şekil verilmiş elemanlar [4]

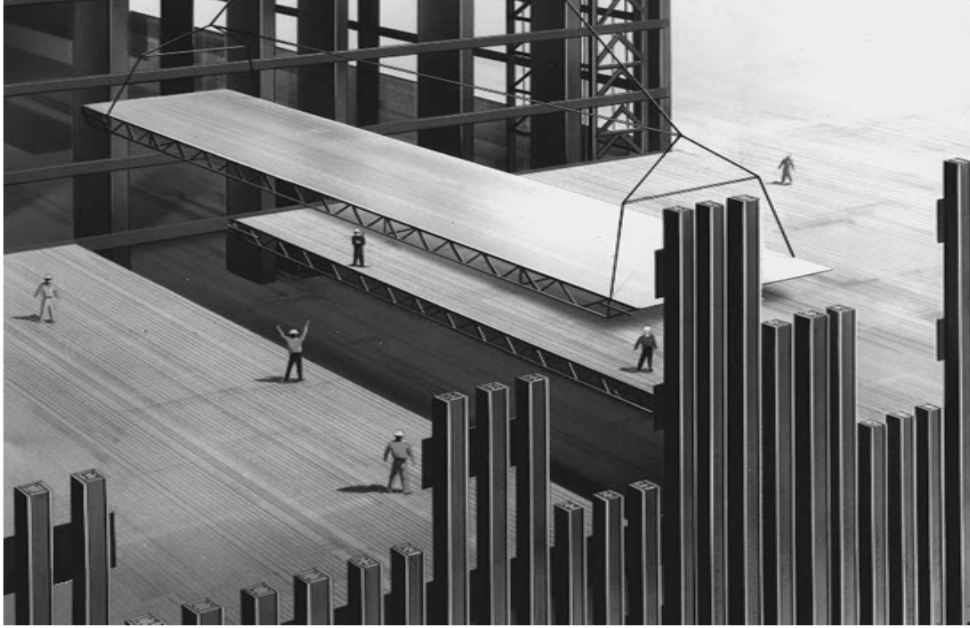


**Şekil 1.9 :** İkincil taşıyıcı eleman olarak soğukta şekil verilmiş çatı panelleri (DünyaTicaret Merkezi) [1]

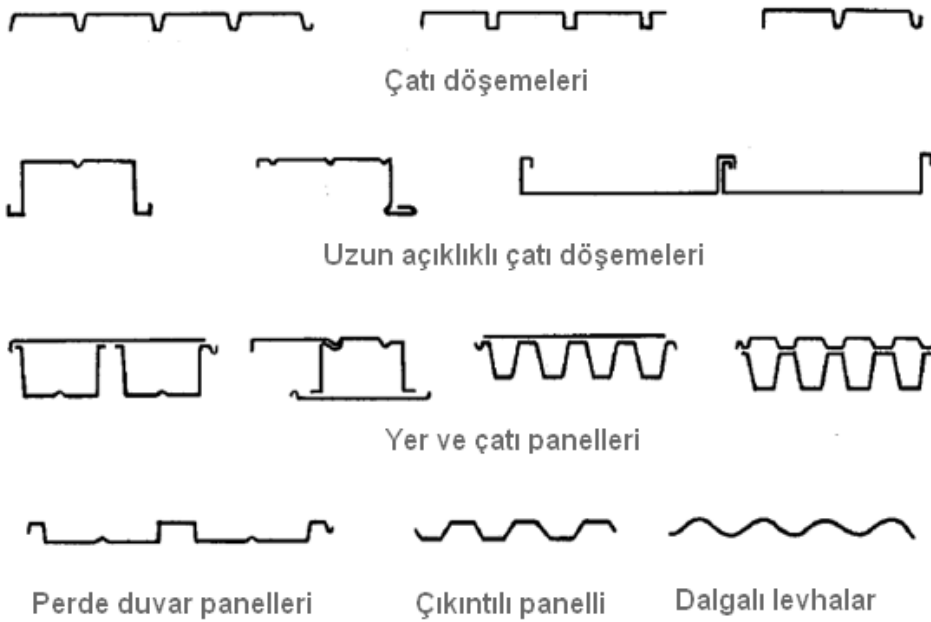
### 1.3.2 Panel ve döşemelerde

Diğer bir kategori olarak Şekil 1.11 de gösterilen soğukta şekil verilmiş kesitlerdir. Bu kesitler genellikle çatı döşemelerinde, kat döşemelerinde, panel duvarlarda, cephe malzemelerinde ve köprülerde kullanılır. Derinliği (yüksekliği) fazla bazı panel ve döşemelerde gövde berkitmesiyle birlikte kullanılmalıdır [1].

Panellerin derinliği 38-191 mm arasında, malzemelerin kalınlığı ise 0,5-1,91 mm arasında değişmektedir [1].



**şekil 1.10 :** İkincil taşıyıcı eleman olarak soğukta şekil verilmiş çatı panelleri(Dünya Ticaret Merkezi) [1]



**şekil 1.11 :** Soğukta şekil verilmiş panel ve döşeme kesitleri[1]

## **2. SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ ELEMANLARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ**

Malzeme özellikleri yapıların davranışlarında önemli bir görev görmektedir. Soğukta şekil verilerek üretilen çelik taşıyıcı elemanların üretiminde kullanılması öngörülen çelik cinsleri ve bunlara ait kimyasal ve fiziksel özellikler; AISI, Eurocode 3 gibi her ülkenin kendi standartlarınca belirlenmiştir.

Ayrıca bu standartlarca belirtilen fiziksel ve kimyasal değerlerden başka önemli faktörlerde vardır. Bunlar [1];

1. Akma noktası ya da Akma dayanımı
2. Çekme dayanımı
3. Gerilme-Şekil değiştirme grafiği
4. Elastisite modülü, Tanjant modülü ve Kayma Modülü
5. Süneklik
6. Kaynaklanabilme özelliği
7. Yorulma dayanımı
8. Sertlik

Bunların yanı sıra şekillenebilirlik ve durabilite soğuk şekil verilmiş ince duvar çelik yapı elemanlarında diğer önemli özelliklerdir [1].

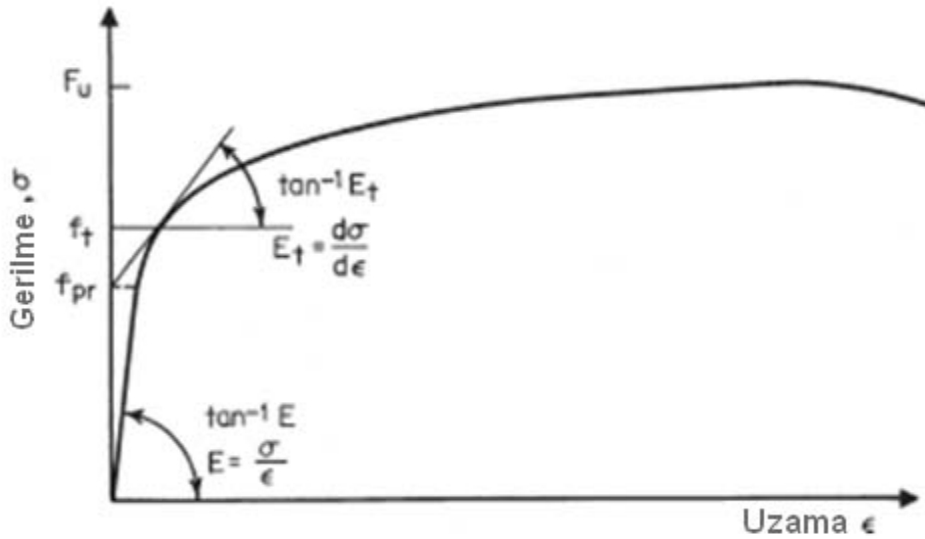
### **2.1 Akma Noktası ve Akma Dayanımı**

Kullanılan çelik malzemenin özelliklerine göre akma dayanımı 165 MPa ile 552 MPa arasında değişmektedir. Standartlarda kullanılan malzemeye göre Akma noktası ve akma dayanımları verilmektedir.

## 2.2 Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

İki çeşit gerilme-şekil değişirme grafiği vardır bunlar; soğukta işlem görmüş elemanlar profilleri için kullanılan Şekil 2.1 de gösterildiği gibi ani akma ve hadde profilleri için kullanılan Şekil 2.2 de gösterildiği gibi kademeli akmadır [1].

Şekil 2.1 deki akma noktasını bulmak için iki yol kullanılır. Bunlardan ilki olan genellikle paslanmaz ve alaşım çeliklerinde kullanılan; %0.2 değerindeki kalıcı plastik deformasyon  $\epsilon$  ekseninde temsil eden noktadan, Şekil 2.3' de görüldüğü gibi, gerilme-deformasyon eğrisinin başlangıçta sahip olduğu doğrusal kısma çizilen paralelin eğriyi kestiği nokta ile tanımlanır. Diğer yöntemde ise yük altında belirtilen uzamaya karşı gelen nokta olarak hesaplanır. Bu yöntem levhalarda ve düşük alaşımlı çeliklerde sık sık kullanılmaktadır. Her iki yöntemde yaklaşık olarak aynı sonucu vermektedir [1].



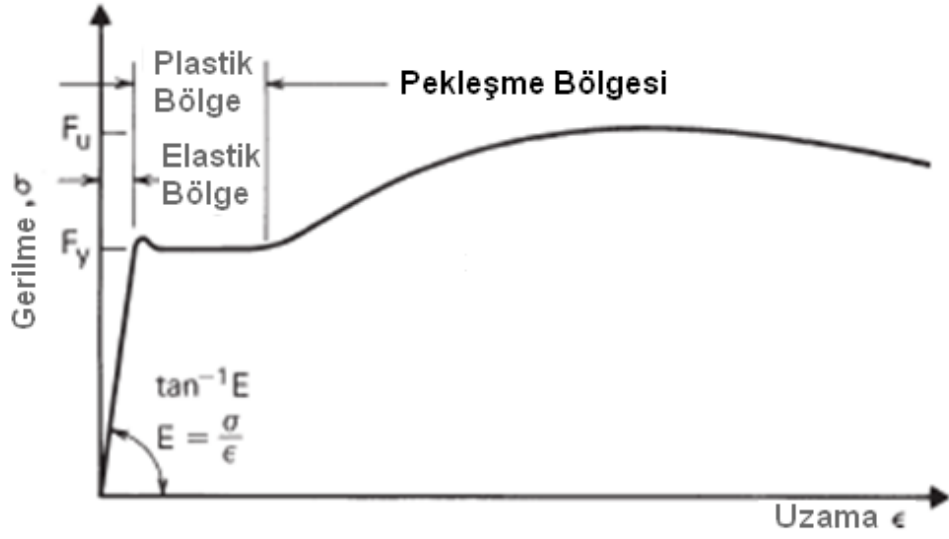
Şekil 2.1 : Ani akma[1]

Soğukta şekil verilmiş çelik elemanların elastisite modülü orantılılık sınırına kadar sabit ve 200 GPa ile 207 GPa arasında değişir.

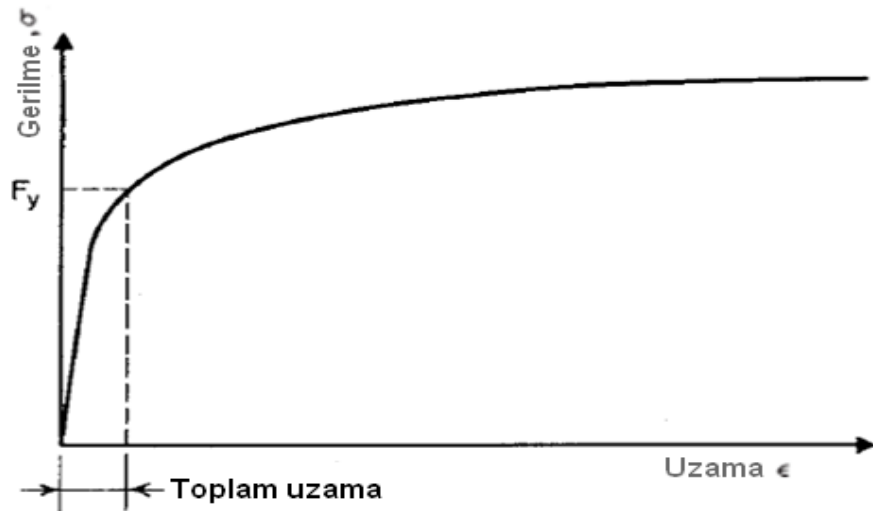
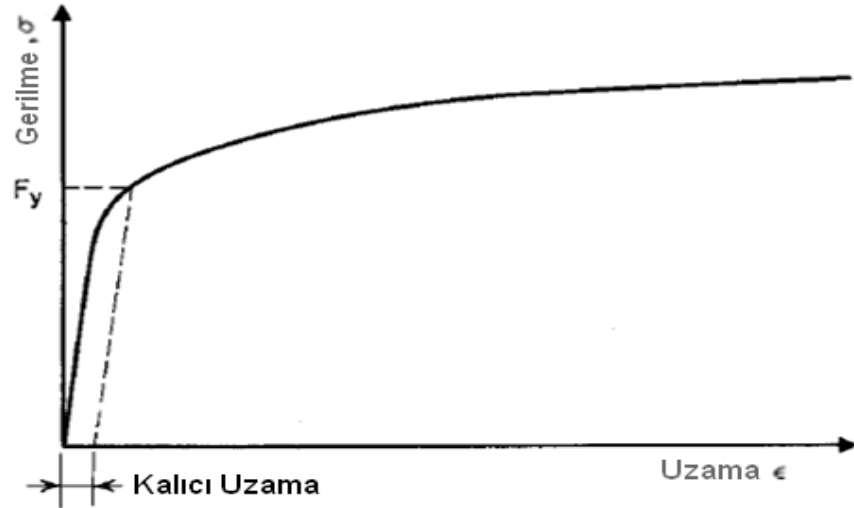
Kayma Modülü G ise aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (2.1)$$

E elastisite modülü 203 GPa ve  $\mu$  poisson oranı 0.3 alınır. Burdan G=78 GPa olarak bulunur.



Şekil 2.2 : Kademeli akma[1]



Şekil 2.3 : Akma noktası belirlenmesi[1]

### 2.3 Süneklik

Malzemenin, akma sınırından sonra yaptığı plastik deformasyon kabiliyetine süneklik denir. Beton gevrek, çelik ise tam tersi olarak çok iyi bir sünek malzemedir. Süneklik özelliği yüksek olan malzemeler dinamik yükler altında tam bir histeretik çevrim yapabildiklerinden dolayı depreme karşı çok iyi direnç göstermektedir. Bundan dolayı son yıllarda özellikle deprem bölgelerinde çelik yapı tasarımı gözle görülebilir şekilde artmaktadır.

Soğukta şekil verilmiş elemanlar şekil verme işlemi sırasında plastik deformasyonların oluşmasından dolayı süneklik özellikleri azalır.

Soğukta şekil verilmiş elemanlar ve birleşimler için düşük süneklilikteki çeliklerin süneklik kriterleri ve performansları Dhalla, Winter ve Errera tarafından Cornell üniversitesinde çalışılmıştır. Çekme deneylerinde süneklik ölçümleri yerel ve uniform olarak ikiye ayrılmaktadır. Yerel süneklik nihai kırılma bölgesindeki yerleşmiş uzamalar olarak tanımlanır. Uniform süneklik ise çekme çifti etkisindeki boyun oluşumundan önce tüm uzunluk boyunca büyükçe plastik deformasyon yapabilme kabiliyetidir. Bu araştırmalar ölçüm uzunluğunun 50.8 mm olduğu araştırmalardaki farklı süneklilikteki levhaların, malzemelerin yerel ya da uniform sünekliliğinde tatmin edici bir ilişki kurmadığını göstermiştir. Plastik alandaki gerilmelerin tekrar dağılımından dolayı erken gevrek kırılma önlenilmekte ve gerilme yoğunluğundaki çekme elemanlarında net-kesit dayanımı sağlanabilmektedir. Araştırmalar sonucunda şunlar önerilmiştir; (1)12.7 mm lik ölçüm uzunluğundaki standart çekme çiftinde minimum yerel uzama %20'den büyük olmalı, (2) 76.2 mm ölçüm uzunluğundaki minimum uniform uzama ile boyune verme ve çatlak içeren 25.4 mm ölçüm uzunluğundaki minimum uniform uzama farkı %3'den büyük olmalıdır. Çekme dayanımı/akma gerilmesi oranı  $F_u/F_y$  1.05 dan büyük olmalıdır [1].

Dünya da kullanılan standartlarda süneklik özelliği ilgili kısıtlamalar getirilmiştir.

AISI göre;

$\epsilon_{un}$  : Kırılmanın dışındaki uniform uzama

$\epsilon_l$  : 12.7 mm ölçüm uzunluğundaki lokal uzama

$F_u$  : kopma dayanımı

$F_y$  : Akma dayanımı

- $\varepsilon_{um} \geq \%3.0$
- $\varepsilon_l \geq \%20.0$
- $\frac{F_u}{F_y} \geq 1.05$

1.05 olan  $F_u/F_y$  oranı AISI standartının A 3.3 bölümüne göre 1.08 olarak değiştirilmiştir.

Eurocode EN 1993-1-1 e göre;

- $\varepsilon_u \geq 15\varepsilon_y$
- Uzama göçmesi %15'ten az olamaz
- $\frac{F_u}{F_y} \geq 1.10$

Bölgesel süneklik şekil 2.4 a, uniform şekil 2.4 b de, hadde profillerindeki bölgesel ve uniform süneklik şekil 2.4 c de gösterilmiştir.

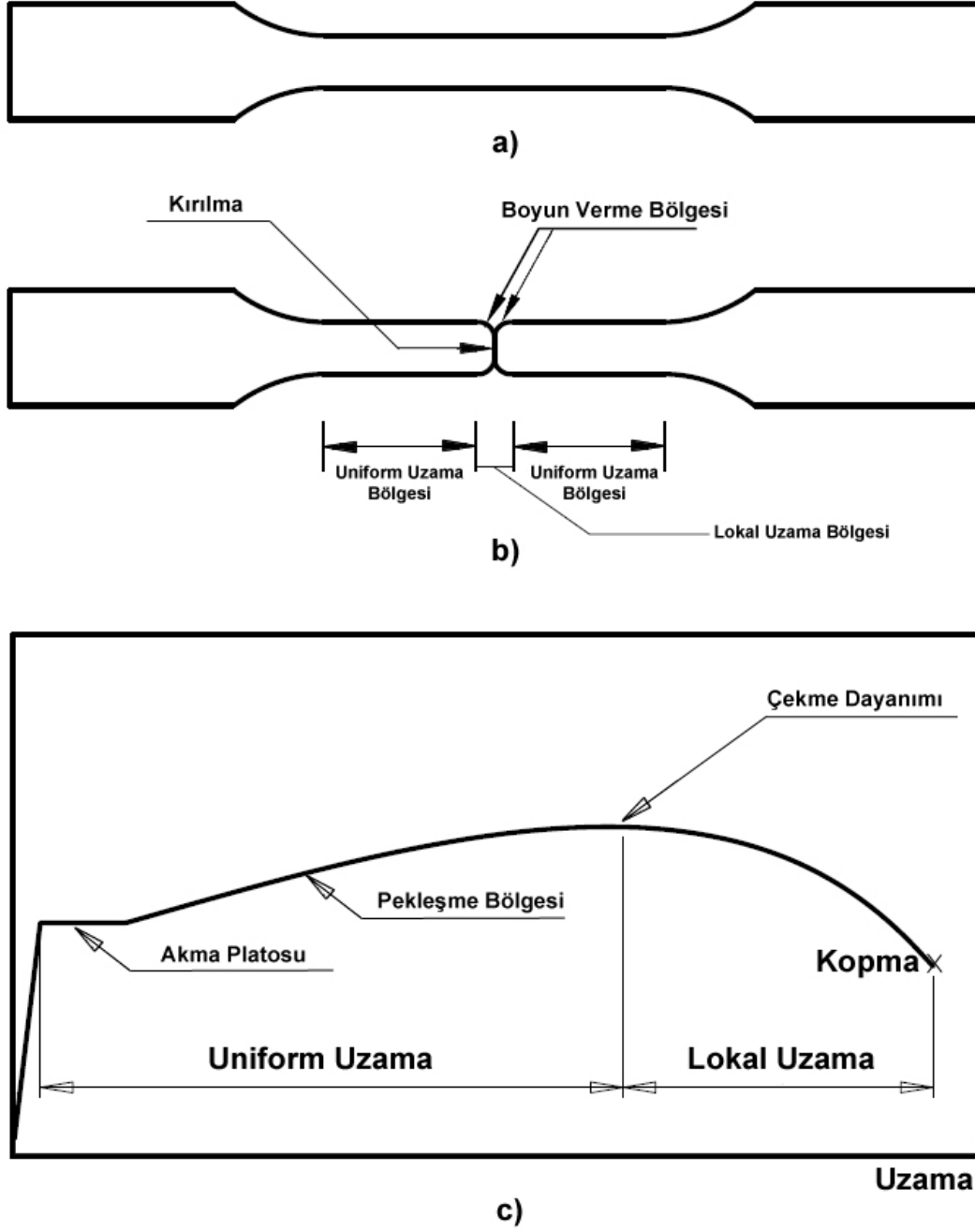
## 2.4 Kaynaklanabilme Özelliği

Kaynaklanabilme özelliği; yapılan kaynak işleminin güvenilirliğini, sağlamlığını kontrol altında tutan ve kaynak çeşitlerine göre standartlerce AWS gibi belli kriterler getirilerek kaynak kalitesinin artırılmasıdır.

Özellikle kaynak işlemi yaparken ön ısıtma yapılmalı kaynak uygulaması bittikten sonra da kaynağın kontrollü soğuması gerçekleştirilmelidir. Aksi halde Amerikada gerçekleşen Northridge depreminde görüldüğü gibi kaynak bölgelerinde martenzit faza geçişten dolayı mikro çatlaklar oluşabilir bu da birleşimin tasarım dayanımından erken kopmasına neden olabilir.

## 2.5 Yorulma ve Sertlik

Tekrarlı ve çevrimsel yükler altında soğukta şekil verilmiş elemanlarda yorulma önemli bir konudur. Çeliğin sertlik dayanımı, kırılmaksızın tüketebildiği enerji ile belirlenir. Genellikle çentik açılmış numunede darbe testinde yutulan enerji miktarı olarak tanımlanır. Süneklikle doğru orantılıdır.



Şekil 2.4 : Süneklik ölçümü[5]

## 2.6 Şekil Verme Yöntemleri

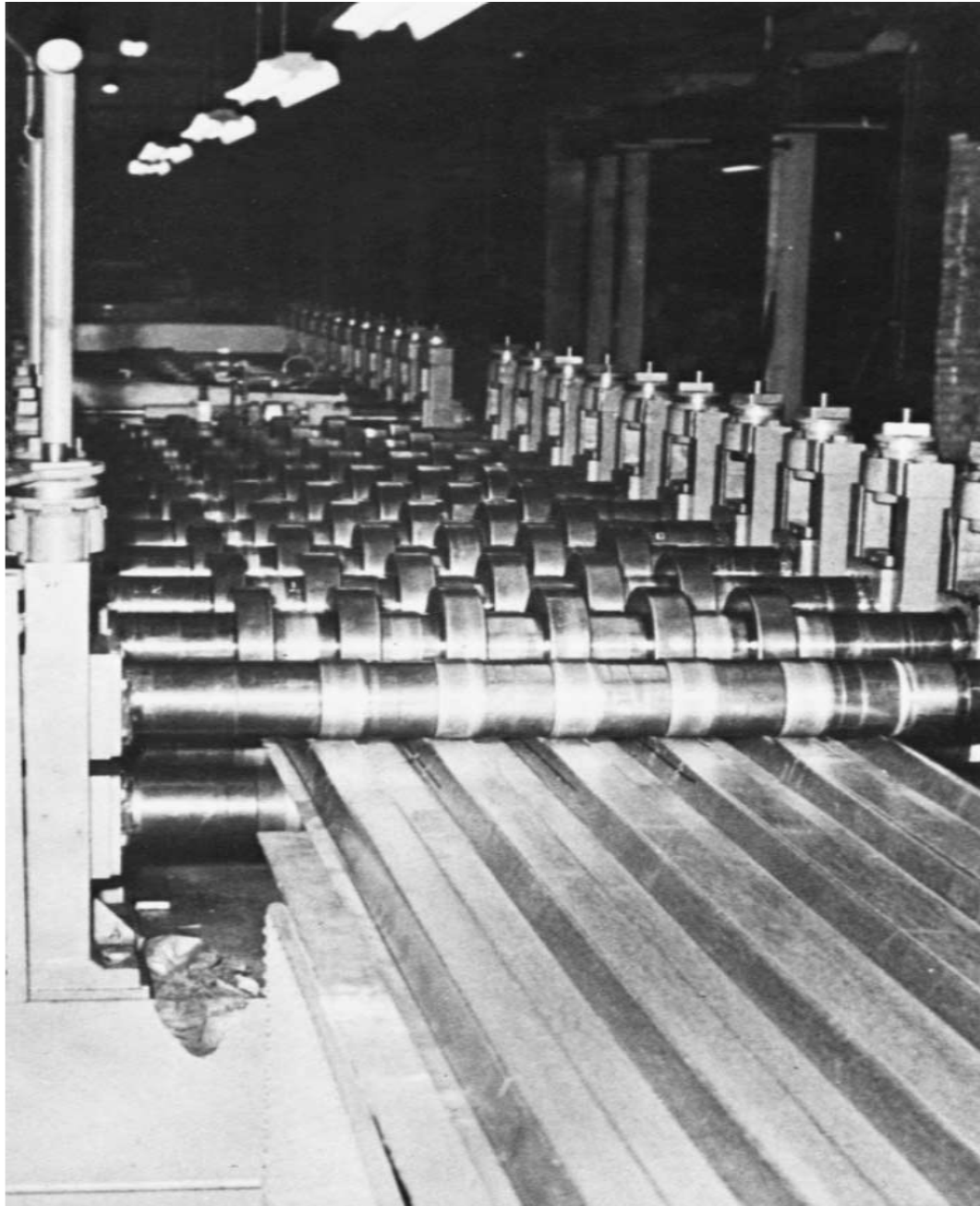
Çelik yapılarda kullanılan ince cidarlı elemanların imalatında üç tip soğuk şekillendirme yöntemi kullanılır. Bunlar;

- Sürekli şekil verme
- Presle şekil verme
- Eğilerek şekil verme

### 2.6.1 Sürekli şekil verme

Bu yöntemde iki veya daha fazla disk serisinin bulunduğu hadde makineleri kullanılır. (Şekil 2.5) . Hızlı üretim ve toplu imalatlar için avantajlıdır. Ayrıca bir diğer avantajı, önceden galvanizlenmiş ya da boyanmış malzemenin kaplamasına zarar vermeden şekil verme işlemi yapabilesidir.

Saç şeridi çeşitli bölümlerde adım adım şekillendirilerek son halini alır. Bu adımların her birine “Pas” adı verilir. Bir kesit işleminin gerekli pas sayısı şekil verilecek olan çeliğin geometrisine bağlı olarak değişir.



Şekil 2.5 : Sürekli şekil verme işlemi [1]

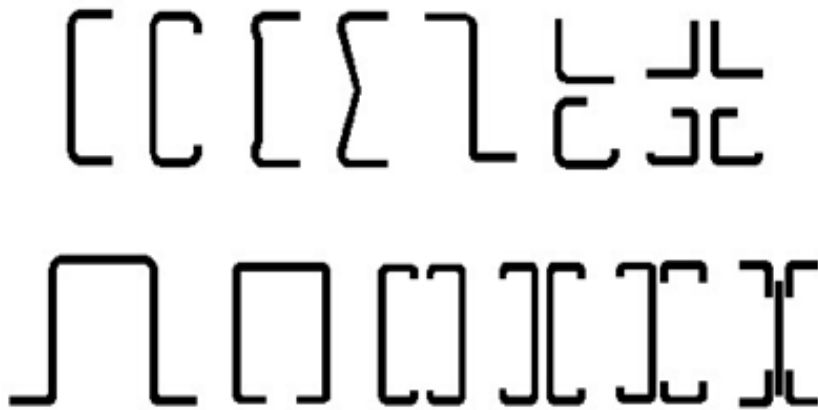
## 2.6.2 Presle şekil verme

Bu şekil verme işlemiyle daha ziyade kısa boydaki ve basit geometrili elemanlar üretilir. Kesit şeklini oluştururken meydana getirilen her köşe bir pres darbesiyle oluşturulur. Üretilebilecek kesitin karmaşıklığı kullanılan pres yatağının şekline bağlıdır. Bu amaçla kullanılan preslerin basma gücü 3-3,5m uzunlukta eleman oluşturulmasına olanak verir.(Şekil 2.6)

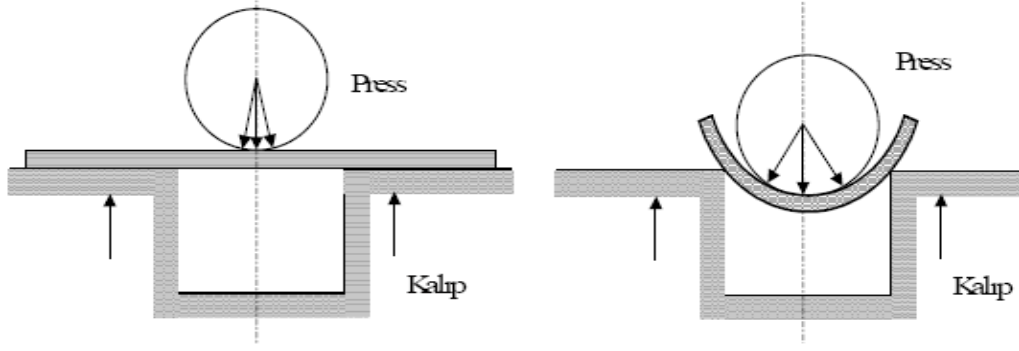


Şekil 2.6 : Presle şekil verme[6]

Bu yöntem, üretilebilecek kesit basit bir şekle sahipse, nispeten enli ve kısa (Şekil 2.7) ise üretin hızı sabit ve küçük ise kullanılabilir. Bu yöntemde, bükme işlemi merkezden dışa doğru gelişir. Eğrilik (kavis) köşe boyunca sabit değildir. Köşenin orta noktasında eğrilik en büyüktür (Şekil 2.8)0 [6].



Şekil 2.7 : Soğukta şekil verilmiş elemanlar [7]



Şekil 2.8 : Presle şekil verme [6]



### **3. BİRLEŞİMLER**

İnce cidarlı elemanların birleşim hesapları hadde profillerinden farklılık göstermektedir. Uzun araştırmalar sonucunda standartlarda tasarım yöntemleriyle ilgili kurallar bir araya getirilmiştir.

Soğukta şekil verilmiş çelik sistemlerde yaygın olarak vidalı, ark nokta kaynaklı ve bulonlu birleşimler daha çok kullanılmakla beraber bunun yanında perçinli ve bazı özel birleşimler olan baskı ve rozet bağlantılar kullanılmaktadır.

#### **3.1 Kaynaklı Birleşimler**

Yapı inşasında kullanılan kaynaklar ark kaynaklar ve basınç kaynakları olarak ikiye ayrılabilir.

Ark kaynakları, birleştirilecek yüzeylerde mekanik basınç veya sıkıştırma kullanılmadan, kaynak metali kullanılarak metallerin birbirine kaynaklandığı bir dizi süreçtir.

Basınç kaynakları ise; birleştirilecek parçaları oluşturan metalin elektrik akımına gösterdiği dirençle ısınarak erir ve ısınan parçalar uygulanan basınçla birbirine kaynar.

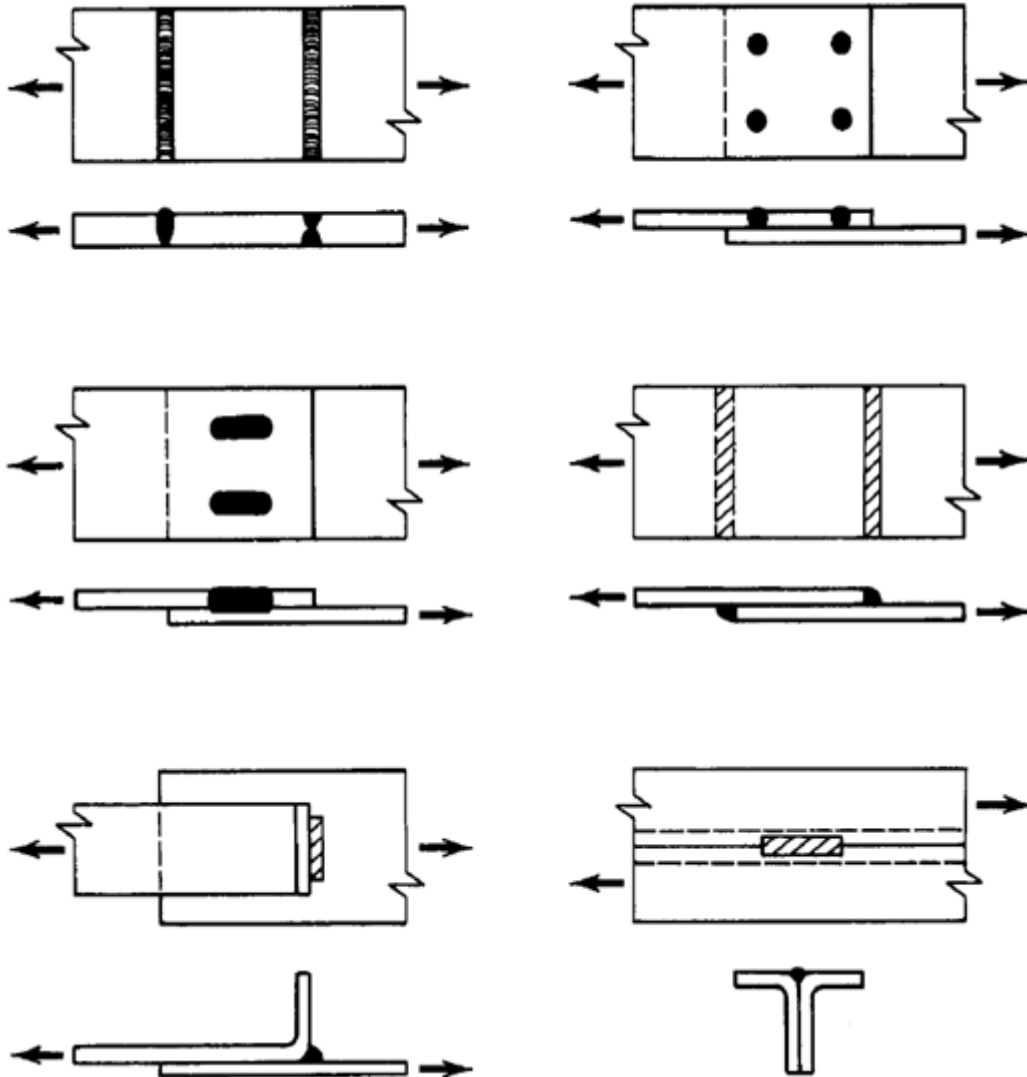
##### **3.1.1 Ark kaynaklar**

Ark kaynakları genellikle montaj, soğukta şekil verilmiş çelik elemanları birbirine bağlamak veya soğukta üretilmiş çelik elemanları sıcak haddelenmiş çerçeve elemanlarına bağlamak için kullanılır. Soğukta şekil verilmiş çelikte kullanılan bazı ark kaynak çeşitleri şunlardır [1]:

- 1) Küt kaynaklar
- 2) Ark nokta kaynakları (tavlama kaynakları)
- 3) Ark oval nokta kaynakları
- 4) Köşe kaynaklar

## 5) Eğri kenarlı küt kaynaklar

Şekil 3.1 de farklı ark kaynak çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Kaynak çeşitleri[1]

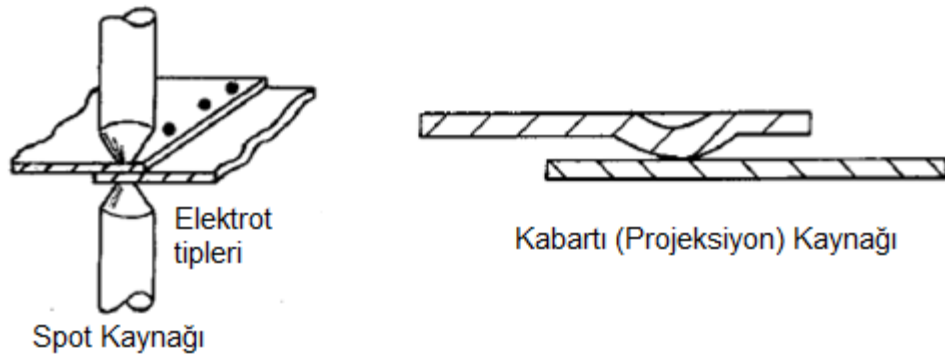
Ark nokta kaynakları daha kalın levhalar için kullanılan çukur kaynaklarına (plug weld) benzer şekilde ince levhalar için kullanılır. Çukur kaynakları ve ark nokta kaynakları arasındaki fark ilki önceden delinmiş deliklerle yapılır, fakat ikincisi için bu deliklere gerek yoktur. Önce üst levhada bir delik yakılır ve daha sonra alt levhayla veya yapısal elemanlarla kaynaşması için kaynak metali ile doldurulur. Benzer şekilde ark nokta kaynakları önceden delinmiş delikler hariç çukur kaynakları (slot weld) ile aynıdır [1].

Amerika Birleşik Devletlerinde Ark nokta kaynakları puddle kaynak (puddle weld) olarak adlandırılır ve yaygın olarak soğukta şekil verilmiş çelik çatı döşemelerinin

mesnet elemanlarına birleşimlerinde kullanılır. Bu mesnet elemanlar genellikle hadde profillerinden oluşan kirişlerden veya kuşaklardan ya da açık gövdeli çelik döşeme kirişlerden oluşmaktadır. Ark nokta kaynağı levha boyunca yakılan deliklerin kaynak metali ile doldurulup levhanın mesnet elemana birleşmesini sağlar [8].

### 3.1.2 Direnç kaynakları

Direnç kaynakları (spot kaynak ve kabartılı kaynak da dahil olmak üzere) genellikle soğuk üretilmiş çelik üretiminde atölye kaynağı olarak kullanılır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Direnç kaynakları [1]

### 3.2 Bulonlu Birleşimler

Bulonlu birleşimlerde dört çeşit göçme tipi vardır bunlar; levhanın boylamasına kesme göçmesi (Şekil 3.3a), levhaların ezilme göçmesi (Şekil 3.3b), levhaların çekme göçmesi (Şekil 3.3c) ve bulonların kesme göçmesi (Şekil 3.3d).

Levhaların boylamasına kesme göçmesi (Tip I) tek bulonlu birleşimlerde, bulon deliği merkezinin kenara olan uzaklığının, bulon çapının 3 katından az olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Bu göçme tipinde Şekil 3.3a da görüldüğü gibi yırtılan levha yığılarak levha kenarına doğru ilerlemektedir.

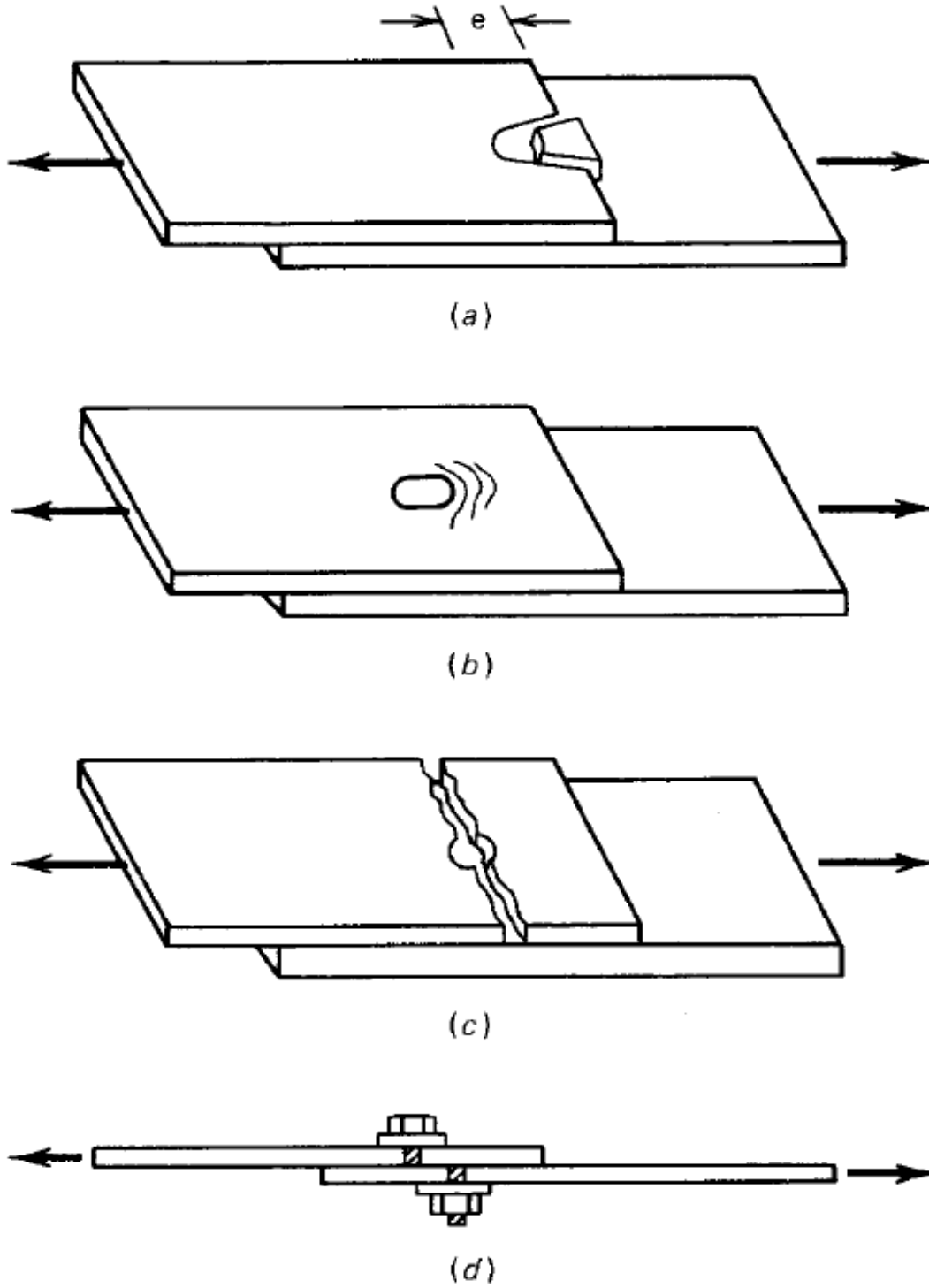
Levhaların boylamasına kesme göçmesi (Tip II) eğer kenar mesafesi yeterince fazla olduğunda Şekil 3.3b de gösterildiği gibi bulonun önündeki levhada yığılma ya da ezilme göçmesi meydana gelebilir.

Levha net kesitindeki yırtılma (Tip III); bulonlu birleşimlerde Şekil 3.3c de görüldüğü gibi oluşan yırtılmanın iki nedeni vardır bunlar;

1. Deliklerin varlığı

2. Bulonlardan levhalara aktarılan lokalize olmuş yük yoğunluğu

Bulonların Kesme Göçmesi (Tip IV); çift tesirli ya da tek tesirli birleşimlerde bulonlarda kesme göçmesi meydana gelmesiyle oluşur.



Şekil 3.3 : Bulonlu birleşimlerde göçme tipleri a-)Levhanın boylamasına kesme göçmesi b-)Levhanın ezilme göçmesi c-)Levhanın çekme göçmesi d-)Bulonların kesme göçmesi[1]

### 3.3 Vidalı Birleşimler

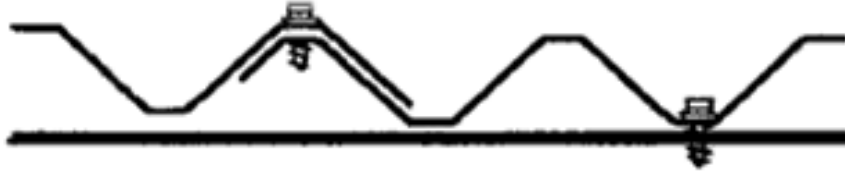
Vidalı birleşimler Şekil 3.4 de görüldüğü gibi kıvrımlı ve düz cephelerde, V kiriş çatılarda ve dalgalı çatılarda uygulanmaktadır.



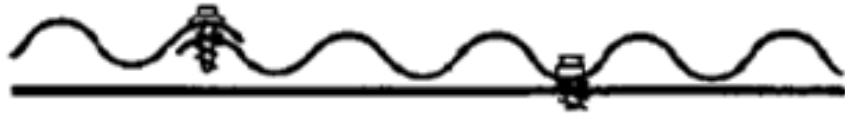
Çıkıntılı kaplama



Düz kaplama



V-kiriş çatı örtüsü

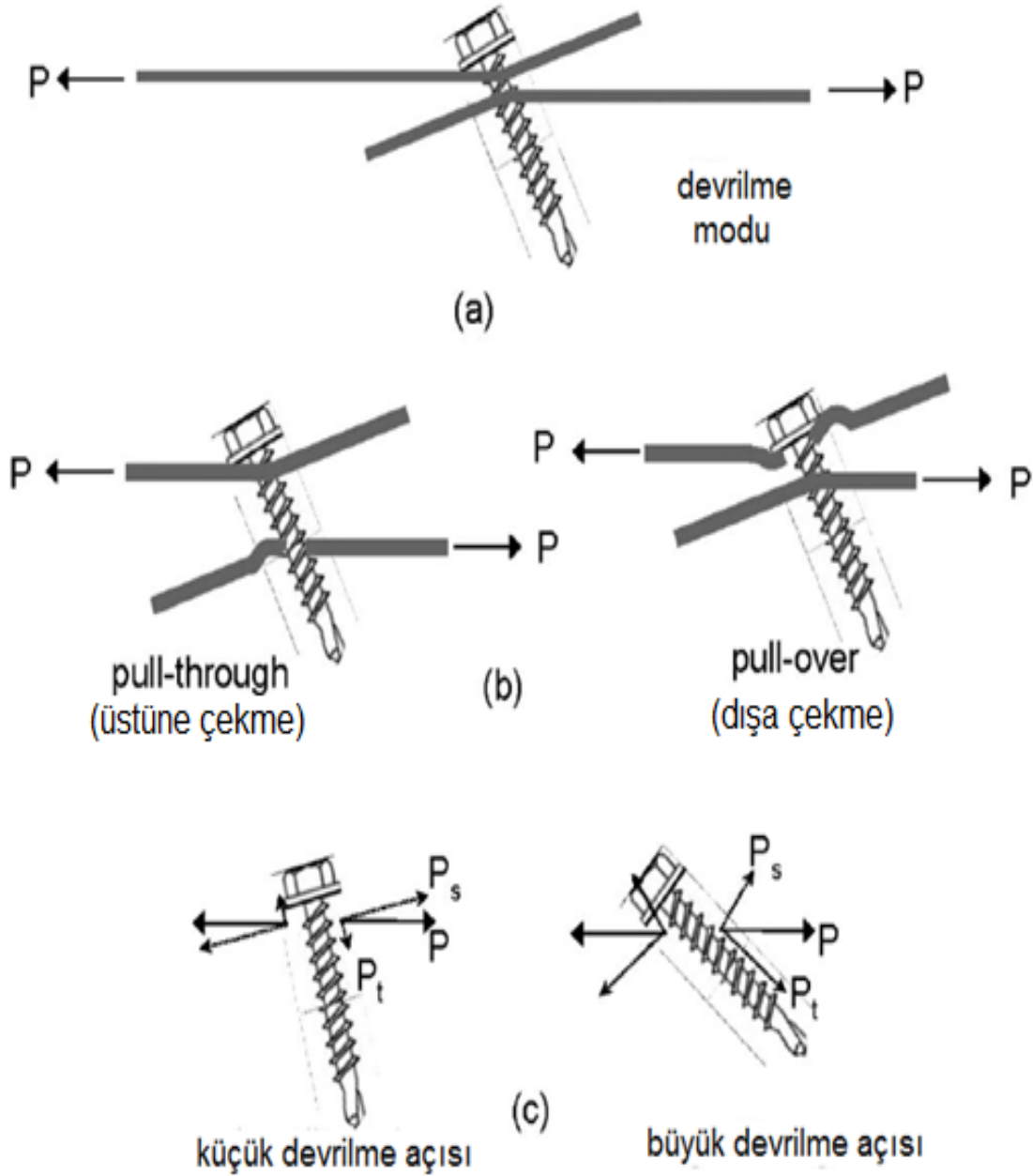


Dalgalı çatı örtüsü

Şekil 3.4 : Kendi deliğini açan vidaların uygulamaları [1]

Vida doğrultusunun bozulması Şekil 3.5 a görüldüğü gibi vidalar ezilme ve çekme kuvvetlerinin her ikisini de içermektedir. Bunun sonucunda birleştirilen elemanda (Şekil 3.5b) üstüne çekme (pull-over) ya da dışa çekme (pull-through) kuvvetlerinin ezilmeyle birlikte bazı kombinasyonlarının sonucu olarak olası göçme meydana gelebilir [9].

Kesme aktaran birleşimlerde Şekil 3.5c gösterildiği gibi çekme nerede baskınsa maksimum dayanım orada oluşabilir [9].



Şekil 3.5 : Vidalı birleşimlerde göçme tipleri a-) vidalarda ezilme ve çekme b-)üstüne ve dışına çekme durumu c-)kesme aktaran vidalar [8]

### 3.4 Perçinler

Ham perçin ve tüp perçin soğukta şekil verilmiş çelik yapılarda sık sık kullanılırlar. Bunlar montajı basitleştirmek, görünüşü iyileştirmek ve birleşimin maliyetini azaltmak için kullanılırlar.

### 3.4.1 Ham perçin

Perçinler kurma yöntemlerine pull-stern perçin, tabanca (explosive) perçin ve drive-rin perçin olmak üzere 3 tipe ayrılabilirler [1];

1-) Pull-stern perçin; Şekil 3.6 de pull-stern perçinler 3 tipe ayrılabilir;

- a- Kendiliğinden kapanan perçin (Self-Plugging); Mil perçinin gövdesi boyunca olmamak üzere içeri çekilmiştir ve tasarım çözümü ayrı işlemlerle giderilir.
- b- Pull-through perçin; mandrel ya da milin tamamen dışarı sıyrılması ve içi boş perçinden ayrılmasıdır.
- c- Crimped-mandrel perçinleri; Mandrelin gerekli olan bir parçası perçin gövdesindeki tapa gibi

2-) Tabanca (Explosive) perçin

Tabanca (Explosive) perçinler gövdesindeki bir kimyasal sarj olan bir perçin tipidir. Perçin başının uygulanan ısıyla kör ucu genişletilir.

3-) Drive-Pin perçinler

Perçinin baş tarafında kurulan ayrı bir pim ve perçin gövdesinden olmak üzere iki kısımdan meydana gelir. Perçin gövdesinde çekiçle vurarak çakılan pimin kör tarafındaki çatal ucu genişler.

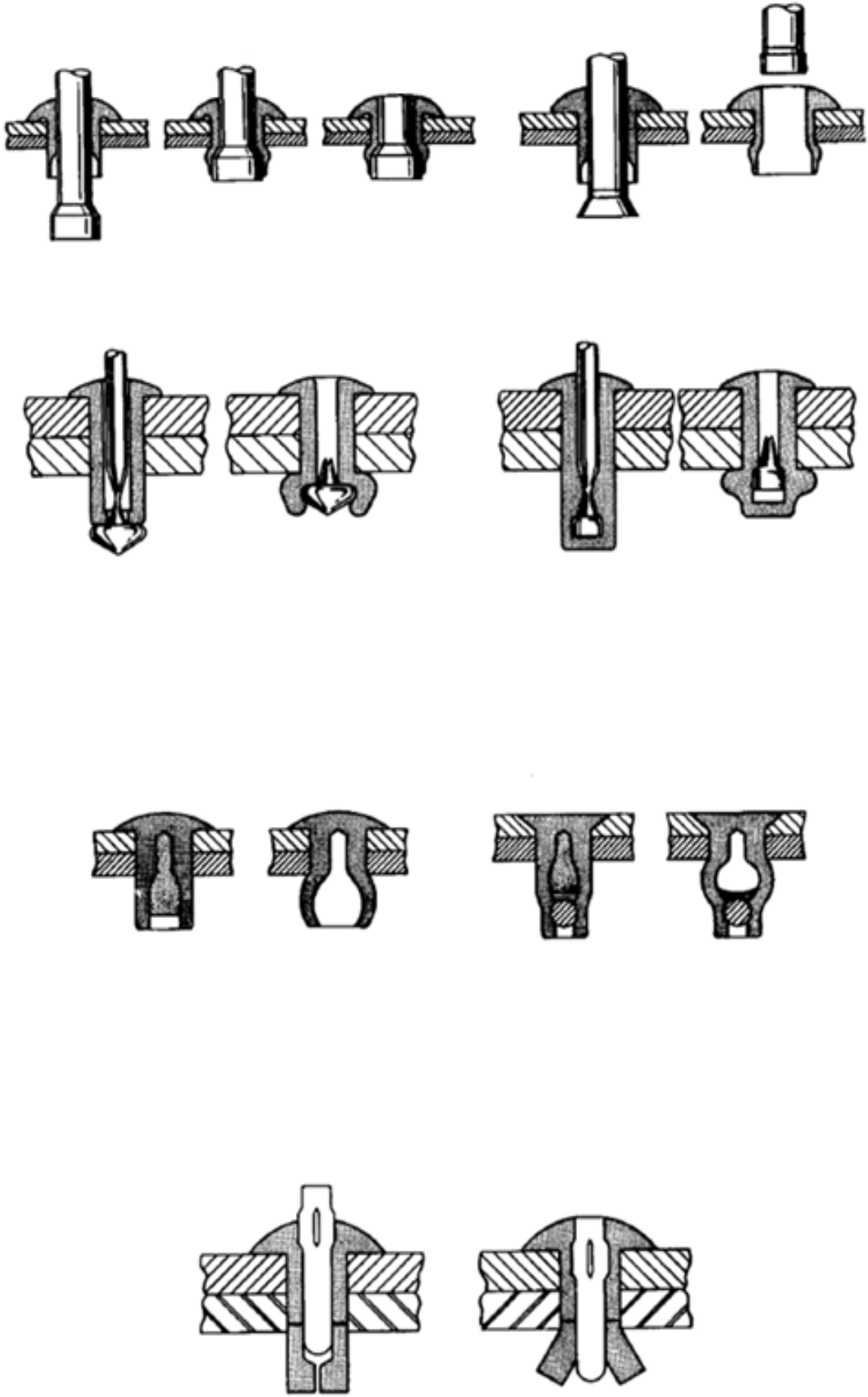
Ham perçin kullanılan birleşimlerin tasarımında aşağıda tavsiye edilen kurallar uygulanabilir.

Kenar mesafesi; Perçin çapının iki katı olarak alınır. Ortalama kenar mesafesi; hafif yüklemeli birleşimlerde bu değer 1,5 katına düşürülebilir ancak ağır yüklemelerde ise perçin çapının 3 katı gereklidir.

Aralık; Perçinler arası mesafe perçin çapının 3 katı olarak alınır. Yükün durumuna göre aralık arttırılabilir veya azaltılabilir.

Çekme ve Ezilme Gerilmesi; net kesitteki çekme gerilmesi ve ezilme gerilme bulonlu birleşimlerdeki gibi hesaplanır.

Kesme Gerilmesi; kesme gerilmesi üretici firma tarafından verilmelidir.



Şekil 3.6 : Ham perçin tipleri[1]

### 3.5 Baskı ve Rozet Bağlantılar

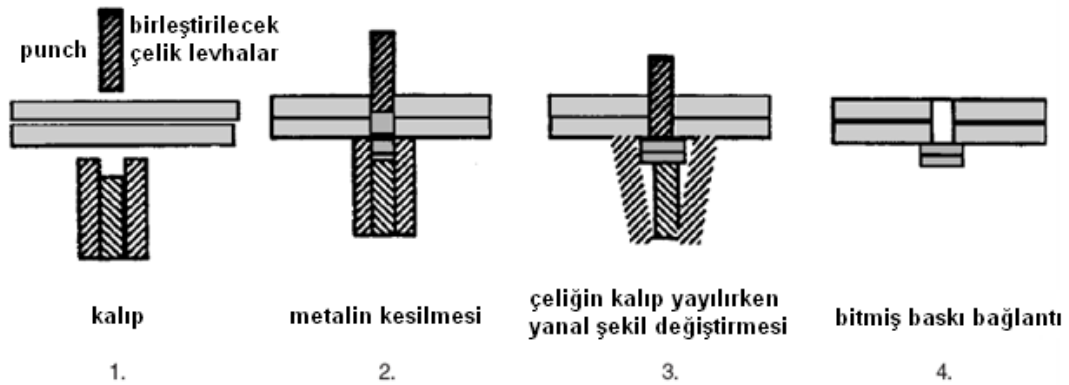
#### 3.5.1 Baskı bağlantılar

Baskı bağlantılar soğukta şekil verilmiş çelik kesitlerde yeni bir yöntemdir. Kaynaklı, perçinli, bulonlu birleşim yöntemlerine karşı birçok avantaja sahiptir. Bunlar [10];

- Isıl işleme gerek duyulmaz böylece koruyucu katmana zarar vermez.
- Tek bir operasyonla ve ideal bir otomatizasyona uygun olarak hızlı bir işlemdir.
- Bilgisayar tabanlı yöntem kullanılarak kolayca kalite kontrol yapılır
- Birleştirilen metallerin eş metalleri birleşimde şekil vermede kullanılır böylece bulonlu

ve perçinli birleşimlerin aksine sarf malzemesi olmaz.

Baskı bağlantıların uygulanması şekil 3.7 de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.7 : Baskı bağlantı şekli gerçekleştirilmesi [10]

#### 3.5.2 Rozet bağlantılar

Rozet bağlantılar duvar panel dikmelerinde ve çatı makasları gibi soğukta şekil verilmiş çelik bileşenler üretimi için yeni bir otomatikleşmiş yaklaşımdır. Bağlanmış bir parçanın prefabrik delikleriyle diğer parçanın bilezik deliklerinin birlikte eş olarak şekil verme işlemidir. Bağlantı işlemi Şekil 3.8 de gösterilmiştir [11].

Son yıllarda rozet bağlantıların dayanımı ve davranışı bununla birlikte üretilmiş ince cidarlı kesitler Helsinki Teknoloji Üniversitesinden Makelainen, Kesti, Kaitila, ve Sahramaa tarafından araştırılmaktadır [1].



#### **4. STANDARTLAR VE TASARIM**

Dünya da soğukta şekil verilmiş çelik yapılar için birçok çeşitli standart mevcuttur. Amerika'da AISI S-100, Avrupa'da Eurocode, Avustralya'da AS/NZS ve Kanada da ise S 136 bunlardan belli başlılarıdır.

Soğukta şekil verilmiş sistemlerin birleşim hesapları normal hadde profillerden ince cidarlı olması sebebiyle bazı farklılıklar göstermektedir.

Bu bölümde soğukta şekil verilmiş birleşimlerin AISI S-100 ve Eurocode 3 Part 1-3 e göre tasarımları incelenmiş ve uygulamalar yapılarak tasarım adımları gösterilmiştir.

##### **4.1 AISI Standartına Göre Tasarım**

1996'dan önce, Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI), soğukta şekil verilmiş çelik yapı elemanları, birleşimleri ve montaj tasarımları için 2 ayrı standart yayımladı. Bunlardan bir tanesi Emniyet Dayanımları Tasarımı metodu (ASD) için, diğeri ise Yük ve Dayanım Faktörü ile Tasarım (LRFD) içindi. Bu iki standart 1996'da tek bir standart olarak birleştirildi. Özdeş tasarımlar üretmeseler de, bu metotların ikisi de soğukta şekil verilmiş çelik yapı elemanlarının tasarımı için kullanılırlar. 2001 ve 2007 yıllarında Kuzey Amerika standardı yayınlandığında Kanada'da kullanılması için LSD yöntemi standartta eklendi. ASD ve LRFD yöntemleri sadece Amerika ve Meksika'da kullanılmaktadır. Tasarım kuralları gerilmeler yerine dayanıma göre temellendirildiği için ASD yöntemi “güvenlik dayanımlarına göre tasarım” olarak yeniden tanımlandı [1].

ANSI tarafından kabul edilen Kuzey Amerika Standartı Amerika'da AISI S 100 olarak kullanılmakta. Aynı şekilde CSA tarafından kabul edilen Kuzey Amerika Standartı Kanada'da ise S 136 olarak kullanılmaktadır [1].

## 4.2 Güvenlik Dayanımı Yöntemine Göre Tasarım (ASD)

1946'da yılında yayınlanmış olan ilk AISI standartından bu yana, Amerika ve diğer ülkelerdeki soğukta şekil verilmiş çelik yapı elemanları ve birleşimlerinin tasarımında kendilerine “Güvenlik Dayanımlarına Göre Tasarımı” temel almışlardır. Bu metotta, yapısal elemanlar ve birleşimleri için gerekli dayanımlar (eksenel kuvvetler, eğilme momenti, kesme kuvveti vb.), 4.2.2 de anlatıldığı gibi tüm uygulanabilir yük birleşimleri için belirtilen çalışma yükü veya karakteristik yükler kullanılarak yapılan yapısal analizle hesaplanmaktadır. Standartta *güvenli dayanım*, karakteristik dayanım ve belirtilen güvenlik faktörü ile belirlenir [1].

### 4.2.1 ASD yöntemiyle tasarım şekli

ASD yöntemi için gerekli dayanım,  $R$ , güvenli dayanımı,  $R_a$ , geçmemelidir:

$$R \leq R_a \quad (4.1)$$

İzin verilen tasarım dayanımı denklem 4.2 de gösterilmiştir.

$$R_a \leq R_n / \Omega \quad (4.2)$$

$R_n$ : Karakteristik dayanım

$\Omega$ :  $R_n$  bağlı olarak güvenlik katsayısı

Denklem 4.2 deki karakteristik dayanım bir elemanın ya da ögenin sınır durum (limit state) ya da geçme modundaki dayanımı ya da kapasitesidir. Karakteristik dayanım, Kuzey Amerika standartının B'den G'ye kadar olan bölümünde, 1 ve 2 eklerinde, A ve B eklerinde belirtilen tasarım denklemleriyle kesitsel özellikler (kesit alanı, eylemsizlik momenti, kesit modülü, dönme yarıçapı vb.) ve malzeme özellikleri kullanılarak hesaplanmaktadır [1].

Kuzey Amerika standartlarının C'den E'ye kadar olan bölümleriyle A ve B eklerinde verilen güvenlik katsayıları uygulanan yükün tahminindeki belirsizliklerin yanı sıra tasarım, üretim (fabrikasyon), yapı elemanlarının montajı ve birleşimlerindeki var olan belirsizliğin giderilmesi için kullanılır. Ayrıca belirtmek gerekir ki ASD yönteminde, farklı yük durumlarının belirsizliklerini karşılamak için tek bir güvenlik katsayısı kullanılır [1].

#### 4.2.2 ASD yöntemi için yük kombinasyonları

ASD yöntemiyle tasarım için ASCE 7-05 standardı kullanıldığı zaman aşağıdaki yük kombinasyonları uygulanmalıdır [12].

$$D + F \quad (4.3)$$

$$D + H + F + L + T \quad (4.4)$$

$$D + H + F + L + (L_r \text{ veya } S \text{ veya } R) \quad (4.5)$$

$$D + H + F + 0.75(L + T) + 0.75(L_r \text{ veya } S \text{ veya } R) \quad (4.6)$$

$$D + H + F + (W \text{ veya } 0.7E) \quad (4.7)$$

$$D + H + F + 0.75(W \text{ veya } 0.7E) + 0.75L + 0.75(L_r \text{ veya } S \text{ veya } R) \quad (4.8)$$

$$0.6D + W + H \quad (4.9)$$

$$0.6D + 0.7E + H \quad (4.10)$$

Burada;

$D$  :Ölü Yük

$E$  : Deprem Yüğü

$F$  :Akışların tanımlanan basınç ve maksimum yüksekliklerinden kaynaklanan yük

$H$  :Yanal toprak basıncı, yer altı suyu basıncı ya da dökme malzemenin basıncından kaynaklanan yük

$L$  : Hareketli Yük

$L_r$  :Hareketli çatı yüğü

$R$  :Yağmur yüğü

$S$  :Kar yüğü

$T$  :Self-straining kuvveti

$W$  :Rüzgar yüğü

### 4.3 Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım (LRFD)

Son yıllarda, yük ve dayanım faktörü tasarımı (LRFD) Amerika ve diğer ülkelerde çelik yapıların inşasında kullanılmaktadır. Yük ve dayanım faktörü tasarımının faydaları: (1) farklı yükler ve dayanımların belirsizlikleri ve çeşitliliği, çok sayıda katsayıyla hesaplanabilmektedir. (2) olasılık teorisi kullanılarak, tüm tasarımlar tutarlı bir güvenilirlik kazanabilirler. Bundan dolayı, yük ve dayanım katsayılarıyla tasarım metodu, Emniyet Gerilmesi yönteminden daha güvenilir ve rafine bir tasarım temeli sağlar [1].

#### 4.3.1 Yük ve dayanım katsayılarıyla (LRFD) tasarım şekli

4.2.1. de bahsedildiği gibi, Güvenlik dayanımları yöntemiyle tasarımı, muhtemel bir limit durumunda, sabit ve hareketli yükler için sadece bir güvenlik faktörü uygulayabilir. *Sınır durum* yükünü taşıyan bir elemanın ya da yapının, kullanıcının sistemi kullanmasını tehlikeli ya da artık kullanılmaz hale gelmesi durumudur. Soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlar için, tipik limit yük durumları akma, burkulma, burkulma sonrası dayanım, kesme gecikmesi, gövde buruşması, fazla sehim ve diğerleri. Bu limit yük durumları ya laboratuarda ya da deneyim sonucu tespit edilmişlerdir ve yoğun analitik ve deneysel araştırma ile incelenmişlerdir [1].

Emniyet gerilmesi tasarımının tersine, Yük ve Dayanım katsayılarıyla tasarım, fabrikasyon, materyal özellikleri, yükleme, tasarım ve analizin belirsizliği ve çeşitliliğini gidermek için arttırılmış yük katsayısı ve dayanım katsayıları kullanılmaktadır. Yapıdaki yeterli güvenliği sağlamak için gereken tasarım formatı 4.7 denkleminde açıklanmıştır [1].

$$R_u \leq \phi R_n \quad (4.11)$$

Burada;

$R_u$ : Arttırılmış yükler için gerekli dayanım:  $\sum \gamma_i Q_i$

$\gamma_i$ :  $Q_i$  bağlı yük arttırma katsayısı

$Q_i$ :Yük etkisi

$R_n$  : karakteristik dayanım

$\phi$  :dayanım azaltma katsayısı

$\phi R_n$  :tasarım dayanımı

$R_n$  , elemanın toplam dayanımının ya da limit yük durumundaki elemanın uygulanan tasarım kurallarına göre kesitsel ya da malzeme özelliklerinden hesaplanan karakteristik dayanımdır. Azaltma katsayısı  $\phi$  ,  $R_n$  nin değerlerini ve belirsizliklerini açıklayan ve genellikle birden küçüktür. Yük etkisi  $Q_i$  yapısal analizden hesaplanan en kesitteki kuvvetlerdir.  $\gamma_i$  , uygulanan yüklerin değerlerinden ve belirsizliklerinden oluşan yük arttırma katsayısıdır. Yük arttırma katsayıları genellikle birden büyüktür[1].

### 4.3.2 Yük ve dayanım katsayılarıyla tasarım (LRFD)yöntemi için yük kombinasyonları

Yapıların, bölümlerin ya da temellerin tasarım dayanımları aşağıdaki kombinasyonlardan arttırılmış yük etkilerinden büyük ya da eşit olması için tasarlanırlar [12]:

$$1.4D + F \quad (4.12)$$

$$1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ veya } S \text{ veya } R) \quad (4.13)$$

$$1.2D + 1.6(L_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (L \text{ veya } 0.8W) \quad (4.14)$$

$$1.2D + 1.6W + L + 0.5(L_r \text{ veya } S \text{ veya } R) \quad (4.15)$$

$$1.2D + 1.0E + L + 0.2S \quad (4.16)$$

$$0.9D + 1.6W + 1.6H \quad (4.17)$$

$$0.9D + 1.0E + 1.6H \quad (4.18)$$

Yukarıdaki tüm semboller bölüm 4.2.2 de tanımlanmıştır. Aşağıda ise istisna durumlar verilmektedir [12];

1. (4.14), (4.15), ve (4.16 ) daki L nin yük katsayısı, garajlar, kaplanan alanlar ve hareketli yükün 4.79 Kpa dan fazla olduğu tüm alanlarda 0.5 alınır.
2. Denklem (4.17) (4.18) H nin yük katsayısı, W ya da E den kaynaklanan yapı hareketi H' ye zıt ise sifıra eşit alınmalıdır. Burada H haricindeki diğer kuvvetlerin yaptığı yapı hareketlerine yanal toprak basıncı karşı koyar.

3. Denklem (4.13) (4.15) (4.16) S yükü düz çatı kar yükü ( $p_f$ ) ya da eğimli çatı kar yükü ( $p_s$ ) olarak alınmalıdır.

Yukarıdaki düzenlemelere ek olarak, aşağıdaki yük kombinasyonları, AISI standartının çatı ve zemin birleşik inşasında yer almıştır:

$$1.2D_s + 1.6C_w + 1.4C \quad (4.19)$$

$D_s$  : Çelik döşemenin ağırlığı

$C_w$  : Islak çimentonun inşa sırasındaki itibari ağırlığı

$C$  : Ekipman, işçi ve kalıpları içeren ancak ıslak çimentonun ağırlığını içermeyen inşaat yükü

## **5. SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ İNCE CİDARLI ELEMANLARDA BİRLEŞİM ELEMANLARININ AISI /NAS'A GÖRE TASARIMI**

### **5.1 Birleşimlerde Kaynak Tasarımı**

Birleşimler, birleştirilen elemanda varsa dış merkezlik dikkate alınarak gerekli dayanımı taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır [13].

Soğukta şekil verilmiş çelik yapılarda kaynaklar, ark kaynakları ve basınç kaynakları olarak sınıflandırılabilirler. Ark kaynaklar soğukta şekil verilmiş çelik elemanların birbirleriyle ya da hadde profili çelik çerçevelerle, döşeme panelleriyle yaptığı birleşimlerde kullanılır. Burada küt kaynaklar, ark nokta kaynaklar, köşe kaynaklar ve eğri kenarlı küt kaynaklar kullanılır [13].

Birleştirilen kısmın en incisinin kalınlığı 4,76 mm ya da daha az olan soğukta şekil verilmiş çelik yapı elemanların kaynaklı birleşimlerinde aşağıdaki tasarım kuralları uygulanabilir. Birleştirilen kısmın en ince levha kalınlığı 4,76 mm aştığında ANSI/AISC-360 uygulanmalıdır [13].

Kaynaklı birleşimlerin tasarım standartları ilk olarak Cornell üniversitesinde yapılan yoğun test programları sonucunda elde edilen deneysel veri sonuçlarıyla oluşturulmuştur. Bununla beraber Cornell araştırmaları AWS (Levha Çelikler için Yapı Kaynak Yönetmeliği) için deneysel temel sağlanmıştır. Çoğu durumda AWS standardı bu standartın birçok bölümüyle uyumluluk sağlamaktadır [13].

Birleştirilen levhanın kalınlığı 4,76 mm ya da küçük olduğunda ark kaynaklar AWS D 1.3 e göre kullanılmalıdır. Kaynak pulları ve kaynak işlemi AWS D 1.3 de belirtilen kaliteyi sağlamalıdır. AISC-NAS standartında çizelge 5.1 de gösterildiği gibi kaynak pozisyonları uygulanmalıdır [13].

Direnç kaynakları AWS C 1.1 ya da AWS C 1.3 de verilen işlemlere uyum sağlamalıdır.

Standartın bu bölümünde kullanılan terimler AWS standartında verilen standart terim dizinine uymaktadır.

**Çizelge 5.1 : Kaynak pozisyonları[13]**

Kaynak Pozisyonu						
Birleşim Tipi	Uç Uca	Ark	Ark	Ek ya da T	Eğri	V- türü
	Küt Kaynak	Nokta Kaynağı	Oval Nokta Kaynağı	tipi Köşe Kaynak	Kenarlı Küt Kaynak	Küt Kaynak
	F	-	F	F	F	F
	H	-	H	H	H	H
Levha-	V	-	-	V	V	V
Levha	OH	-	-	OH	OH	OH
	-	F	F	F	F	-
Levha-	-	-	-	H	H	-
Kalın	-	-	-	V	V	-
Eleman	-	-	-	OH	OH	-

(F=Düz, H= Yatay, V=Dikey,OH=Tepeden)

### 5.1.1 Küt kaynaklar

Uc uca küt kaynaklar karakteristik dayanımlarını hesaplamak için kullanılan denklemler AISC LRFD standartından alınmıştır. Bu yüzden AISC standartındaki etkili küt kaynak kalınlığı,  $t_e$ , tanımı yönetmeliğin bu bölümdeki tanımına eşittir. Önceden davranışı belirlenmiş birleşimlerin detayları AWS D 1.3-98 ya da eşdeğer diğer standartlarda verilmiştir [13].

2010 yılında, standartın 1. madde deki çekme ve basıncın kaynak eksenine paralel olduğu durum revize edilmiştir; böylece denklem 5.1 sadece çekme ve basıncın etkili kaynak alanına dik olduğu durumda uygulanabilir. Çekme ve basıncın kaynak eksenine paralel olduğu durumda, kaynağın dayanımını hesaplamaya gerek yoktur[13].

1. Etkili kaynak alanına dik çekme ve basınç:

$$P_n = L t_e F_y \quad (5.1)$$

$$\Omega = 1.70(ASD)$$

$$\phi = 0.90(LRFD)$$

$$0.80(LSD)$$

2. Etkili kaynak alanındaki kesme için karakteristik dayanımı denklem 5.2 ve 5.3 den küçük olmalıdır.

$$P_n = L t_e 0.6 F_{xx} \quad (5.2)$$

$$\Omega = 1.90(ASD)$$

$$\phi = 0.80(LRFD)$$

$$0.70(LSD)$$

$$P_n = L t_e F_y / \sqrt{3} \quad (5.3)$$

$$\Omega = 1.70(ASD)$$

$$\phi = 0.90(LRFD)$$

$$0.80(LSD)$$

$P_n$  = Küt kaynağın karakteristik dayanımı

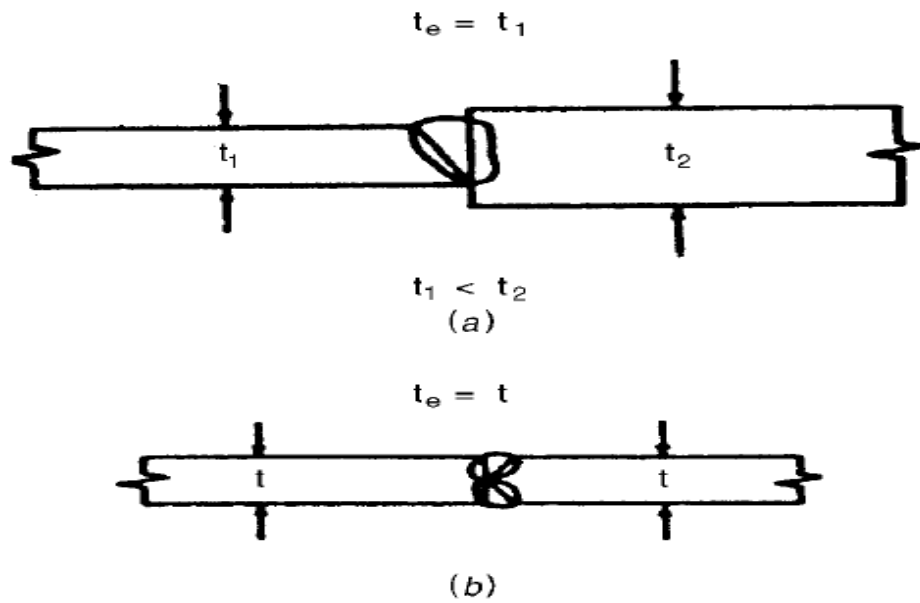
$L$  = Küt kaynağın boyu

$t_e$  = Etkili küt kaynak kalınlığı

$F_y$  = En küçük dayanımı olan levhaya göre akma gerilmesi

$F_{xx}$  = Elektrotların karakteristik çekme dayanımı

Denklem 5.1,5.2 ve 5.3 AISC ASD ve LRFD standartının aynısıdır. Etkili küt kaynak kalınlığı Şekil 5.1 de gösterilmiştir [1].



Şekil 5.1 : Etkili küt kaynak kordon kalınlığı [1]

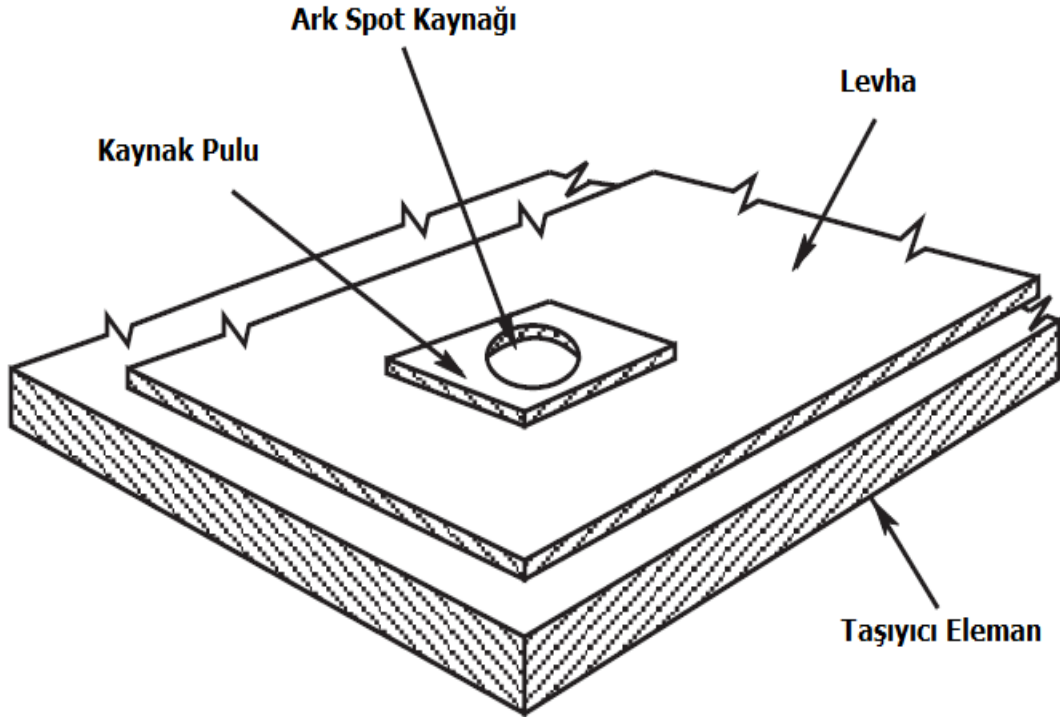
### 5.1.2 Ark nokta kaynakları

Ark nokta kaynakları (puddle kaynaklar), nispeten kalın levhalarda kullanılan oyuk kaynaklar gibi ince levhaların birleşiminde kullanılırlar. Oyuk kaynaklar ile ark nokta kaynaklar arasındaki fark ilkinde önceden açılmış deliklerle birlikte kullanılır, ikincisinde ise buna gerek yoktur. Bunun yerine üst levha ark ile yakılarak delik açılır ve çerçeve eleman ya da levhanın altı kaynak metali ile doldurulur. Standartın E 2.2 bölümü nokta kaynakları ya da diğer adıyla plug kaynakları içermektedir [13].

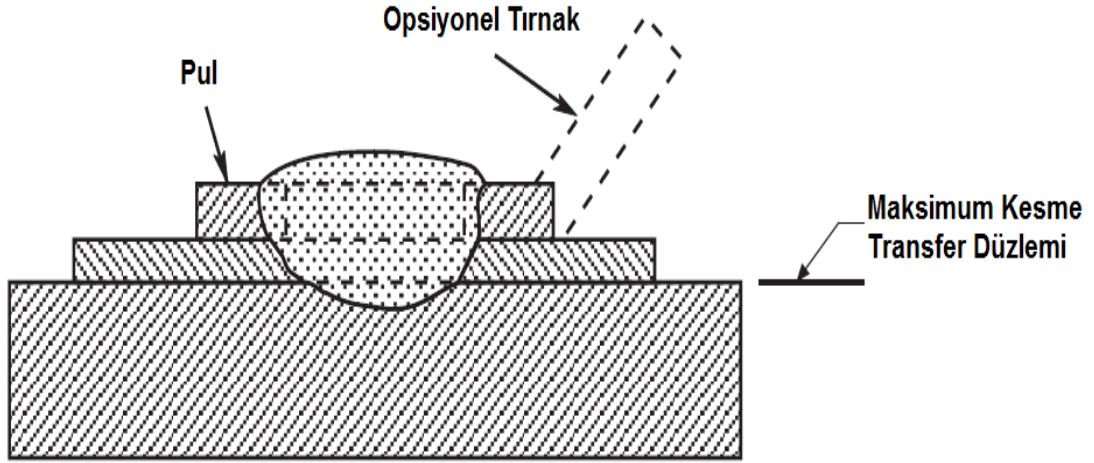
Ark nokta kaynakların levha-kalın mesnet eleman birleşim tipleri aşağıda verilen levha kalınlıklarına uymalıdır [13];

- a-) maksimum tek levha kalınlığı 2.0 mm olmalıdır.
- b-) minimum levha kalınlığı 0.70 mm olmalıdır.
- c-) maksimum çift levha kalınlığı toplamı 2,5 mm olmalıdır.

Kaynaklanacak levha kalınlığı 0.711 mm' den az olduğunda Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 teki gibi kaynak pulu kullanılmalıdır. Kaynak pulu 1.27 mm ve 2.03 mm arasında bir kalınlığa ve en az 9.53 mm çapta önceden hazırlanmış deliklere sahip olmalıdır. Sac levha-sac levha birleşimlerde kayna puluna gerek yoktur. İzin verilebilecek en küçük etkili kaynak bölgesi çapı  $d_e$  9.5 mm 'dir [13].



Şekil 5.2 : Kaynak pulu [13]

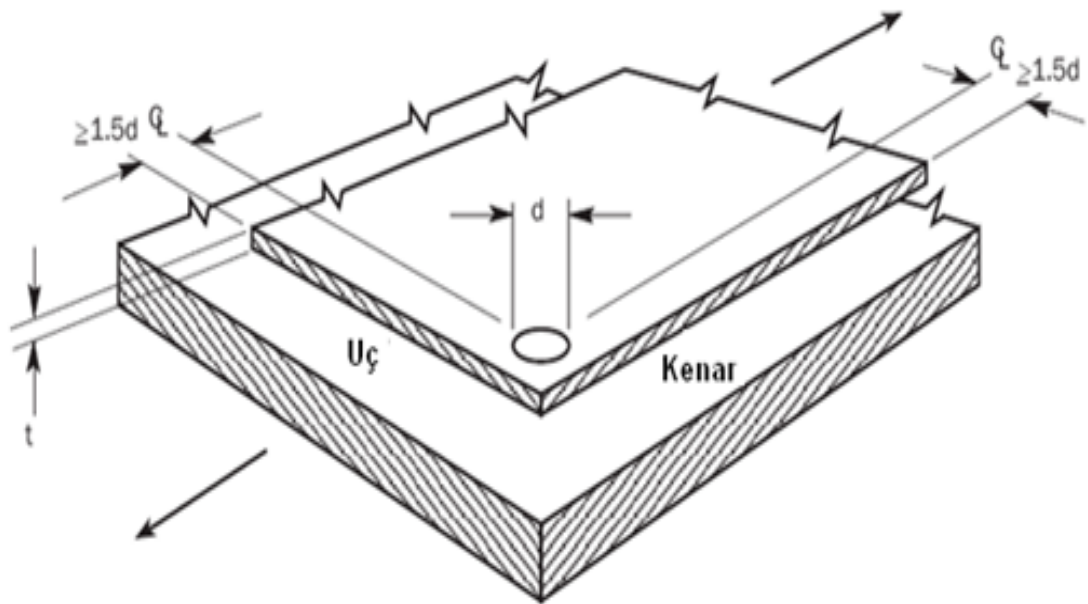


Şekil 5.3 : Kaynak pulu [13]

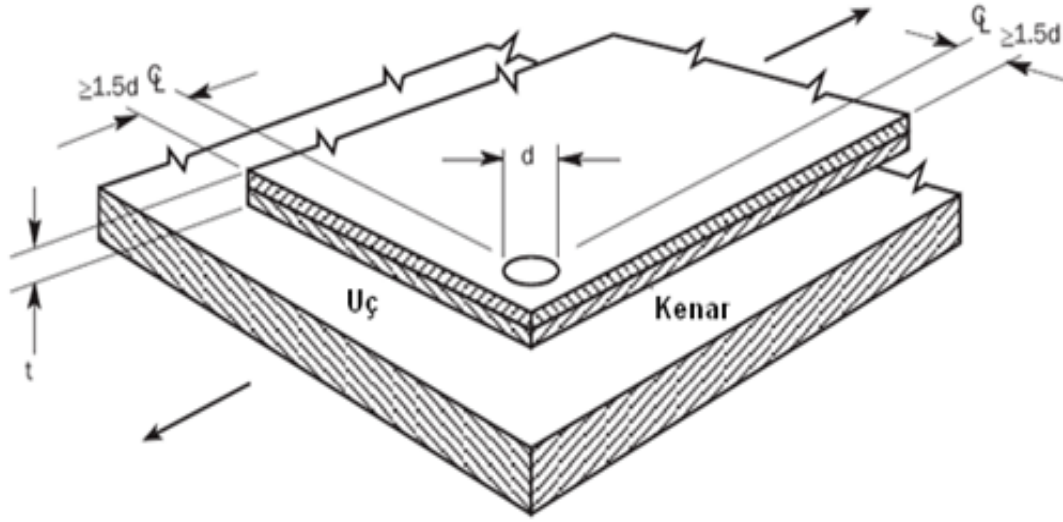
#### 5.1.2.1 Ark nokta kaynaklarında kenar mesafeleri

Standartın 2001 ve 2007 baskısında kuvvet doğrultusunda bir kaynağın merkezinden takip eden kaynağın yakın kenarına veya birleştirilen levhanın kenarına mesafe, gerekli dayanımın  $F_u t$  ye bölümüne eşit olan  $e_{min}$  değerinden büyük olması gerekmektedir. Standartın 2010 baskısındaki E 5.1 bölümünde kesme kırılması kullanılarak eş bir dayanım elde edilebilir [13].

Herhangi bir kaynağın merkezi çizgisinden sonuna veya bağlanan elemanın sınırına olan uzaklığı  $1.5d$ 'den az olmamalıdır. Hiçbir durumda kaynak ve elemanların bitişleri arası  $1.0d$ 'den az olmamalıdır. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5 de gösterilmiştir [13].



Şekil 5.4 : Tek levha da ark nokta kaynak için kenar mesafeleri [13]



**Şekil 5.5 :** Çift levha da ark nokta kaynak için kenar mesafeleri [13]

### 5.1.2.2 Ark nokta kaynaklarında kayma

#### Kalın eleman-sac levha birleşiminde ark nokta kaynağın kayma dayanımı;

Cornell testlerinde ark nokta kaynaklarında standartın E.2.2.2.1 bölümünde gösterildiği gibi 4 tip göçme modu tanımlanmıştır. Bunlar; (1) Kaynak alanındaki kesme göçmesi, (2) kaynak kenarının sebep olduğu levhanın yayılarak yırtılmasıyla birlikte kaynak çevresi boyunca levhaların yırtılması, (3) levha yırtılmasıyla birlikte kaynak kenarının yakınlarındaki burkulmanın birleşimi, (4) kaynak arkasındaki levhanın kesme göçmesi. Burada belirtmek gerekir ki özellikle levha yırtılma tipindeki çoğu göçmeler Şekil 5.6 da gösterildiği gibi önemli inelastic düzlem dışı şekil değiştirmelerle aynı anda ya da öncesinde meydana gelebilmektedir. Bu davranış şekli pimle birleştirilmiş levhalarda yaygın olarak görülmektedir. Bu davranışlar iki kaynak arasındaki mesafenin azaltılmasıyla önlenmelidir [13].

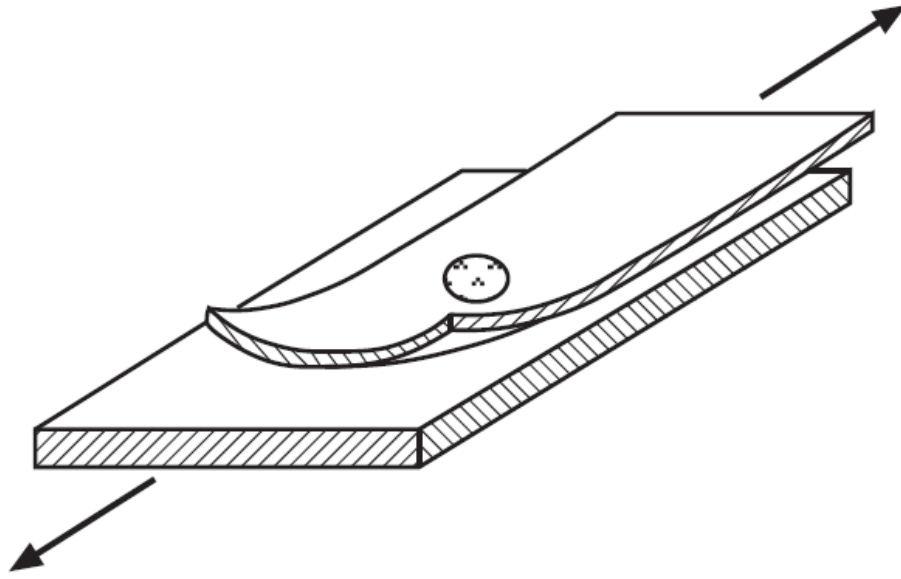
Her bir ark nokta kaynağının kalın eleman ile levhalar arasındaki karakteristik kesme dayanımı,  $P_n$ , standartın E.2.2.2.1 bölümüne göre denklem 5.4, 5.5, 5.6 ve 5.7 de hesaplanan değerlerin en küçüğüdür [13].

$$P_n = \frac{\pi d_e^2}{4} (0.75 F_{xx}) \quad (5.4)$$

$$\Omega = 2.55(ASD)$$

$$\phi = 0.60(LRFD)$$

0.50(LSD)



Şekil 5.6 : Kaynaklı birleşimlerin düzlem dışı burkulması [13]

$(d_a/t) \leq 0.815 \times \sqrt{(E/F_u)}$  için;

$$P_n = 2.20 t d_a F_u \quad (5.5)$$

$\Omega = 2.20(ASD)$

$\phi = 0.70(LRFD)$

0.60(LSD)

$0.815 \times \sqrt{(E/F_u)} < (d_a/t) < 1.397 \times \sqrt{(E/F_u)}$  için;

$$P_n = 0.280 \times \left[ 1 + 5.59 \frac{\sqrt{E/F_u}}{d_a/t} \right] \times t \times d_a \times F_u \quad (5.6)$$

$\Omega = 2.80(ASD)$

$\phi = 0.55(LRFD)$

0.45(LSD)

$(d_a/t) \geq 1.397 \times \sqrt{(E/F_u)}$  için;

$$P_n = 1.40 t d_a F_u \quad (5.7)$$

$$\Omega = 3.05(ASD)$$

$$\phi = 0.50(LRFD)$$

$$0.40(LSD)$$

Burada;

$P_n$  = Kaynağın karakteristik kesme dayanımı

$d_e$  = Kaynak alanının etkili çapı

$$= 0.7d - 1.5t \leq 0.55d$$

$d$  = Şekil 5.7 ve 5.8 de görüldüğü gibi ark nokta kaynağının dış yüzünün görünür çapı

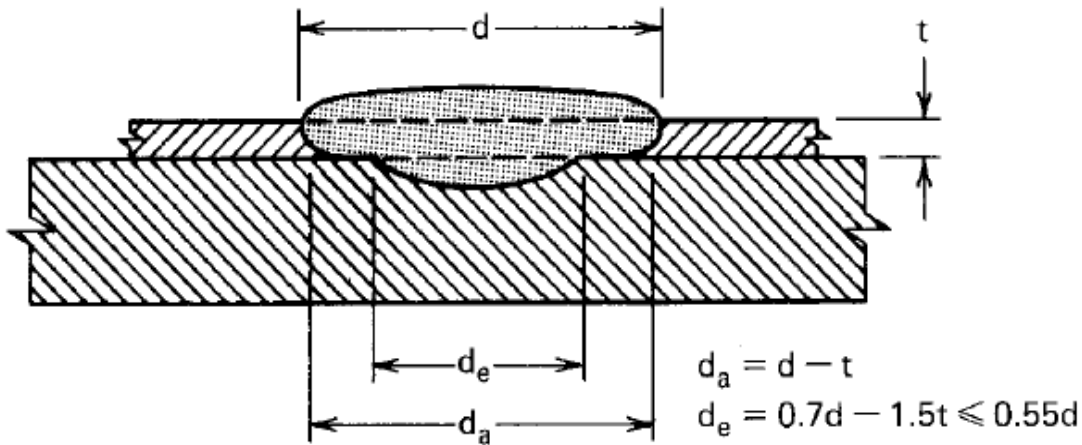
$t$  = Kesme yüküne maruz kalan levhaların toplam kalınlığı

$F_{xx}$  = Elektrotların karakteristik çekme dayanımı

$d_a$  =  $t$  kalınlığının ortasında ark nokta kaynağının ortalama çapıdır. Eğer şekil 5.7 deki gibi tek bir levha diğerine bağlanıyorsa  $d_a = d - t$  birden fazla levha bağlanıyorsa  $d_a = d - 2t$  ( bir mesnet elemanı üzerinde 4 adetten fazla levha olmamalıdır)

$E$  = Çeliğin Elastisite modülü

$F_u$  = Çeliğin karakteristik çekme dayanımı

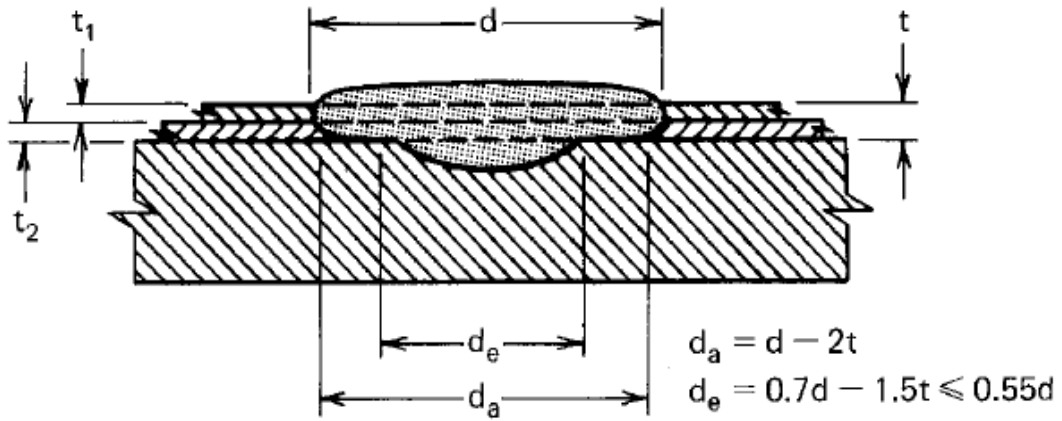


Şekil 5.7 : Tek bir levha da ark nokta kaynak için çap tanımları[13]

Sac levha-sac levha birleşimindeki kayma dayanımı:

SDI 1987 de levha-levha birleşimlerin kesme dayanımları, bir levha-yapı birleşimlerinin dayanımının %75'i olarak alınmasını şart koşmuştur.

Buna ilaveten SDI levha-yapı birleşimin dayanımını AISI standartının denklem 5.8 de gösterildiği gibi alınmasını şart koşmuştur, SDI tasarım standardı 2004 yılında AISI standartına girmiştir. SDI standartının önceki kabulleri Luttrell tarafından uygun araştırmalarla gözden geçirilmiş ve LaBoube tarafından 2001 yılında doğrulanmıştır. Luttrell in deney programının alanı ile standart kalınlık sırası bakımından uymamaktadır. SDI kalınlığı 0,75 mm den az olan levha-levha birleşimlerinde kaynakların sorunlu olduğunu söylemektedir [13].



**Şekil 5.8 :** Çift bir levha da ark nokta kaynak için çap tanımları [13]

Eşit kalınlıktaki iki levha arasındaki karakteristik kesme dayanımı standartın E.2.2.2. bölümündeki gibi denklem 5.8 e göre hesaplanır [13].

$$P_n = 1.65 t d_a F_u \quad (5.8)$$

$$\Omega = 2.20(ASD)$$

$$\phi = 0.70(LRFD)$$

$$0.60(LSD)$$

Burada:

$P_n$  = Bir levha-levha birleşiminin karakteristik kesme dayanımı

$t$  = Kesme yüküne maruz kalan levhaların toplam kalınlığı

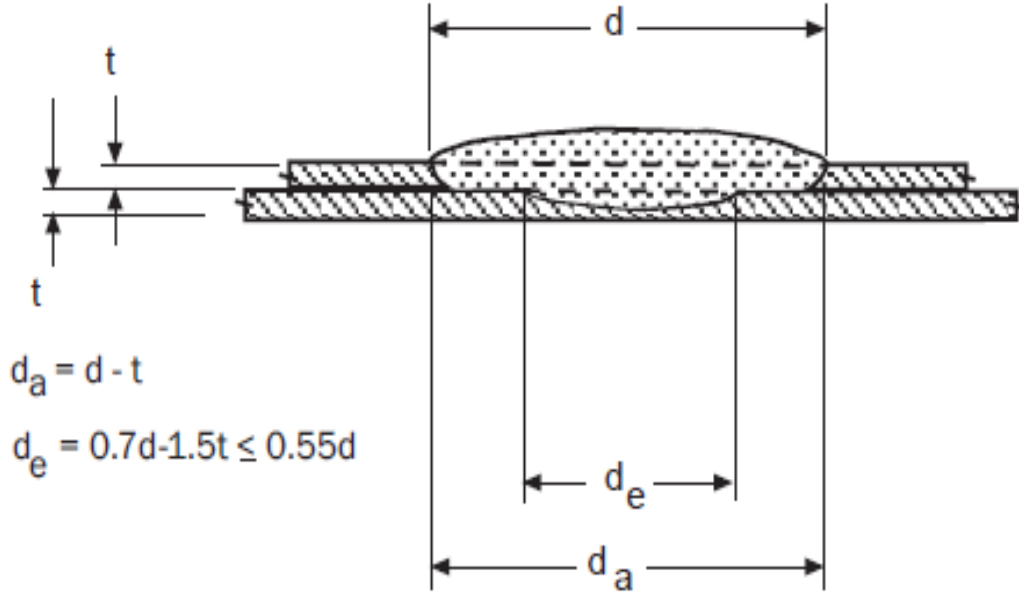
$d_a$  =  $t$  kalınlığının ortasında ark nokta kaynağının ortalama çapıdır. Şekil 5.9 da gösterildiği gibi  $d_a = d - t$  dir.

$d$  = Ark nokta kaynağın dış yüzeyinin görünür çapı

$d_e$  = Kaynak alanının etkili çapı

$$= 0.7d - 1.5t \leq 0.55d$$

$F_u$  = Çeliğin çekme dayanımı



**Şekil 5.9** : Sac levha-sac levha birleşimlerde ark nokta kaynağı [13]

Ayrıca aşağıdaki ek sınırlamalar uygulanmalıdır:

$$F_u \leq 407 \text{ Mpa}$$

$$F_{xx} > F_u$$

$$0.71 \text{ mm} \leq t \leq 1.61 \text{ mm}$$

### 5.1.2.3 Ark nokta kaynaklarında çekme

Levha düzlemine dik karakteristik çekme dayanımı denklem (5.9) ve (5.10) dan küçük olanıdır [13].

$$P_n = \frac{\pi d^2 e}{4} F_{xx} \quad (5.9)$$

$$P_n = 0.80 (F_u / F_y)^2 t d_a F_u \quad (5.10)$$

Panel ve döşeme uygulamalarında:

$$\Omega = 2.50(ASD)$$

$$\phi = 0.60(LRFD)$$

0.50(LSD)

Diğer uygulamalarda:

$\Omega = 3.00(ASD)$

$\phi = 0.50(LRFD)$

0.40(LSD)

Ayrıca aşağıdaki ek sınırlamalar uygulanmalıdır:

$t_d F_u \leq 13.34 \text{ kN}$

$F_{xx} \geq 410 \text{ Mpa}$

$F_u \leq 565 \text{ Mpa}$  (birleştirilen levhaların)

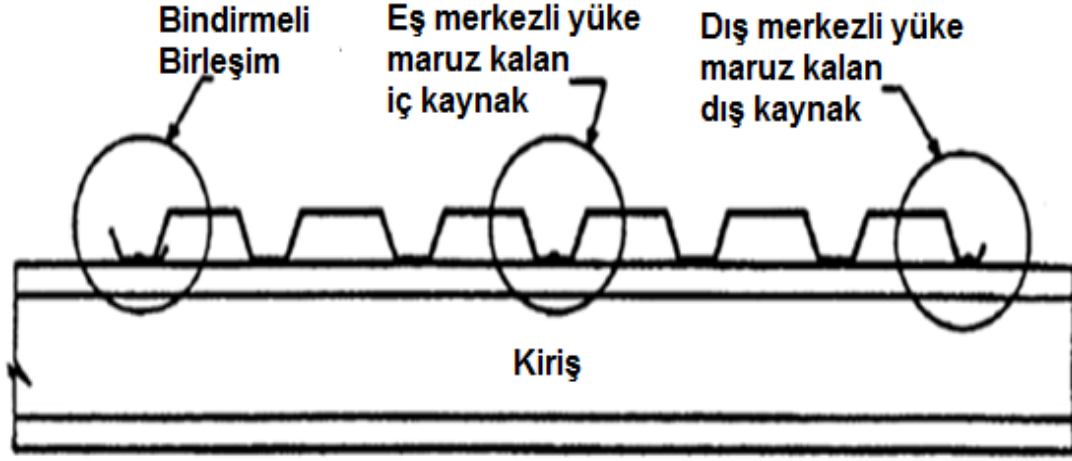
$F_{xx} > F_u$

1991 ve 1993 te Yu ve LaBoube tarafından yapılan deneyler göstermiştir ki; kaynak pulu ile güçlendirilen ince levhalı kaynaklı birleşimler denklem 5.10 daki en ince levha kalınlığı kullanılarak dayanımları hesaplanabilmektedir. Eğer birden fazla levha birleşimde mevcutsa levhaların toplamı alınarak hesap yapılmalıdır [13].

Standartta verilen denklemler eş merkezli yüklenmiş çekme kuvvetlerine etkisindeki kaynaklar, örneğin rüzgar yüküne maruz kalan çatı sistemindeki eş merkezli kaynaklar, için yapılan deneyler sonucunda türetilmiştir. Çatı ya da döşeme sistemlerinin çevrelerindeki kaynaklar rüzgar nedeniyle dış merkezli çekme kuvvetlerine maruz kalabilir. Deneylerde görülmüştür ki dış merkezli kullanımlardan dolayı birleşimin karakteristik dayanımında %50 azalma meydana gelmiştir. Dış merkezli durumlar Şekil 5.10 daki bindirmeli birleşim tiplerinde de meydana gelebilmektedir [13].

Rüzgâr nedeniyle dış merkezli yüke maruz kalan ark nokta kaynakları için yukarıdaki karakteristik dayanımların %50'si tasarım için kullanılmalıdır [13].

Şekil 5.10' da gösterildiği gibi iki döşeme kesitindeki bindirmeli birleşimde, rijitleştirilmemiş flanşların boyu ve rijitleştirilmemiş flanştaki hata ölçüsü kaynaklı birleşimin dayanımını ölçülebilir surette etkilemektedir. AISI Standartı, birleşimin yukarıda hesaplanan karakteristik dayanımının %30 oranında azaltılmasını istemektedir [13].



Şekil 5.10 : Dış kaynak, iç kaynaklar ve bindirmeli birleşimler [13]

#### 5.1.2.4 Ark nokta kaynaklarında kesme ve çekme etkisindeki birleşimler

ASD yönteminde; kesme ve çekme kuvvetlerinin etkileşimine maruz kalan ark nokta kaynakları için aşağıdaki gereklilikler karşılanmalıdır [13].

$\left(\frac{\Omega_t T}{P_{nt}}\right)^{1.5} \leq 0.15$  ise, etkileşim kontrolü yapmaya gerek yoktur.

$\left(\frac{\Omega_t T}{P_{nt}}\right)^{1.5} > 0.15$  ise;

$$\left(\frac{\Omega_s Q}{P_{ns}}\right)^{1.5} + \left(\frac{\Omega_t T}{P_{nt}}\right)^{1.5} \leq 1.00 \quad (5.11)$$

Burada:

$\Omega_t$  :  $P_{nt}$  için güvenlik katsayısı

T: Birleşimin gerekli emniyetli çekme dayanımı

$P_{nt}$ : Karakteristik çekme dayanımı

$\Omega_s$  :  $P_{ns}$  için güvenlik katsayısı

Q: Birleşimin gerekli emniyetli kesme dayanımı

$P_{ns}$ : Karakteristik kesme dayanımı

LFRD ve LSD yönteminde; kesme ve çekme kuvvetlerinin etkileşimine maruz kalan ark nokta kaynakları için aşağıdaki gereklilikler karşılanmalıdır [13].

$$\left( \frac{\bar{T}}{\phi_t P_{nt}} \right)^{1.5} \leq 0.15 \text{ ise, etkileşim kontrolü yapmaya gerek yoktur.}$$

$$\left( \frac{\bar{T}}{\phi_t P_{nt}} \right)^{1.5} > 0.15 \text{ ise;}$$

$$\left( \frac{\bar{Q}}{\phi_s P_{ns}} \right)^{1.5} + \left( \frac{\bar{T}}{\phi_t P_{nt}} \right)^{1.5} \leq 1.00 \quad (5.12)$$

Burada:

$\bar{T}$  : Birleşimin gerekli çekme dayanımı

: LRFD için  $T_u$

: LSD için  $T_f$

$\phi_t$  :  $P_{nt}$  için azaltma katsayısı

$P_{nt}$  : Karakteristik çekme dayanımı

$P_{ns}$  : Karakteristik kesme dayanımı

$\bar{Q}$  : Birleşimin gerekli emniyetli kesme dayanımı

:LRFD için  $Q_u$

:LSD için  $Q_f$

$\phi_s$  :  $P_{ns}$  için azaltma katsayısı

Bunlara ek olarak aşağıdaki sınırlamalar uygulanmalıdır:

$$F_u \leq 724 \text{ Mpa}$$

$$F_{exx} \geq 414 \text{ Mpa}$$

$$t_d F_u \leq 13.34 \text{ kN}$$

$$F_u / F_y \geq 1.02$$

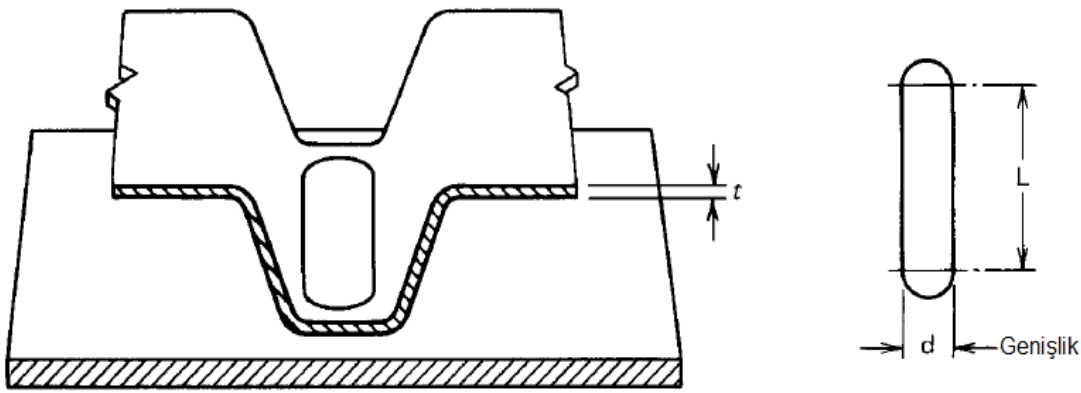
$$11.9 \text{ mm} \leq d \leq 25.9 \text{ mm}$$

### 5.1.3 Ark oval nokta kaynakları

AISI standardında Şekil 5.11 deki gibi düz pozisyonda sac levha ile kalın elemanı ve yatay ya da düz pozisyondaki levha-levha birleşimleri içermektedir [13].

Ark oval nokta kaynakların oval şekilli olanların kalın eleman-sac levha birleşim tiplerinde aşağıda verilen levha kalınlıklarına uyulmalıdır [13];

- a-) maksimum tek levha kalınlığı 2.0 mm olmalıdır.
- b-) minimum levha kalınlığı 0.70 mm olmalıdır.
- c-) maksimum çift levha kalınlığı toplamı 2,5 mm olmalıdır.



Şekil 5.11 : Düz pozisyonda levha ile kalın taşıyıcı elemanın ark oval nokta kaynağı [13]

#### 5.1.3.1 Ark oval nokta kaynaklarında kenar mesafeleri

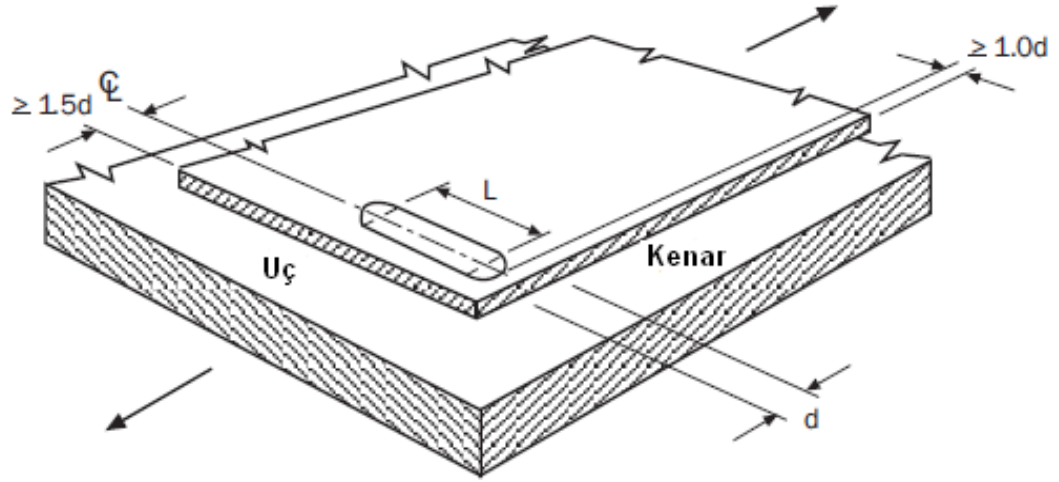
Ark oval nokta kaynağın merkezinden birleştirilen elemanın sonuna ya da kenarına olan uzaklık 1.5 d den az olamaz. Hiçbir durumda kaynaklarla elemanın sonu ya da kenarı arasındaki net mesafe 1.0d den az olamaz. Ayrıntılar şekil 5.12 de gösterilmektedir [13].

#### 5.1.3.2 Ark oval nokta kaynağında kesme

Kalın eleman sac levha birleşiminde ark oval nokta kaynağın kayma dayanımı:

Ark oval nokta kaynaklarında karakteristik kesme dayanımı,  $P_n$ , denklem (5.13) ve (5.14) hesaplanan değerlerden küçük olanı alınarak belirlenir [13].

$$P_n = \left( \frac{\pi d^2 e + L d_e}{4} \right) (0.75 F_{xx}) \quad (5.13)$$



Şekil 5.12 : Ark oval nokta kaynaklarının kenar mesafeleri [13]

$$P_n = 2.5 + F_u (0.25L + 0.96d_a) \quad (5.14)$$

$$\Omega = 2.55(ASD)$$

$$\phi = 0.60(LRFD)$$

$$0.50(LSD)$$

$P_n$  = Ark nokta kaynağın karakteristik kesme dayanımı

$d_e$  = Nokta kaynağın etkili genişliği ,  $d_e = 0.7d - 1.5t$

$d$  = Ark nokta kaynağın genişliği

$L$  = Dairesel kenarlar hariç nokta kaynağın uzunluğudur. Hesaplamalarda  $L \geq 3d$  'yi geçmemelidir.

$d_a$  = Nokta kaynağın ortalama genişliğidir. Çift ve tek levhalarda  $d_a = d - t$  alınır.

$t$  = Kesme yüküne maruz kalan levhaların toplam kalınlığı

$F_{xx}$  = Elektrotların karakteristik çekme dayanımı

$F_u$  = Çeliğin karakteristik çekme dayanımı

Sac levha-sac levha birleşimindeki kayma dayanımı:

Eşit kalınlıktaki iki levha arasındaki karakteristik kesme dayanımı denklem (5.15) e göre hesaplanır [13].

$$P_n = 1.65 t d_a F_u \quad (5.15)$$

$$\Omega = 2.20(ASD)$$

$$\phi = 0.70(LRFD)$$

$$0.60(LSD)$$

Burada:

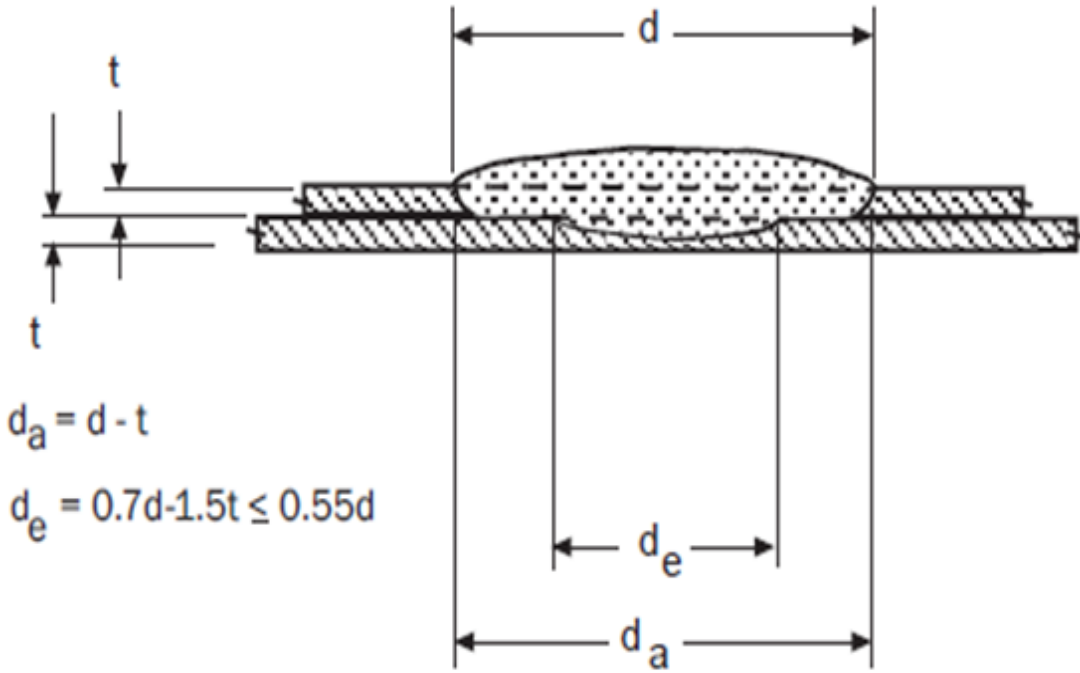
$P_n$  = Bir levha-levha birleşiminin karakteristik kesme dayanımı

$t$  = Kesme yüküne maruz kalan levhaların toplam kalınlığı

$d_a$  =  $t$  kalınlığının ortasında ark nokta kaynağının ortalama çapıdır. Şekil 5.13 de gösterildiği gibi  $d_a = d - t$  dir.

$d$  = Ark nokta kaynağın dış yüzeyinin görünür çapı

$F_u$  = Çeliğin çekme dayanımı



Şekil 5.13 : Levha-levha birleşimlerde ark oval nokta kaynağı[13]

Ayrıca aşağıdaki ek sınırlamalar uygulanır:

$$F_u \leq 407 \text{ Mpa}$$

$$F_{xx} > F_u$$

$$0.71 \text{ mm} \leq t \leq 1.61 \text{ mm}$$

#### 5.1.4 Köşe kaynaklar

Köşe kaynaklar, AISI standartının E 2.4 bölümüne göre sac levha-sac levha ya da levha-kalın eleman olarak herhangi bir pozisyonda uygulanabilir. Köşe kaynakların karakteristik kesme dayanımları,  $P_n$ , aşağıdaki ifadelerle belirlenir [13].

(1) Boylamasına yüklemeler için:  $L/t < 25$  için

$$P_n = \left(1 - \frac{0.01 \times L}{t}\right) \times t \times L \times F_u \quad (5.16)$$

$$\Omega = 2.55(ASD)$$

$$\phi = 0.60(LRFD)$$

$$0.50(LSD)$$

$L/t \geq 25$  için;

$$P_n = 0.75 t L F_u \quad (5.17)$$

$$\Omega = 3.05(ASD)$$

$$\phi = 0.50(LRFD)$$

$$0.40(LSD)$$

(2) Enlemesine yükleme durumunda

$$P_n = t L F_u \quad (5.18)$$

$$\Omega = 2.35(ASD)$$

$$\phi = 0.65(LRFD)$$

$$0.60(LSD)$$

Burada;

$t =$  Şekil 5.14 gösterildiği gibi  $t_1$  ve  $t_2$  den değeri küçük olana eşittir.

Ek olarak  $t > 2.54$  mm için; (1) ve (2) den hesaplanan karakteristik kesme dayanımı aşağıda hesaplanan  $P_n$  değerini aşmamalıdır:

$$P_n = 0.75 t_w L F_{xx} \quad (5.19)$$

$$\Omega = 2.55(ASD)$$

$$\phi = 0.60(LRFD)$$

$$0.50(LSD)$$

Burada;

$P_n$ : Köşe kaynağın karakteristik dayanımı

L: Köşe kaynak uzunluğu

t: Levha kalınlığı

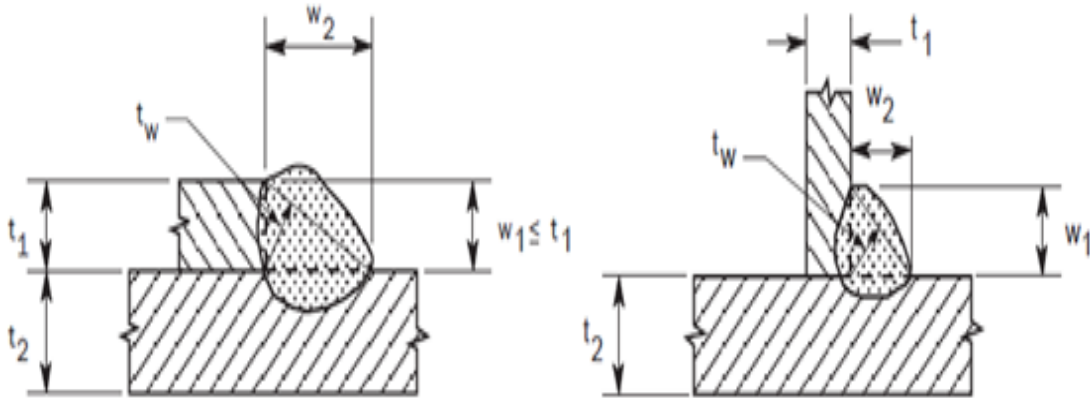
$F_{xx}$  = Elektrotların karakteristik çekme dayanımı

$F_u$  = Çeliğin karakteristik çekme dayanımı

$t_w$  = Etkili köşe kaynak kalınlığı

= 0.707  $w_1$  ya da 0.707  $w_2$  değerlerinden küçük olanı alınır.

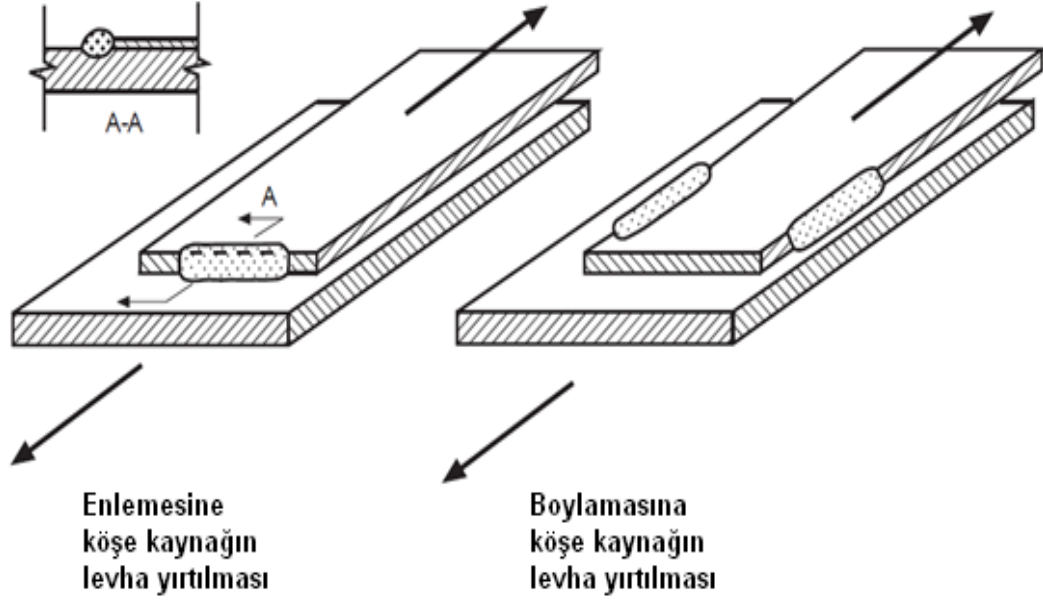
$w_1$  ve  $w_2$  = Şekil 5.14 de gösterildiği gibi kaynak kenar boyutu ve bindirmeli birleşimlerde  $w_1 \leq t_1$



**Şekil 5.14** : Levha-levha birleşimlerinde ark nokta kaynağı [13]

Cornell üniversitesinde deneye tabi tutulan bindirmeli birleşimlerdeki köşe kaynakların levha kenarındaki kaynak kenar boyutu,  $w_1$ , genellikle levha kalınlığına eşit; diğerk kaynak adımı uzunluğu,  $w_2$ , ise genellikle  $w_1$  in iki ya da üç katı daha fazla uzunluğa sahipti. Bu tip birleşimlerin kalınlıkları aynı boyutlardaki konvansiyonel köşe kaynakların kordon kalınlığından büyüktür [13].

Genellikle köşe kaynaklı birleşimlerde Şekil 5.15 de görüldüğü gibi kaynağa bitişik kenardaki levhanın yırtılmaya başlamasıyla göçme modu oluşmaktadır [13].



**Şekil 5.15 :** Köşe kaynaklı birleşimde göçme modu [13]

Birçok deney numunesinde; kaynak metalinin yüksek dayanımı kaynakların kesme göçmesini engellemekte böylece, yönetmeliğin köşe kaynaklar bölümü levha yırtılmasına göre temellendirilmiştir. Cornell araştırmalarında numune kalınlıkları 3,81 mm ye göre deney yapıldığı için kordon kalınlığı örtü levhasından küçük olabilmekte ve yırtılma levha malzemesi yerine kaynakta oluşmaya başlayabilmekteydi. 1995'te Sydney üniversitesinde yapılan araştırmalarla kaynak kordonundaki göçme 2,54 mm ile 3,81 mm kalınlığı arasında olduğunda meydana gelebilmekteydi. Bu nedenle standart 2001'de revize edilerek kaynak dayanımı 2,54 mm kalınlığından büyük levhalar için kaynak dayanımı kontrolü yapmayı gerektirmektedir. Sydney üniversitesinde 2000 yılında yapılan araştırmalar göstermiştir ki akma gerilmesi 448 Mpa ya da daha fazla olan yüksek dayanımlı malzemelerin 2,54 mm ya da daha az kalınlıkta olduklarında kaynak kordonunda göçme oluşmamaktadır. Böylece AISI yönetmeliği 2,54 mm kalınlığından daha az yüksek dayanımlı malzemeler için levha dayanımına göre temellendirilmiştir. Davranışı önceden belirlenmiş köşe kaynaklar AWS D 1.3-98 ya da diğer eş değer standartlarda verilmiştir [13].

### 5.1.5 Eğri kenarlı küt kaynaklar

AISI NAS S 100-07 standartında ki E 2.5 bölümüne göre eğri kenarlı küt kaynağın karakteristik kesme dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanır [13]:

1. Birleştirilen levhaların kesme kapasitesine bağlı olarak karakteristik dayanım

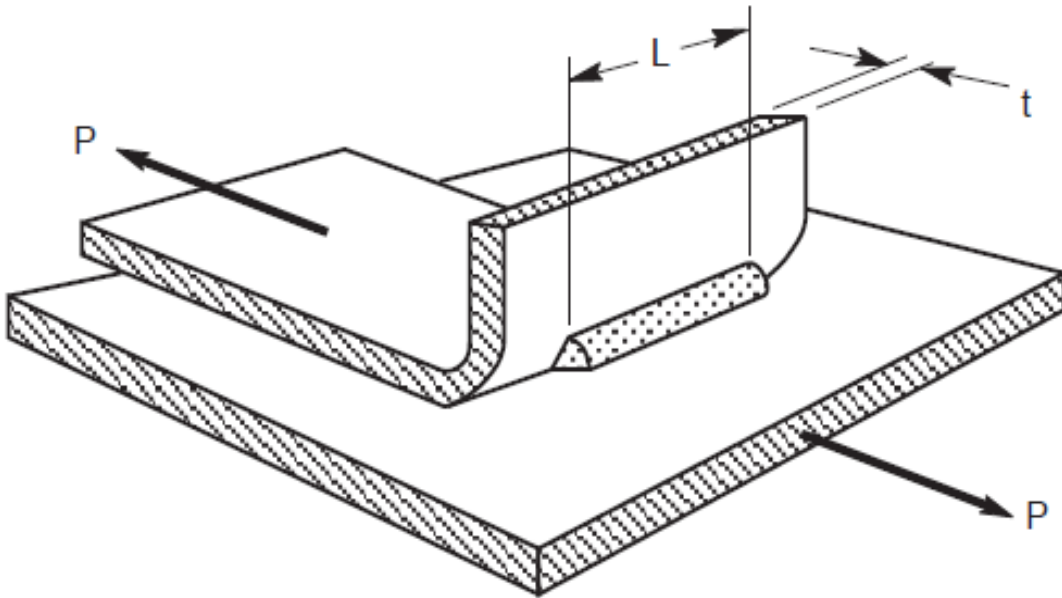
a) Enlemesine yükleme (Şekil 5.16 da görüldüğü gibi)

$$P_n = 0.833tLF_u \quad (5.20)$$

$$\Omega = 2.55(ASD)$$

$$\phi = 0.60(LRFD)$$

$$0.50(LSD)$$



Şekil 5.16 : Eğri kenarlı küt kaynak enlemesine yükleme durumu [13]

b) Boylamasına yükleme ( Şekil 5.17 ve 5.18 de görüldüğü gibi)

$t \leq t_w \leq 2t$  veya kaynağın çekildiği kenar yüksekliği(h) kaynak uzunluğundan (L) küçükse;

$$P_n = 0.75tLF_u \quad (5.21)$$

$$\Omega = 2.80(ASD)$$

$$\phi = 0.55(LRFD)$$

0.45(LSD)

$t_w \geq 2t$  veya kaynağın çekildiği kenar yüksekliği  $h$  kaynak uzunluğundan ( $L$ ) büyük veya eşitse;

$$P_n = 1.50 t L F_u \quad (5.22)$$

$\Omega = 2.80(ASD)$

$\phi = 0.55(LRFD)$

0.45(LSD)

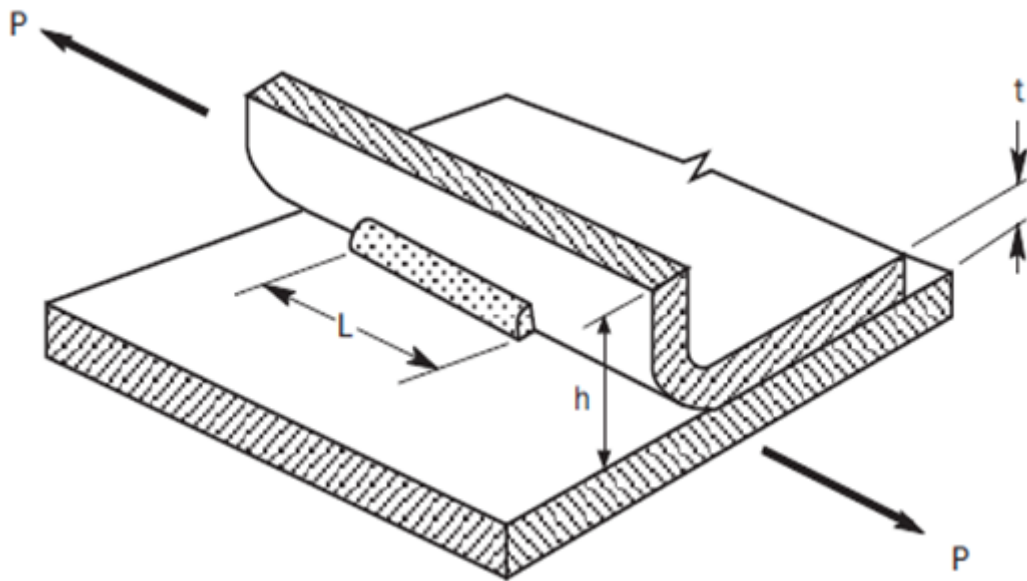
2. Kaynağın kesme kapasitesine bağlı olarak karakteristik dayanım: enlemesine ya da boylamasına yükleme durumu için hesaplanan  $P_n$  değeri  $t > 3.81$  mm için aşağıdaki hesaplanan değeri geçmemelidir.

$$P_n = 0.75 t_w L F_{xx} \quad (5.23)$$

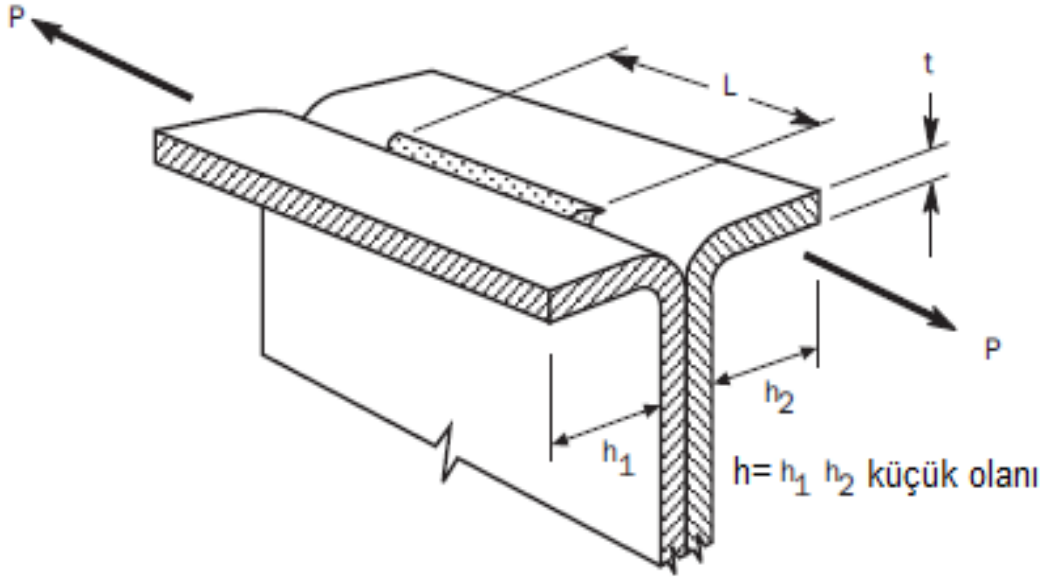
$\Omega = 2.50(ASD)$

$\phi = 0.60(LRFD)$

0.60(LSD)



Şekil 5.17 : Eğri kenarlı küt kaynakta boylamasına yükleme durumu [13]



**Şekil 5.18 :** V-türü küt kaynakta boylamasına yükleme durumu [13]

Burada;

$P_n$ : Küt kaynağın karakteristik dayanımı

$t$ : Kaynak kalınlığı (Şekil 5.16-5.18 de gösterildiği gibi)

$L$ : Kaynak Uzunluğu

$F_u$ : Çeliğin çekme dayanımı

$F_{xx}$  = Elektrotların çekme dayanımı

$h$ : Kaynağın çekildiği kenar yüksekliği

$t_w$ : Etkili küt kaynak kalınlığı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır

(a) Eğri kenarlı küt kaynaklarda

$$t_w = \left[ w_2 + t_{wf} - R + \sqrt{2Rw_1 - w_1^2} \right] \left( \frac{w_1}{w_f} \right) - R\eta \left( \frac{w_2}{w_f} \right) \quad (5.24)$$

Burada;

$w_1$  ve  $w_2$ : Şekil 5.19 da görüldüğü gibi kaynak kenar boyutu

$t_{wf}$ : Tablo-1 e göre hesaplanan küt kaynağın eğrilik yüzeyinin tamamını,  $w_1=R$ , doldurduğu etkili kordon kalınlığı

$R$ : Dış eğrilik yüzeyinin yarıçapı

$w_1$  ve  $w_2$ : Şekil 5.19 da görüldüğü gibi kaynak kenar boyutu

$\eta$ : Çizelge 5.2 e göre hesaplanan [1-cos (ikiz açı)]

$w_f$ : Denklem 5.25 e göre kaynağın yüz genişliği

$$w_f = \sqrt{w_1^2 + w_2^2} \quad (5.25)$$

**Çizelge 5.2 :** Eğri yüzeyli küt kaynaklar [13]

Kaynak İşlemi	Kordon Kalınlığı ( $t_{wf}$ )	$\eta$
SMAW,FCAW-S	5/16 R	0.274
GMAW,FCAW-G	5/8 R	0.073
SAW	5/16 R	0.274

(b) Eğri kenarlı küt kaynaklarda

$t_w$  : ( $t_{wf}-d_1$ ) ve ( $t_{wf}-d_2$ ) den küçük olmalıdır.

Burada:

$d_1$  ve  $d_2$ : Şekil 5.20 de gösterilmektedir.

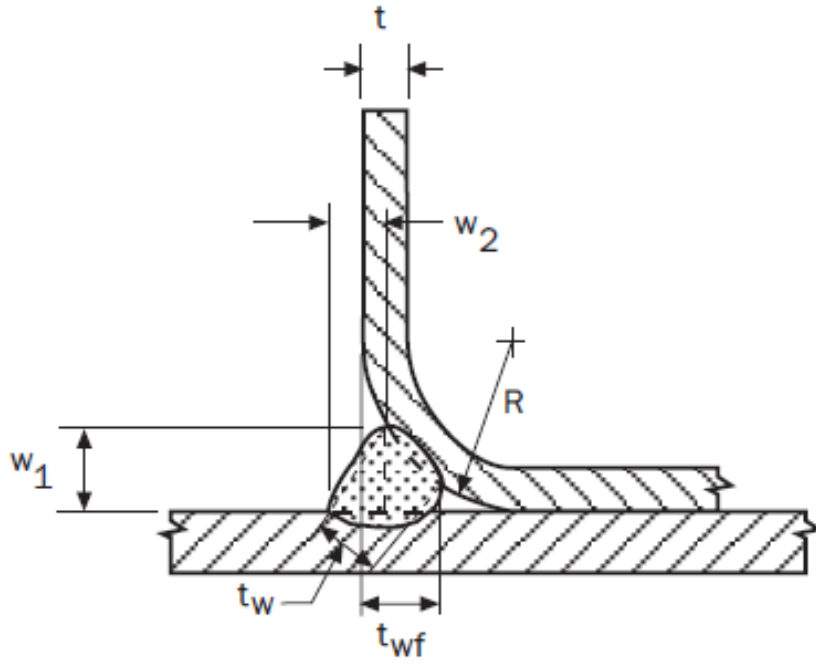
$t_{wf}$ : Etkili küt kaynak kalınlığı çizelge 5.3 e göre hesaplanmaktadır.

$R_1$  ve  $R_2$ : Şekil 5.20 de tanımlandığı gibi dış yüzeyin eğrilik yarıçapı

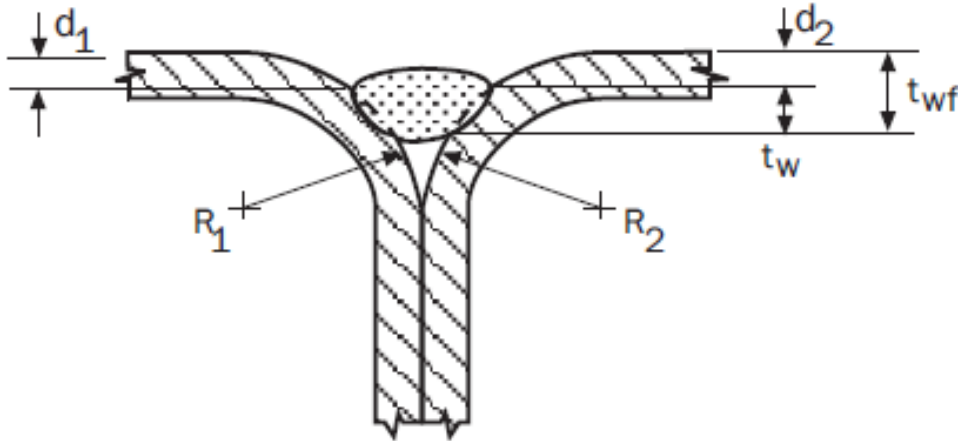
**Çizelge 5.3 :** V türü küt kaynaklar [13]

Kaynak İşlemi	Kordon Kalınlığı ( $t_{wf}$ )
SMAW,FCAW-S	5/8 R
GMAW,FCAW-G	3/4 R
SAW	1/2 R

Not: R değeri  $R_1$  ve  $R_2$  den küçük olanı alınmalıdır.



Şekil 5.19 : Eğri kenarlı küt kaynakta kaynak adımları [13]



Şekil 5.20 : Eğri kenarlı küt kaynakta kaynak adımları [13]

### 5.1.6 Direnç kaynakları

AISI NAS S 100-06 standartının E 2.6 bölümüne göre Spot kaynakların karakteristik kesme dayanımı,  $P_n$ , bu bölüme göre hesaplanır [13].

1.  $0.25 \text{ mm} \leq t \leq 3.56 \text{ mm}$

$$P_n = 5.51t^{1.47} \quad (5.26)$$

2.  $3.56 \text{ mm} \leq t \leq 4.57 \text{ mm}$

$$P_n = 7.6t + 8.57 \quad (5.27)$$

$$\Omega = 2.35(ASD)$$

$$\phi = 0.65(LRFD)$$

$$0.55(LSD)$$

Burada:

$P_n$ : Karakteristik kesme dayanımı

$t$ : Dış yüzdeki levhaların en incisinin kalınlığı

## 5.2 AISI Standartına Göre Bulonlu Birleşimlerin Tasarımı

Bu bölümde AISI standartının E.3 bölümüne göre bulonlu birleşimlerin tasarımları irdelenmiştir [13].

Önceki araştırmalar ve deneyimler göstermiştir ki soğukta şekil verilmiş çelik elemanların bulonlu birleşimlerinin davranışı hadde profillerinin ya da yapma profillerin aynı tip birleşimlerdeki davranışa ile belirlenir [13].

Birleştirilen levhaların en incisinin kalınlığı 4.76 mm eşit ya da daha az kalınlıktaki soğukta şekil verilmiş çelik elemanların birleşiminde AISI standardı kullanılmalıdır. Birleştirilen levhaların en incisinin kalınlığı 4.76 mm den daha büyükse ANSI/AISC-360 göre tasarım yapılmalıdır [13].

### 5.2.1 Malzeme

A325 ve A490 bulonları sadece 12.7 mm çapında veya daha büyük çaplı olanları için geçerlidir, tasarım için 12.7 mm den daha küçük çapa sahip olanlar gerekli olduğu düşünülürse, A325 ve A490 bulonlarının eşdeğerlileri olarak A449 ve A354 Grade BD bulonları kullanılmalıdır [13].

Bağlantı elemanlarının, özel pulları olan ya da olmayan farklı tipleri soğukta şekil verilmiş elemanlar olarak çelik yapılarda kullanılmaktadır. Bu bağlantı elemanlarının dayanımları standartın F bölümüne göre deneylerle hesaplanmaktadır [13].

### 5.2.2 Bulon montajı

Soğukta şekil verilmiş çelik yapılarda kullanılan normal ya da yüksek dayanımlı bulonlar ezilme tipi bir birleşim olarak tasarlanırlar. Bulonlarda ön germe gerekli değildir çünkü bulonlu bir birleşimin kopma dayanımı bulonların ön yükleme seviyesinden bağımsızdır. Bulon kurma işleminde, montaj sırasında parçalanma olmadığından emin olunmalıdır. Tecrübeler göstermiştir basit sıkma yöntemi ile sıkılmış bulonlarda çözülme ya da gevşeme görülmemektedir. Bunlara ek olarak bulonlar yorulma ya da titreşime maruz kalmamaktadır [13].

### 5.2.3 Bulon deliklerinin maksimum boyutları

AISI standartının 1986 ve 1996 baskıları standart deliklerin maksimum boyutlarını, büyük delikleri, kısa oval delikleri ve uzun oval delikleri içeriyor.(Çizelge 5.4'de gösterildiği gibi). Standard delikler bulonlu bağlantılarda kullanılmalıdır, ayrıca büyük ve kısa oval delikler tasarımcının tercihi olarak kullanılabilir. Büyük ve kısa oval deliklerin kullanımı için AISI-NAS standartında ek şartlar verilmiştir [13].

**Çizelge 5.4 : Bulon deliklerinin maksimum boyutları [13]**

Karakteristik Bulon Çapı (mm) d	Standart Bulon Çapı (mm) d	Büyük Bulon Çapı (mm) d	Kısa Oval Bulon Çapı (mm) d	Uzun Oval Bulon Çapı (mm) d
<12.7	d+0.8	d+1.6	(d+0.8) ile (d+6.4)	(d+0.8) ile d
≥12.7	d+1.6	d+3.2	(d+1.56) ile (d+6.4)	(d+1.6) ile d

### 5.2.4 Minimum uzaklık

Bağlama elemanlarının merkezleri arasındaki uzaklık 3d den az olamaz. Bunun yanında, bulon deliklerinin merkezleri arasındaki uzaklık bulon başı, pul, somun ve anahtar için yeterince mesafeyi sağlamalıdır. Büyük ve kısa oval deliklerde, komşu iki deliklerin kenarları arasındaki net mesafe 2 d den az olmamalıdır. [13]

### 5.2.5 Minimum kenar ve uç mesafeler

Bağlama elemanın merkezinde herhangi bir kısmının uç kısmına ya da kenarına olan uzaklık  $1.5 d$  den az olamaz. Büyük ve kısa oval deliklerde, deliklerin kenarı ile elemanın uç ya da kenarı arasındaki uzaklık  $d$  den az olamaz [13].

### 5.2.6 Bulonlarda ezilme

Bulonlu birleşimler deneyleri göstermiştir ki bulonlu birleşimlerin ezilme dayanımları şunlara bağlıdır; (1) birleştirilen levhanın çekme dayanımı, (2) birleştirilen levhanın kalınlığı, (3) bulon çapı, (4) tek tesirli ve çift tesirli durumlardaki birleşimler, (5)  $F_u/F_y$  oranı, (6) pulların kullanımı. Bu tasarım parametreleri 1996 ve önceki AISI yönetmeliğinde birleştirilen levha ile bulon arasındaki ezilme dayanımını hesaplamak için kullanılmıştır [13].

Bulonlu birleşimlerde uygun ezilme dayanımları 5.2.6.1 ve 5.2.6.2 ye göre hesaplanır. Belirtilmeyen durumlarda uygun ezilme dayanımı deneylerle hesaplanır[13].

#### 5.2.6.1 Bulon deliği etrafındaki deformasyon tasarım olarak dikkate alınmadığı durumdaki ezilme dayanımı

Bulon deliği etrafındaki deformasyon tasarım olarak dikkate alınmadığında her bir yüklü bulon için birleştirilen levhaların karakteristik ezilme dayanımı,  $P_n$ , standartın E3.3.1 bölümündeki denklem 5.28 e göre hesaplanır [13].

$$P_n = C m_f d t F_u \quad (5.28)$$

$$\Omega = 2.50(ASD)$$

$$\phi = 0.60(LRFD)$$

$$0.50(LSD)$$

Burada:

C: Ezilme katsayısı, çizelge 5.5 e göre hesaplanır

$m_f$ : Ezilme tipi birleşimlerde düzeltme katsayısı, çizelge 5.6 e göre hesaplanır.

d: Karakteristik bulon çapı

t: Levha kalınlığı

$F_u$ : Levhanın çekme dayanımı

**Çizelge 5.5 : Ezilme katsayısı [13]**

Birleştirilen Kısımın Kalınlığı t, mm	Bağlama Elemanın Eleman Kalınlığına Oranı d/t		C
		d/t < 10	
0.61 ≤ t ≤ 4.76	10 ≤ d/t ≤ 22	4-0.1(d/t)	
	d/t > 22	1.8	

**Çizelge 5.6 : Ezilme katsayısı [13]**

Ezilme etkisindeki birleşim tipi	$m_f$
Tek tesirli ve bulon başı ile somonun altında pul olan çift tesirli birleşimin dış levhaları	1
Tek tesirli ve bulon başı ile somonun altında pul olmayan ya da sadece tek bir pul olan çift tesirli birleşimin dış levhaları	0,75
Pul olan ya da olmayan çift tesirli birleşimin iç levhaları	1,33

### 5.2.6.2 Bulon deliği etrafındaki deformasyon tasarım olarak dikkate alındığı durumdaki ezilme dayanımı

Eğer her bir bulon deliği etrafındaki deformasyon tasarım kriteri olarak dikkate alınıyorsa karakteristik ezilme dayanımı,  $P_n$ , denklem 5.29 ile hesaplanır [13].

$$P_n = (4.64\alpha t + 1.53)dtF_u \quad (5.29)$$

$$\Omega = 2.22(ASD)$$

$$\phi = 0.65(LRFD)$$

$$0.55(LSD)$$

Burada

$\alpha$  = birim değiştirme katsayısı

$$= 0.0394 \text{ SI} (t = \text{mm})$$

=0.394 MKS (t=cm)

### 5.2.7 Bulonlarda kesme ve çekme

AISI-NAS standartının E 3.4 bölümünde kesme ve çekme kuvveti etkisindeki birleşimlerdeki bulonun karakteristik dayanımı  $P_n$ , denklem 5.30 a göre hesaplanır[13];

$$P_n = A_b F_n \quad (5.30)$$

$A_b$ : Bulonun brüt en kesit alanı

$F_n$ : (a) ve (b) ye göre hesaplanan karakteristik dayanımdır;

(a) Bulonlar kesme ya da çekmeden birine maruz kalmışsa

$F_n$  tablo-5.7 göre belirlenir.  $\Omega$  ve  $\phi$  katsayıları da yine tablo 5.7 ya göre hesaplanır.

(a) Bulonlar kesme ve çekme kuvvetlerinin kombinasyonuna maruz kalmışsa,  $F_n$ , denklem 5.30 ve 5.31 ile hesaplanan  $F'_{nt}$  ye eşittir.

ASD için;

$$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - \frac{\Omega F_{nt}}{F_{nv}} f_v \leq F_{nt} \quad (5.31)$$

LRFD için;

$$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_v \leq F_{nt} \quad (5.32)$$

Burada;

$\Omega$

$F'_{nt}$  = Gerekli kesme gerilmesi sonucunda değiştirilmiş karakteristik çekme gerilmesi

$F_{nt}$  = Çizelge 5.7 den bulunan karakteristik çekme gerilmesi

$F_{nv}$  = Çizelge 5.7 den bulunan karakteristik kesme gerilmesi

$f_v$  = Gerekli kesme gerilmesi (MPa)

$\Omega$  = Çizelge 5.7 den kesme için güvenlik katsayısı

$\phi$  =  $\Omega$  Çizelge 5.7 den kesme için azaltma katsayısı

**Çizelge 5.7 : Kesme ve çekme durumunda karakteristik gerilme değerleri [13]**

Bulonların tanımı	Çekme dayanımı			Kesme dayanımı		
	Güvenlik katsayısı $\Omega$ (ASD)	Azaltma katsayısı $\phi$ (LRFD)	Karakteristik gerilme $F_{nt}$ , Mpa	Güvenlik katsayısı $\Omega$ (ASD)	Azaltma katsayısı $\phi$ (LRFD)	Karakteristik gerilme $F_{nv}$ , Mpa
A 307 Grade A Bulonu $6.4 \leq d < 12.7$	2,25		279			165
A 307 Grade A Bulonu $d \geq 12.7$	2,25		310			186
A325 Bulonları, dişler kesme düzleminde değil			621			372
A325 Bulonları, dişler kesme düzleminde			621			496
A354 Grade BD Bulonu, $6.4 \leq d < 12.7$ dişler kesme düzleminde değil			696			407
A354 Grade BD Bulonu, $6.4 \leq d < 12.7$ dişler kesme düzleminde		0,75	696	2,4	0,65	621
A449 Grade BD Bulonu, $6.4 \leq d < 12.7$ dişler kesme düzleminde değil	2		558			324
A449 Grade BD Bulonu, $6.4 \leq d < 12.7$ dişler kesme düzleminde			558			496
A490 Bulonu, $6.4 \leq d < 12.7$ dişler kesme düzleminde değil			776			465
A490 Bulonu, $6.4 \leq d < 12.7$ dişler kesme düzleminde			776			621

### 5.3 AISI Standartına Göre Vidalı Birleşimleri

Dünya çapında 3500 deney sonucu değerlendirilerek vidalı birleşimlerin tasarım ifadeleri geliştirilmiştir [13].

Vidalı birleşimler; tek birleşim aracının kullanıldığı numunelerin yanı sıra birden çok bağlantı elemanlı numuneler kullanılarak formülüze edilmiştir. Taşıyıcı elemanların vidalı birleşiminde iki den az vida kullanılmamalıdır çünkü birleştirilen parçaların birbirine göre şekil değiştirmeleri önlenmesi amaçlanmaktadır [13].

AISI standartının E4 bölümüne göre vidalı birleşimlerin tasarımı yapılmaktadır. Vida çapı  $2.03 \text{ mm} \leq d \leq 6.35 \text{ mm}$  koşuluna sağlayan tüm birleşimlerde geçerlidir. Vidalar üretici firmaların önerisine göre kurulup sıkılmalıdır [13].

Karakteristik vida birleşim dayanımı standartın C2 bölümüne göre sınırlandırılmıştır. Diyafram uygulamalarında standartın D2 bölümü kullanılmalıdır [13].

Güvenli dayanım ve tasarım dayanımı hesaplanırken vidalarda güvenlik katsayısı ve azaltma katsayısı aşağıdaki gibi alınmalıdır;

$$\Omega = 3.00(ASD)$$

$$\phi = 0.50(LRFD)$$

$$0.40(LSD)$$

Alternatif olarak özel uygulamalarda, güvenlik katsayısı ve azaltma katsayısı standartın F bölümüne göre yapılan deneyler sonucunda bulunur.

Bu bölümde aşağıdaki notasyonlar kullanılmıştır:

$d$ = Karakteristik vida çapı

$d_h$ = Vida baş çapı ya da altıgen pul başının tamamlayıcı pul çapı

$d_w$ = Çelik pul çapı

$d'_w$  = Üstüne çekme dayanımının etkin çapı

$P_{ns}$ = Bir vidanın taşıdığı karakteristik kesme dayanımı

$P_{ss}$ = Üretici firma tarafından bildirilen ya da bağımsız laboratuvar deneyleri sonucunda hesaplanan karakteristik kesme dayanımı

$P_{not}$ = Bir vidanın taşıdığı karakteristik dışa çekme (pull-out) dayanımı

$P_{nov}$ = Bir vidanın taşıdığı karakteristik üstüne çekme (pull-over) dayanımı

$P_{ts}$ = Üretici firma tarafından bildirilen ya da bağımsız laboratuvar deneyleri sonucunda hesaplanan karakteristik çekme dayanımı

$t_1$ = Vida başı ya da pul ile temasta olan elemanın et kalınlığı

$t_2$ = Vida başı ya da pul ile temasta olmayan elemanın et kalınlığı

$t_c$ = Vidanın diş dibi genişliği ile  $t_2$ 'den küçük olanıdır.

$F_{u1}$ =Vida başı ya da pul ile temasta olan elemanın çekme dayanımı

$F_{u2}$ =Vida başı ya da pul ile temasta olmayan elemanın çekme dayanımı

### **5.3.1 Minimum mesafe:**

- Bağlantı elemanlarının merkezleri arasındaki mesafe  $3d$ ' den az olamaz.
- Ayrıca bir bağlantı elemanının merkezi ile herhangi bir parçanın uç noktaları ya da kenarları arasındaki mesafe  $1,5d$ 'den az olmayacaktır.

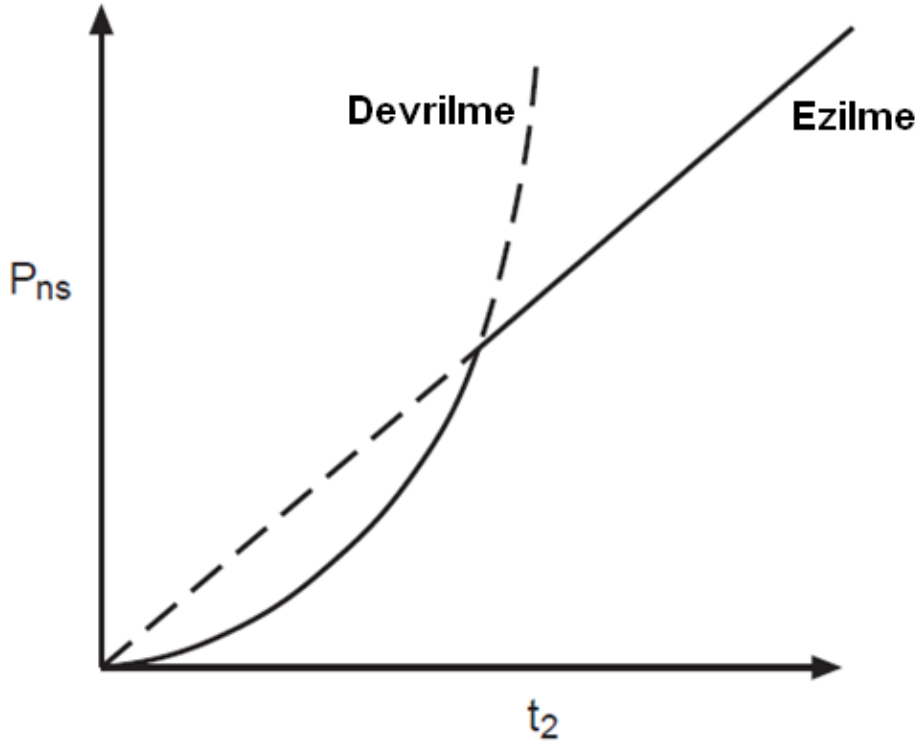
### **5.3.2 Vidalarda kesme**

#### **5.3.2.1 Devrilme ve ezilme ile sınırlandırılan kesme dayanımı**

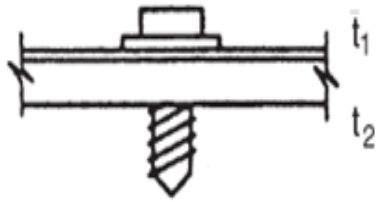
Kesme yüklü vidalı birleşimler tek bir ya da birleşik birçok göçme modu şeklinde olabilir. Bu göçme modları; vidalarda kesme, kenar yırtılması, devrilme ve sonrasında vidanın dışa çekmesi (pull-out), birleştirilen elemanların ezilmesi şeklindedir [13].

Şekil 5.21 deki gibi en zayıf levhalardaki dişlerin yırtılmasını takip eden vidaların devrilmesi tipik ezilme dayanımlı bir birleşimin kesme kapasitesini azaltmaktadır.

Bu bölüm devrilme ve ezilme göçme modlarına yoğunlaşmıştır. Bu iki durumda birleştirilen levhaların kalınlığının oranlarına göre standartta verilmiştir. Genelde vidaların başı Şekil 5.22 de görüldüğü gibi birleştirilen elemanların en incisiyle temas etmektedir. Bununla beraber birleştirilen elemanların kalınlığı birbirine eşit veya kalın eleman vida başı ile temas ettiğinde Şekil 5.23 de görüldüğü gibi devrilme durumu da düşünülmelidir. Tasarım en küçük ezilme dayanımı ile belirlenir [13].

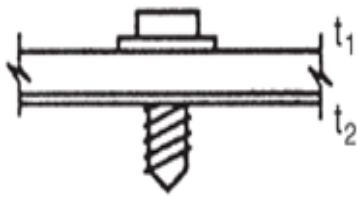


Şekil 5.21 : Devrilme ve ezilmemin karşılaştırılması [13]



devrilme	N/A
ezilme	$P_{ns} = 2.7 t_1 d F_{u1}$ ya da
ezilme	$P_{ns} = 2.7 t_2 d F_{u2}$

Şekil 5.22 :  $t_2/t_1 \geq 2.5$  için tasarım denklemleri [13]



devrilme	$P_{ns} = 4.2 (t_2^3 d)^{1/2} F_{u2}$ ya da
ezilme	$P_{ns} = 2.7 t_1 d F_{u1}$ or
ezilme	$P_{ns} = 2.7 t_2 d F_{u2}$

Şekil 5.23 :  $t_2/t_1 \leq 1.0$  için tasarım denklemleri [13]

Bir vidanın taşıdığı karakteristik kesme dayanımı  $P_{ns}$ , üç duruma göre belirlenir.

a)  $t_2/t_1 \leq 1.0$  için  $P_{ns}$  aşağıdaki değerlerin en küçüğüne eşit olacaktır.

$$P_{ns} = 4.2 \times \sqrt{(t_2^3 \times d)} \times F_{u2} \quad (5.33)$$

$$P_{ns} = 2.7 \times t_1 \times d \times F_{u1} \quad (5.34)$$

$$P_{ns} = 2.7 \times t_2 \times d \times F_{u2} \quad (5.35)$$

b)  $t_2/t_1 \geq 2.5$  için  $P_{ns}$  aşağıdaki değerlerin en küçüğüne eşit olacaktır.

$$P_{ns} = 2.7 \times t_1 \times d \times F_{u1} \quad (5.36)$$

$$P_{ns} = 2.7 \times t_2 \times d \times F_{u2} \quad (5.37)$$

c)  $1.0 \leq t_2/t_1 \leq 2.5$  için  $P_{ns}$  diğer iki durum arasında lineer interpolasyon yapılarak bulunur.

Burada;

$d$ = Karakteristik vida çapı

$t_1$ = Vida başı ile temasta olan elemanın et kalınlığı (Şekil 5.22 ve Şekil 5.23 de gösterildiği gibi)

$t_2$ = Vida başı ile temasta olmayan elemanın et kalınlığı (Şekil 5.22 ve Şekil 5.23 de gösterildiği gibi)

$F_{u1}$ =Vida başı ile temasta olan elemanın çekme dayanımı

$F_{u2}$ =Vida başı ile temasta olmayan elemanın çekme dayanımı

### 5.3.2.2 Vidalarda kesme dayanımı

Vidalı bağlantı elemanların kesme dayanımları deney sonuçlarına göre bulunur. Vidaların dayanımları üretici firmalar tarafından tespit edilip yayınlanmalıdır. Gevrek kırılmayı ve vidanın ani kesme çatlamasını engellemek için standartın F1 bölümüne göre hesaplanan güvenlik ve azaltma katsayısında %25'lik bir düzeltme uygulanır [13].

Vidaların karakteristik kesme dayanımı  $P_{ss}$  olarak alınmalıdır. Standartın E4 bölümünde verilen değerlerin yerine güvenlik katsayısı ya da azaltma katsayısı bölüm F1 e göre hesaplanmış ve  $1.25 \Omega \leq 3.0$  (ASD),  $\phi/1.25 \geq 0.5$  (LRFD) ya da  $\phi/1.25 \geq 0.4$  (LSD) [13].

### 5.3.3 Vidalarda çekme

Çekme taşıyan vidalarda vida başının ve eğer varsa pulun çapı  $d_h$  veya  $d_w$  çapları 7.94 mm' den az olamaz. Karakteristik pul kalınlığı  $t_l$  0.69 mm den büyük

olduğunda en az 1.27 mm kalınlığında,  $t_1$  0.69 mm ye eşit ya da küçük olduğunda ise en az 0.61 mm kalınlığında olmalıdır.

### 5.3.3.1 Dışa çekme (pull-out) dayanımı

Karakteristik dışa çekme dayanımı  $P_{not}$ ;

$$P_{not} = 0.85 \times t_c \times d \times F_{u2} \quad (5.38)$$

Burada  $t_c$ , vidanın dış dibi genişliği ile  $t_2$ 'den küçük olanıdır.

### 5.3.3.2 Üstüne çekme (pull-over) dayanımı

Karakteristik üstüne çekme dayanımı  $P_{nov}$  [13];

$$P_{nov} = 1.50 \times t_1 \times d'_w \times F_{u1} \quad (5.39)$$

Burada  $d_w$ , etkili üstüne çeken vida çapı (a),(b) ve (c) göre aşağıdaki gibi hesaplanır.

(a) Şekil 5.24 de görülen altıgen baş kısmın, şekil 5.24 de görülen yassı vidanın baş kısmın, şekil 5.24 de görülen altıgen pulun baş kısmın altında bağımsız olarak çelik levha pul var ise:

$$d'_w = d_h + 2t_w + t_1 \leq d_w \quad (5.40)$$

Burada;

$d_h$ =Vida başının çapı ya da altıgen pul başın toplam pul çapı

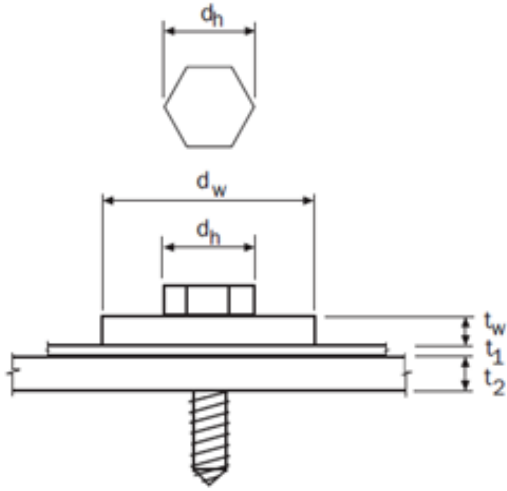
$t_w$ =Çelik pulun kalınlığı

$d_w$ =Çelik pulun çapı

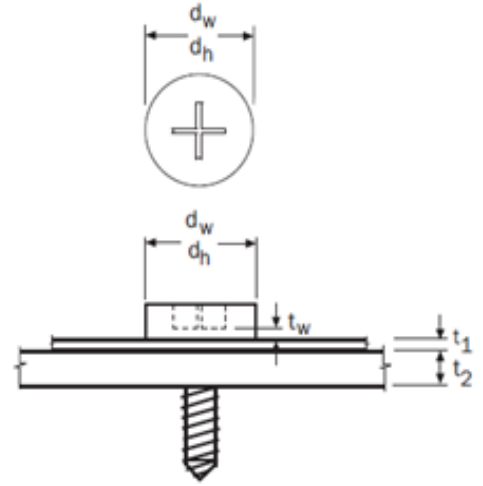
(b) Altıgen vidanı baş kısmın ya da altıgen pulun baş kısmın altında bağımsız olarak çelik levha pul var yok ise:

$$d'_w = d_h \leq 12.7 \text{ mm} \quad (5.41)$$

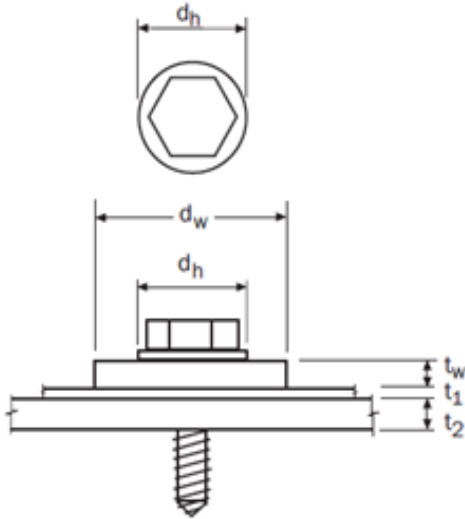
(c) Şekil 5.24 deki Vida başı altında kubbeli pul için  $d'_w$  denklem 5.41 den hesaplanabilir. Ancak  $d'_w$  16 mm den küçük olmalıdır.



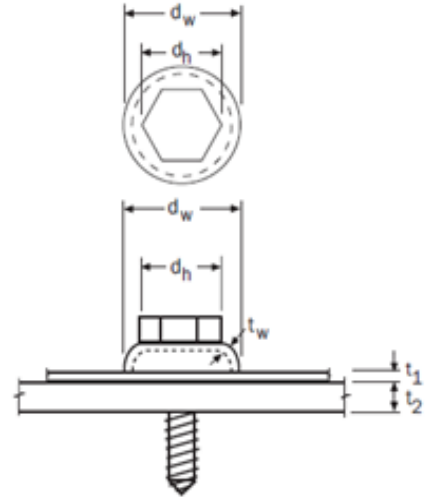
**Altıgen başlı vida  
altında düz çelik pul**



**Yuvarlak vida pul başı**



**Altıgen pul başlı vida  
altında düz çelik pul**



**Vida başı altında kubbeli pul**

**Şekil 5.24 : Pul ile birlikte üstüne çeken vidalar [13]**

### 5.3.3.3 Vidalarda çekme dayanımı

Vidaların karakteristik kesme dayanımı  $P_{ts}$  olarak alınmalıdır. Yönetmeliğin bölüm E4 de verilen değerlerin yerine güvenlik katsayısı ya da azaltma katsayısı bölüm F1 e göre hesaplanmış ve  $1.25\Omega \leq 3.0$  (ASD),  $\phi/1.25 \geq 0.5$  (LRFD) ya da  $\phi/1.25 \geq 0.4$  (LSD). [13]

### 5.3.4 Kesme ve üstüne çekmenin birlikte etkisi

#### 5.3.4.1 ASD yöntemine göre tasarım

Vidalar kesme ve çekme kuvvetinin birlikte etkisine maruz kalırlarsa aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır [13];

$$\frac{Q}{P_{ns}} + 0.71 \frac{T}{P_{nov}} \leq \frac{1.10}{\Omega} \quad (5.42)$$

Bunlara ek olarak Q ve T sırasıyla 5.3.2 ve 5.3.3 de hesaplanan güvenli dayanımları aşmamalıdır.

Burada;

Q: Birleşimin gerekli güvenli kesme dayanımı

T: Birleşimin gerekli güvenli çekme dayanımı

$P_{ns}$ : Birleşimin karakteristik kesme dayanımı

$$P_{ns} = 2.7 \times t_1 \times d \times F_{u1}$$

$P_{nov}$ : Birleşimin karakteristik üstüne çekme dayanımı

$$P_{nov} = 1.50 \times t_1 \times d_w \times F_{u1}$$

$d_w$ : vida başının çapı ya da pulun çapından büyük olanıdır.

$\Omega$ :2.35

Bunların yanı sıra aşağıdaki sınırlamaları sağlamalıdır;

- $0.724 \text{ mm} \leq t \leq 1.130 \text{ mm}$
- No.12 ve No.14 pul olan ya da olmayan kendi deliğini kendisi açan vidalar
- $d_w \leq 19.1 \text{ mm}$
- $F_{u1} \leq 483 \text{ Mpa}$
- $t_2/t_1 \geq 2.5$

Dış merkezli yüklenmiş birleşimlerde bağlantı elemanının üstüne çekme kuvvetinde üzerinde düzgün olmayan kuvvetler oluşturacağından, karakteristik üstüne çekme dayanımı  $P_{nov}$  'nun %50 si alınmalıdır [13].

### 5.3.4.2 LRFD yöntemine göre tasarım

Vidalar kesme ve çekme kuvvetinin birlikte etkisine maruz kalırlarsa aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır [13];

$$\frac{\bar{Q}}{P_{ns}} + 0.71 \frac{\bar{T}}{P_{nov}} \leq 1.10 \phi \quad (5.43)$$

Bunlara ek olarak  $\bar{Q}$  ve  $\bar{T}$  5.3.2 ve 5.3.3 de hesaplanan güvenli dayanımları aşmamalıdır.

$\bar{Q}$ : Birleşimin gerekli kesme dayanımı

: LRFD için  $V_u$

:LSD için  $V_f$

$\bar{T}$ : Birleşimin gerekli çekme dayanımı

:LRFD için  $T_u$

:LSD için  $T_f$

$P_{ns}$ : Birleşimin karakteristik kesme dayanımı

$$P_{ns} = 2.7 \times t_1 \times F_{u1}$$

$P_{nov}$ : Birleşimin karakteristik üstüne çekme dayanımı

$$P_{nov} = 1.50 \times t_1 \times d_w \times F_{u1}$$

$d_w$ : vida başının çapı ya da pulun çapından büyük olanıdır.

$$\phi = 0.65(LRFD)$$

$$0.55(LSD)$$

Bunların yanı sıra aşağıdaki sınırlamaları sağlamalıdır;

a)  $0.724 \text{ mm} \leq t \leq 1.130 \text{ mm}$

b) No.12 ve No.14 pul olan ya da olmayan kendi deliğini kendisi açan vidalar

c)  $d_w \leq 19.1 \text{ mm}$

d)  $F_{u1} \leq 483 \text{ Mpa}$

e)  $t_2/t_1 \geq 2.5$

Dış merkezli yüklenmiş birleşimlerde bağlantı elemanının üstüne çekme kuvvetinde üzerinde düzgün olmayan kuvvetler oluşturacağından, karakteristik üstüne çekme dayanımı  $P_{nov}$  'nun %50 si alınmalıdır [13].

#### 5.4 AISI Standartına Göre Birleşimlerin Kırılma Dayanımı

Bu bölümdeki tasarım kuralları birleştirilen en ince levha kalınlığının 4.76 mm eşit ya da küçükse uygulanmalıdır. Birleştirilen en ince levha kalınlığı 4.76 mm den büyükse tasarım ANSI/AISC-360 ya göre yapılmalıdır [13].

Kaynak, bulon ya da vida kullanılarak yapılan birleşim tiplerinde karakteristik kırılma dayanımı  $R_n$ , 5.4.1, 5.4.2 ve 5.4.3 uygulanabilir olan bölümlerde elde edilen değerlerin en küçüğüne eşittir. Güvenlik ve azaltma katsayısı çizelge 5.8 de birleşim tiplerine göre verilmiştir [13].

**Çizelge 5.8 : Birleşimlerin tipleri [13]**

Birleşim Tipi	$\Omega$ (ASD)	$\phi$ (LRFD)	$\phi_u$ (LSD)
Kaynaklar	2.50	0.60	0.75
Bulonlar	2.22	0.65	0.75
Vidalar	3.00	0.50	0.75

#### 5.4.1 Kesme kırılması

Karakteristik kesme kırılması dayanımı  $V_n$ , denklem 5.44 e göre hesaplanır. [13]

$$V_n = 0.6F_u \times A_{nv} \quad (5.44)$$

Burada;

$F_u$ = Birleştirilen levhaların çekme dayanımı

$A_{nv}$ = kesme kuvvetine maruz kalan net alan (kuvvete paralel)

Malzemenin sınırlandırılmış tek tek kenarlarına doğru olan her bir birleşim elemanında:

$$A_{nv} = 2nte_{net} \quad (5.45)$$

Burada;

n= Kritik en kesitteki birleşim elemanı sayısı

t=Kesitin levha kalınlığı

$e_{net}$  = Levhanın sonu ile kaynağın ya da bağlama elemanındaki deliğin kenarı arasındaki net uzaklık

Kiriş basit kayma birleşiminde;

$$A_{nv} = (h_{wc} - n_b d_h) t \quad (5.46)$$

Burada;

$h_{wc}$ = Net gövde yüksekliği

$n_b$ = Kritik düzlemdeki delik sayısı

$d_h$ = Delik çapı

t= Gövde kalınlığı

#### 5.4.2 Çekme kırılması

Karakteristik çekme kırılması dayanımı  $T_n$ , denklem 5.47 e göre hesaplanır [13].

$$T_n = F_u \times A_e \quad (5.47)$$

Burada;

$A_e$ = kesme kuvvetine maruz kalan net alan (kuvvete paralel)

$$A_e = U_{s1} U_{st} A_n \quad (5.48)$$

$U_{s1}$  = Çizelge 5.9 dan hesaplanan kesme gecikmesi katsayısı

$U_{st}$  = Şaşırtmalı birleşim katsayısı

= Şaşırtmalı delikler yoksa 1.0 alınır.

= Şaşırtmalı delikler varsa 0.9 alınır.

$A_{nt}$ = Çizelge 5.9 da belirtilen durumların dışında çekme kuvvetine maruz kalan net alan (kuvvete dik)

$$A_{nt} = A_g - n_b d_h t + \left( \sum s'^2 / 4g \right) t \quad (5.49)$$

$A_g$ =Elemanın brüt alanı

$s'$  =Ard arda gelen her hangi iki deliğin merkezleri arası boyuna mesafesi

$g$  = Bağlama elemanların merkezleri arasındaki enlemesine mesafe

$n_b$ = Kopma çizgisi üzerindeki birleşim elemanı sayısı

$d_h$ = Standart delik çapı

$t$ =Kesitin levha kalınlığı

$F_u$ = Birleştirilen levhaların çekme dayanımı

Çizelge 5.9 de verilen değerler aşağıda tanımlanmıştır.

$\bar{x}$  = En kesitin merkezinden kesme düzlemine olan uzaklık

$L$  = Birleşim uzunluğu ya da kaynağın boylamasına uzunluğu

$s$  =Hesap yapılan en kesitteki bulon delik sayısının levha genişliğine bölünmesi

$d$ = Karakteristik bulon çapı

Yapılan deneysel çalışmalar göstermiştir ki kuvvete dik doğrultuda birden çok sayıda tek sıralı bulonlar veya tek bir bulon kullanılan düz levhali birleşimlerde; düz levhaların düzlem dışı şekil değiştirmeleri ve uç dönmelerin oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir. Levhaların net kesitinde yırtılması düşünülerek çizelge 5.9 da görüldüğü gibi  $d/s$  oranı ve pulun kullanımına göre dayanımlar azaltılmıştır. Kuvvete paralel birçok birleşim elemanı kullanılan ve düzlem dışı şekil değiştirmesi az olan düz levhali birleşimlerde yönetmeliğe göre dayanım azaltılmasına gerek yoktur [13].

Şaşırtmalı ve diyagonal delik çiftleri olan bulonlu birleşimler net kesitteki kırılma sınır durumu için net kesit alanını arttırmamasından dolayı kabul görülmektedir. 1995 de LaBoube ve Yu şaşırtmalı delik çiftleri olan bulon birleşimlerin davranışlarının sınırlandırılması çalışmasındaki bulgularını özetlemektedir. Araştırmalar göstermiştir ki şaşırtmalı bir bulon deliği mevcudiyetinde kırılma düzlemindeki genişlik  $s'^2 / 4g$  kullanılarak belirlenebilmektedir. Şaşırtmalı delik içeren kritik çekme çizgisi %10

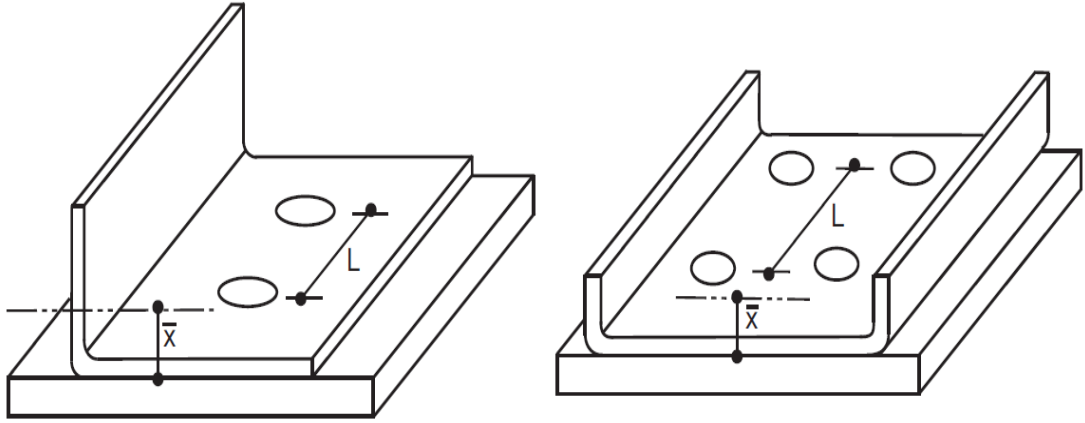
oranında azaltılmıştır. Bu azaltma LaBoube ve Yu 'nun 1995 deki araştırmaları neticesinde doğrulanmıştır [13].

**Çizelge 5.9 :** Çekme elemanlı birleşimlerde kesme düzensizliği katsayısı [13]

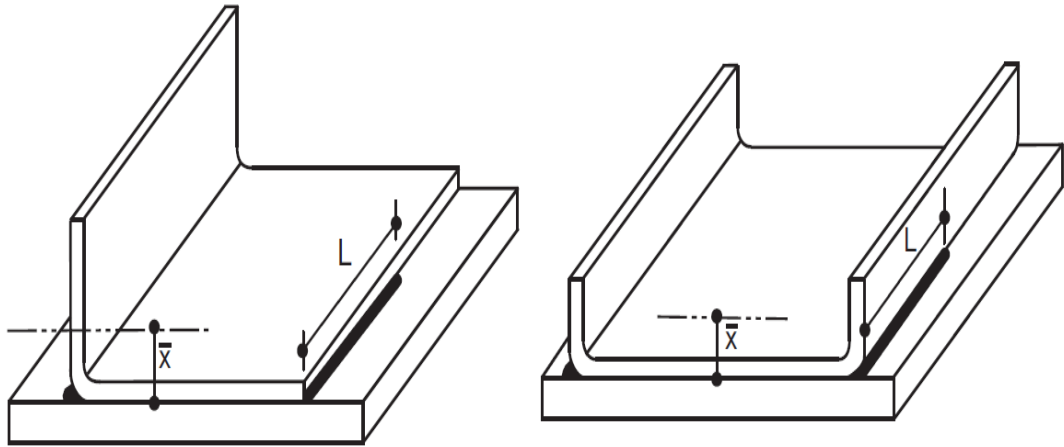
Elemanın Tanımı	Kesme Düzensizliği Katsayısı, $U_{s1}$
(1) şaşırtmalı delik çiftleri bulunmayan düz levhalı birleşimler	
(a) Kuvvete paralel doğrultuda birden çok birleşim elemanı varsa	$U_{s1} = 1.0$
(b) Kuvvete dik doğrultuda tek bir sıra birleşim elemanı ya da tek bir adet birleşim elemanı varsa	
(i) Tek tesirli ve bulon başı ile somonun altında pul olan çift tesirli birleşimin dış levhaları	$U_{s1} = 3.33 d/s \leq 1.0$
(ii) Tek tesirli ve bulon başı ile somonun altında pul olmayan ya da tek bir pul olan çift tesirli birleşimin dış levhaları	$U_{s1} = 2.50 d/s \leq 1.0$
(iii) Pul olan ya da olmayan çift tesirli birleşimin iç levhaları	$U_{s1} = 4.15 d/s \leq 1.0$
(2) şaşırtmalı delik çiftlerine sahip düz levhalı birleşimler	$U_{s1} = 1.0$
(3) Düz olmayan levhalı birleşimler	
(a) Sadece Enlemesine kaynaklar ile yük aktarıldığında	$U_{s1} = 1.0$ ve $A_{nt} =$ Direkt olarak birleştirilen elemanların alanı
(b) Elemanların tüm en kesit alanları tarafından yük direkt olarak aktarıldığında	$U_{s1} = 1.0$
(c) Açılı elemanlar (a) ve (b) deki gibi durumla karşılaşmadığında	$U_{s1} = 1.0-1.20 \bar{x} / L \leq 0.9$ ancak $U_{s1}$ 0.4 den küçük alınamaz
(d) C kesitler (a) ve (b) deki gibi durumla karşılaşmadığında	$U_{s1} = 1.0-0.36 \bar{x} / L \leq 0.9$ ancak $U_{s1}$ 0.4 den küçük alınamaz

Kesme düzensizliği en kesitin çekme kapasitesine zayıflatan bir etkiye sahiptir. 1995 de LaBoube ve Yu' nun yaptığı UMR araştırmaları temelinde, kesme düzensizliğinin etkisini hesaplamada kullanılan tasarım denklemleri geliştirilmiştir. Araştırma göstermiştir ki açılı ve C kesitler için kesme gecikmesi etkisi farklılık göstermektedir[13].

Bununla beraber her iki en kesit içinde kesme gecikmesi etkisinin parametreleri Şekil 5.25 ve Şekil 5.26 da görüldüğü en kesitin ağırlık merkezinden kesme düzlemine olan uzaklık ve birleşimin uzunluğudur. Araştırmalar göstermiştir ki soğukta şekil verilmiş çelik elemanların tek bulon kullanılarak yapılan birleşimlerinde karakteristik dayanımı genellikle net kesitteki kırılma yerine ezilme tarafından belirlenmektedir[13].



Şekil 5.25 : Bulon kesitte  $\bar{x}$  tanımı [13]



Şekil 5.26 : Köşe kaynaklı kesitte  $\bar{x}$  tanımı [13]

#### 5.4.3 Blok kesme kırılması

Blok kayma sınır durumu için karakteristik dayanımı  $R_n$ , denklem 5.50 ve 5.51 deki gibi hesaplanan değerlerin en küçüğüdür [13];

$$R_n = 0.6F_y A_{gv} + U_{st} U_{bs} F_u A_{nt} \quad (5.50)$$

$$R_n = 0.6F_u A_{nv} + U_{st} U_{bs} F_u A_{nt} \quad (5.51)$$

Burada;

$A_{gv}$  = kesme etkisindeki brüt enkesit alanı (kuvvete paralel)

$A_{nv}$  = kesme etkisindeki net enkesit alanı (kuvvete paralel)

$A_{nt}$  = Çizelge 5.9 da gösterilenin dışında, çekme etkisindeki net enkesit alanı (kuvvete dik)

$U_{st}$  = Şaşırtmalı birleşim katsayısı

= Şaşırtmalı delikler yoksa 1.0 alınır.

= Şaşırtmalı delikler varsa 0.9 alınır.

$U_{bs}$  =Düzgün olmayan blok kesme katsayısı

= Birleşim elemanlarının bir düşey sıradan fazla olan çentilmiş kirişlerin kesme durumunda 0.5 alınır.

=Diğer durumlarda 1.0 alınır.

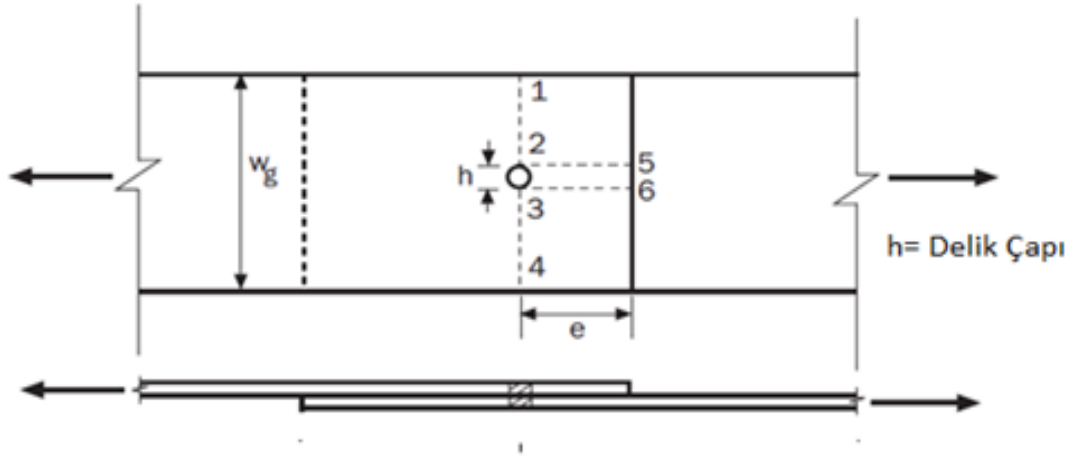
$F_y$  = Birleştirilen levhaların akma gerilmesi

$F_u$  =Birleştirilen levhaların çekme dayanımı

Blok kesme, kuvvete paralel kırılma çizgisindeki kesme dayanımlarının toplamını ve kuvvete dik bölümdeki çekme dayanımını hesaplayan sınır durumdur. Soğukta şekil verilmiş çelik elemanların blok kesme konusunda kapsamlı bir deney çalışması mevcut değildir. Bununla beraber, Missouri-Rolla Üniversitesinde yapılan bir çalışma göstermiştir ki AISC denklemleri soğukta şekil verilmiş çelik elemanlar için uygulanabilmektedir [13].

Blok kesme, akma sınır durumu olmayan bir kırılma sınır durumudur. Bununla beraber brüt kesitin çekme düzleminde yırtılma olduğu zaman, brüt kesitin kesme düzleminde akma oluşmaktadır. Denklem 5.50 ve 5.51 bu her iki durumda kontrol etmektedir [13].

Şekil 5.27,5.28,5.29,5.30,5.31 de çeşitli kırılma durumları için kırılma çizgileri ve uygulama durumları gösterilmiştir [13].



Şekil 5.27 : Tek bindirmeli bir birleşimin muhtemel kırılma çizgisi [13]

(Çekme kırılması)

Kırılma çizgisi 1,2,3,4 Bölüm 5.4.2 uygulanmalıdır.

$$A_e = U_{s1} U_{st} A_{nt}$$

$U_{s1}$ =çizelge 5.9 dan (1)-(b) kısmındaki tüm durumlara göre bulunur.

$$U_{st}=1,0$$

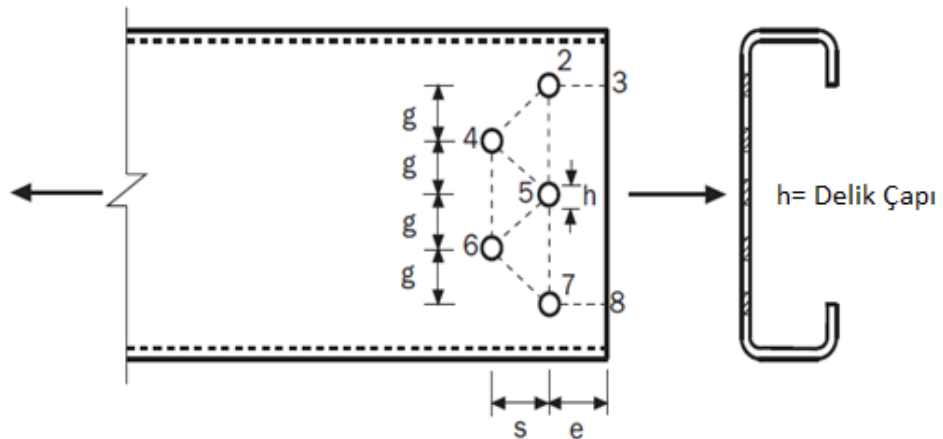
$$A_{nt} = (w_g - h) t$$

(Kesme kırılması)

Kırılma çizgisi 1,2,3,4 Bölüm 5.4.1 uygulanmalıdır.

$$A_{nv} = 2n(e - 1/2h)t$$

$n$ = tek bir bağlama elemanı olduğundan 1 dir.



Şekil 5.28 : Rijitleştirilmiş C kesitin muhtemel kırılma çizgisi (blok kesme) [13]

Kırılma çizgisi 3,2,4,5,6,7,8 ve bölüm 5.4.3 uygulanmalıdır.

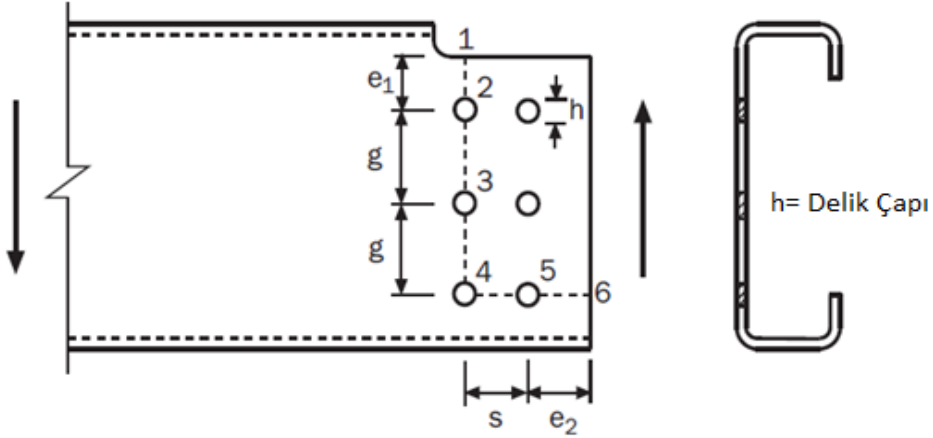
$$A_{gv} = 2et$$

$$A_{nv} = 2n(e - 1/2h)t$$

$$A_{nt} = 4(g + s^2/4g - h)t$$

$$U_{st}=0.9$$

$$U_{bs}=1.0$$



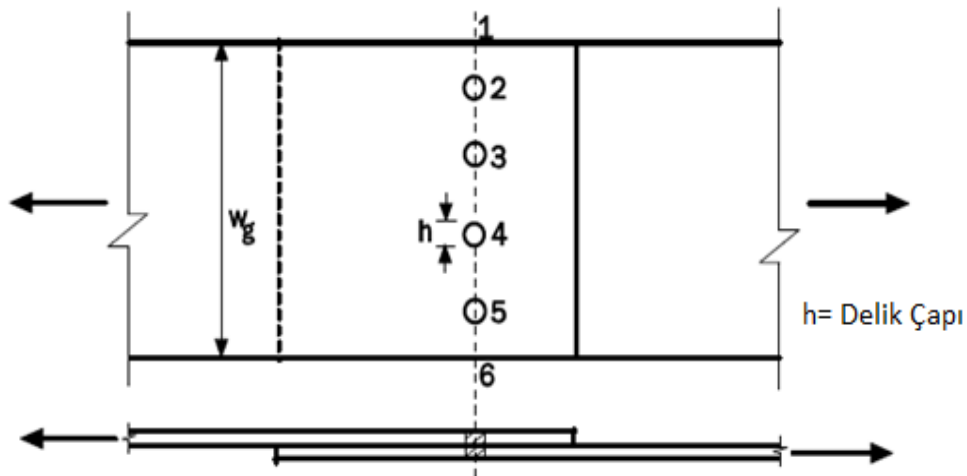
Şekil 5.29 : Çentilmiş rijit C kesitin muhtemel kırılma çizgisi (blok kesme) [13]

Kırılma çizgisi 1,2,3,4,5,6 Bölüm 5.4.3 uygulanmalıdır.

$$A_{gv} = (2g + e_1)t$$

$$A_{nv} = A_{gv} - 2.5ht \quad A_{nt} = [(s + e_2) - 1.5h]t$$

$$U_{st}=1.0, U_{bs}=0.5$$



Şekil 5.30 : Birden çok birleşim elemanı olan bindirmeli birleşimin muhtemel kırılma çizgisi (Çekme) [13]

Kırılma çizgisi 1,2,3,4,5,6 bölüm 5.4.2 uygulanmalıdır.

$$A_e = U_{s1} U_{st} A_{nt}$$

$U_{s1}$  çizelge 5.9 dan (1)-(b) kısmındaki tüm durumlara göre bulunur.

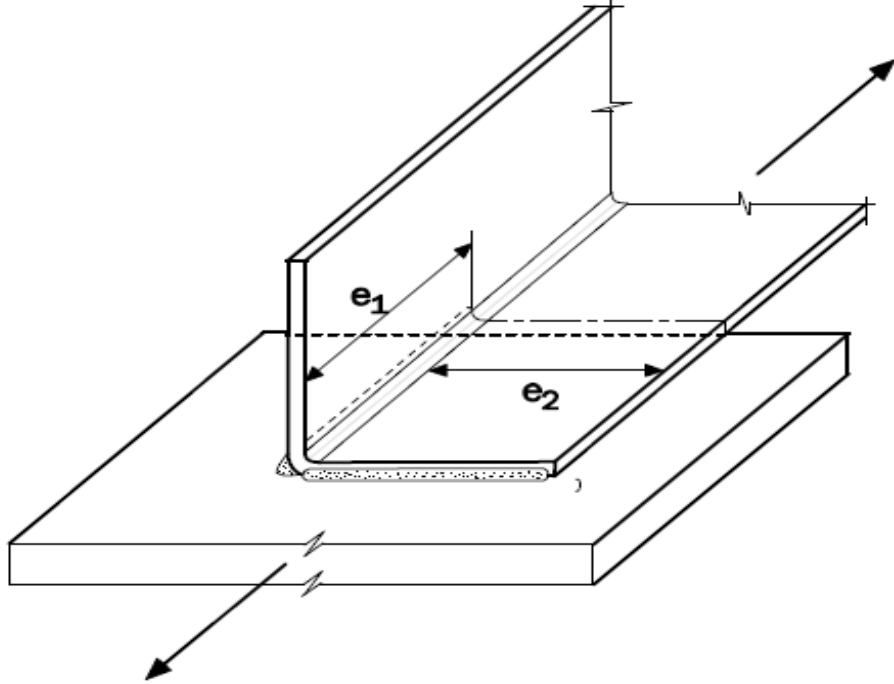
$$U_{st}=1.0$$

$$A_{nt} = (w_g - 4h)t$$

Şekil5.31 deki bir köşe kaynaklı birleşimde ise kırılma dayanımı bölüm 5.4.2 e göre hesaplanmalıdır.

$$U_{st}=1.0$$

$$U_{s1} = 1.0-1.20 \bar{x} / L \leq 0.9 \text{ (çizelge 5.9'dan)}$$

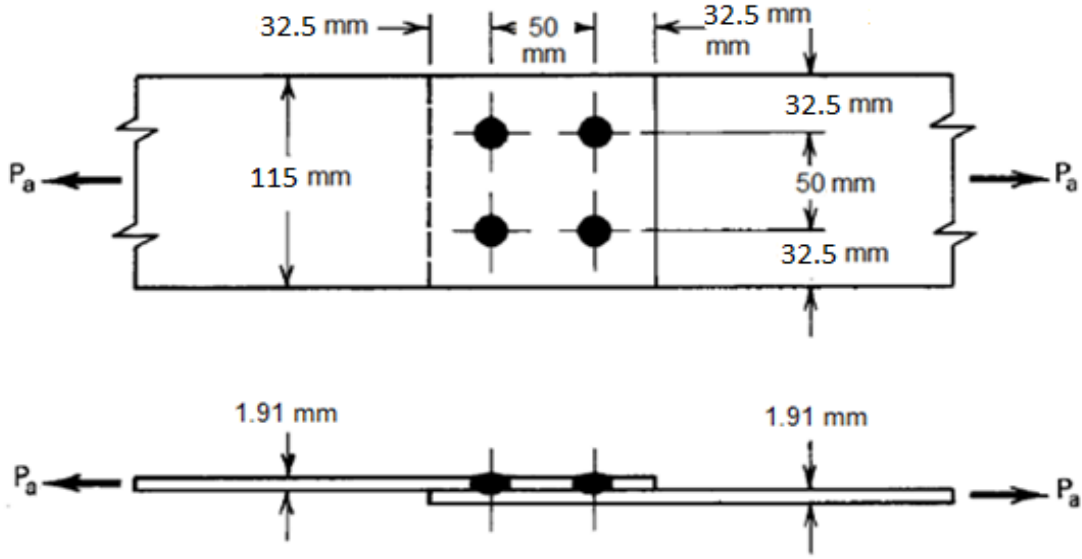


Şekil 5.31 : Köşe kaynaklı birleşimin muhtemel kırılma çizgisi [13]

## 5.5 AISI Standartına Göre Uygulamalar

### 5.5.1 Ark nokta kaynaklı birleşimlerde uygulama

Şekil 5.32'deki iki levhanın birleştiren ark nokta kaynağın ASD ve LRFD yöntemlerine göre çekme yükünü bulunuz? Levhalarda A 1011 Grade 45 çeliği kullanılmıştır ( $F_y= 310$  Mpa,  $F_u=414$  Mpa). Ark nokta kaynağının görünür çapı  $d= 19.05$  mm, sabit/hareketli yük oranı  $1/5$ 'dir.  $E=203000$  Mpa



**Şekil 5.32** : Ark nokta kaynaklı birleşim

ASD yöntemine göre hesap adımları:

- $t_{levha} = 1.91 < 3.81$  mm Ark nokta kaynağı uygulanabilir.
- $t_{levha} = 1.91 > 0.711$  mm kaynak puluna gerek yoktur

Görünür çap  $d = 19.05$  mm ve Şekil 5.7'den

$$d_a = d - t = 19.05 - 1.91 = 17.14 \text{ mm}$$

$$d_e = 0.7d - 1.5t = 0.7(19.05) - 1.5(1.91) = 10.47 \text{ mm} , d_e \leq 0.55 d$$

$$d_e = 10.47 \leq 0.55(19.05) = 10.47 \leq 10.47 \text{ Uygundur.}$$

Ayrıca izin verilen minimum etkili çap ( $d_e$ ) 9.5 mm den büyük olmalıdır.

$$10.47 > 9.5 \text{ mm (Uygundur)}$$

- Herhangi bir kaynağın merkezinden plakanın sonuna olan mesafe (Şekil 5.4'ten)  
 $32.50 \geq 1.5d (1.5 \times 19.05)$ ,  $32.50 \geq 28.58$  Uygundur.

- Kaynaklar arasındaki net mesafe;

$$50.0 - d = 30.95 > d (19.05) \text{ Uygundur.}$$

- Kaynaklar ve elemanın bitişi arasındaki net mesafe;

$$32.50 - d/2 = 22.98 > d (19.05) \text{ Uygundur}$$

### Kaynağın Tasarım Kesme Dayanımı

a. Kaynakların Kesme Kapasitesi

Denklem 5.4'ü ve E60 tipi elektrotları kullanarak

$$P_{a1} = 4P = 4 \left( \frac{\pi d_e^2}{4} \right) (0.75 F_{xx}) / \Omega = \pi \times 10.47^2 \times (0.75 \times 414) / 2.55 = 41.93 \text{ KN}$$

b. Bağlanan levhaların dayanımlarına bağlı olarak kesme dayanımı denklem 5.5 i kullanarak;

$$\frac{d_a}{t} = \frac{17.14}{1.91} = 8.97 \leq 0.815 \times \sqrt{\frac{203000}{414}} = 18.05$$

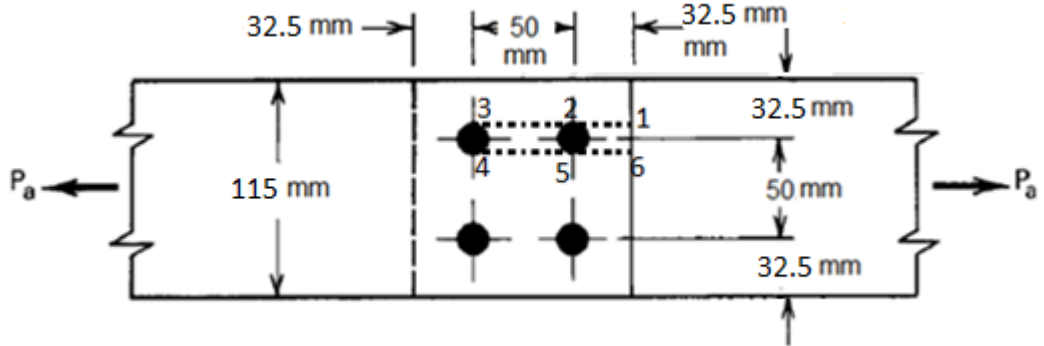
$$P_{a2} = 4 \times \frac{2.20 \times t \times d_a \times F_u}{\Omega} = 4 \times 2.20 \times 1.91 \times 17.14 \times \frac{414}{2.20} = 54.21 \text{ KN}$$

### Levhaların Akma Sınır Durumundaki Çekme Dayanımı

$$P_{a3} = T_n / \Omega_t = A_g F_y / 1.67 = 115.00 \times 1.91 \times 310 / 1.67 = 40.77 \text{ KN}$$

### Kaynağın Güvenle Taşıyabileceği Kırılma Dayanımı

a. Kesme kırılması dayanımı denklem 5.44 ile şekil 5.33 deki gibi 1-2-3-4-5-6 kırılma çizgisini kullanarak hesaplanır;



Şekil 5.33 : Kesme kırılmasında göçme

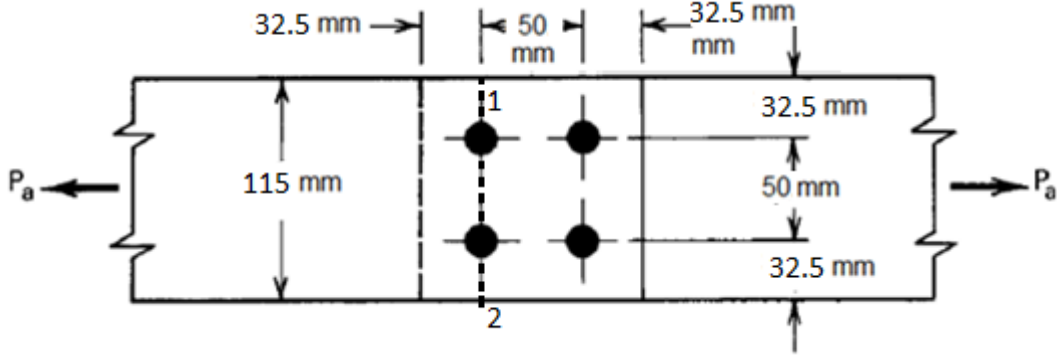
$$V_n = 0.6 F_u \times A_{nv}$$

$$A_{nv} = 4[50 + 32.50 - 1.5 \times 19.05] \times 1.91 = 411.98 \text{ mm}^2$$

$$P_a = V_n / \Omega = 0.6 \times 414 \times 411.98 / 2.50$$

$$P_{aR1} = 40.93 \text{ KN}$$

- b. Çekme kırılması sınır durumu denklem 5.47 ile şekil 5.34 deki gibi 1-2 kırılma çizgisini kullanarak hesaplanır;



Şekil 5.34 : Çekme kırılmasında göçme

$$T_n = F_u \times A_e$$

Burada  $A_e$  ise denklem 5.48 ve çizelge 5.9 yardımıyla hesaplanır;

$$A_e = U_{s1} U_{st} A_{nt}$$

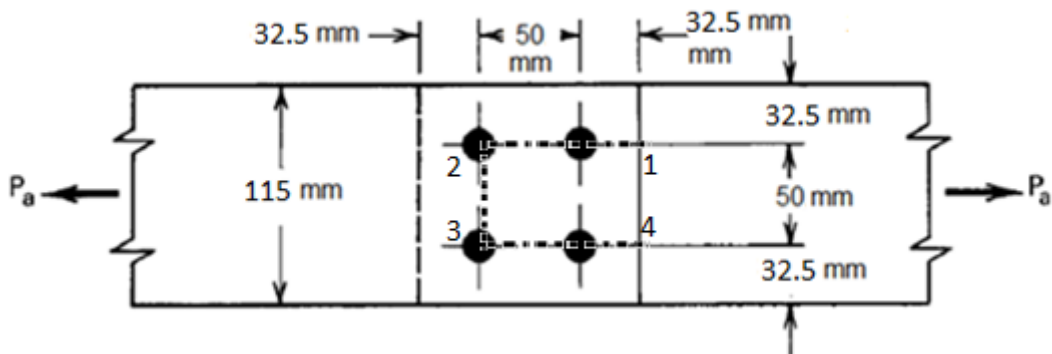
$$A_{nt} = 115.0 \times 1.91 = 219.65 \text{ mm}^2$$

$$A_e = (1)(1)(219.65) = 219.65 \text{ mm}^2$$

$$P_a = T_n / \Omega = 414 \times 219.65 / 2.50$$

$$P_{aR2} = 36.37 \text{ KN}$$

- c. Blok kayma sınır durumu denklem 5.50 ve 5.51 ile şekil 5.35 deki 1-2-3-4 kırılma çizgisi kullanılarak hesaplanır;



Şekil 5.35 : Blok kesme kırılmasında göçme

$$A_{gv} = 2 \times (50.0 + 32.50)1.91 = 315.15 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} = 315.15 \text{ mm}^2 \quad A_{nt} = 50.00 \times 1.91 = 95.50 \text{ mm}^2$$

Denklem 5.50 ve 5.51 kullanılarak küçük olan değer tasarım dayanımı olarak alınır. Bölüm 5.4.3 de anlatıldığı gibi  $U_{st}$  ve  $U_{bs}$  1 alınır.

$$R_n = 0.6(310)(315.15) + (1)(1)(414)(95.50) = 98.15 \text{ KN}$$

$$R_n = 0.6(414)(315.15) + (1)(1)(414)(95.50) = 117.82 \text{ KN}$$

$$P_{aR3} = R_n / \Omega = 98.15 / 2.50 = 39.26 \text{ KN}$$

$$P_{a4} = \begin{pmatrix} P_{R1} \\ P_{R2} \\ P_{R3} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 40.93 \\ 36.37 \\ 39.26 \end{pmatrix}_{\min} = 36.37 \text{ KN}$$

$$P_a = \begin{pmatrix} P_{a1} \\ P_{a2} \\ P_{a3} \\ P_{a4} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 41.93 \\ 54.21 \\ 40.77 \\ 36.37 \end{pmatrix}_{\min} = 36.37 \text{ KN}$$

Görüldüğü gibi ASD yöntemi için izin verilen yük 36.37 KN olan en küçük değerdir ki bu da çekme kırılması sınır durumu ile belirlenir.

#### LRFD yöntemine göre hesap adımları:

LRFD yöntemine başlangıçta ASD yönteminde de yapıldığı gibi uygunluk kontrolleri aynı şekilde yapılır ki ASD yönteminde tüm kriterlerin sağlandığı görülmektedir.

- Kaynağın Tasarım Kesme Kuvveti

Kaynakların Kesme Kapasitesi

Denklem 5.4'ü ve E60 tipi elektrotları kullanarak

$$P_{a1} = 4P = 4 \left( \frac{\pi d_e^2}{4} \right) (0.75 F_{xx}) \times \phi = \pi \times 10.47^2 \times (0.75 \times 414) \times 0.60 = 64.16 \text{ KN}$$

- Bağlanan levhaların dayanımlarına bağlı olarak kesme dayanımı

$$\frac{d_a}{t} = \frac{17.14}{1.91} = 8.97 \leq 0.815 \times \sqrt{\frac{203000}{414}} = 18.05$$

$$P_{a2} = 4 \times 2.20 \times t \times d_a \times F_u \times \phi = 4 \times 2.20 \times 1.91 \times 17.14 \times 414 \times 0.70 = 83.49 \text{ KN}$$

Levhaların akma sınır durumundaki çekme dayanımı

$$P_{a3} = \phi_t T_n = (0.90) A_g F_y = (0.90) \times 115.00 \times 1.91 \times 310 = 61.28 \text{ KN}$$

• Kaynağın Güvenle Taşıyabileceği Kırılma Dayanımı

- a. Kesme kırılması dayanımı denklem 5.44 ile şekil 5.33 deki gibi 1-2-3-4-5-6 kırılma çizgisini kullanarak hesaplanır;

$$V_n = 0.6 F_u \times A_{nv}$$

$$A_{nv} = 4[50 + 32.50 - 1.5 \times 19.05]1.91 = 411.98 \text{ mm}^2$$

$$P_a = V_n \times \phi = 0.6 \times 414 \times 411.98 \times 0.60$$

$$P_{aR1} = 61.40 \text{ KN}$$

- b. Çekme kırılması dayanımı denklem 5.47 ile şekil 5.34 deki gibi 1-2 kırılma çizgisini kullanarak hesaplanır;

$$T_n = F_u \times A_e$$

Burada  $A_e$  ise denklem 5.48 ve çizelge 5.9 yardımıyla hesaplanır;

$$A_e = U_{s1} U_{st} A_{nt}$$

$$A_{nt} = 115.0 \times 1.91 = 219.65 \text{ mm}^2$$

$$A_e = (1)(1)(219.65) = 219.65 \text{ mm}^2$$

$$P_a = T_n \times \phi = 414 \times 219.65 \times 0.60$$

$$P_{aR2} = 54.56 \text{ KN}$$

- c. Blok kesme kırılması dayanımı denklem 5.50 ve 5.51 ile şekil 5.35 deki 1-2-3-4 kırılma çizgisi kullanılarak hesaplanır;

$$A_{gv} = 2 \times (50.0 + 32.50)1.91 = 315.15 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} = 315.15 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = 50.00 \times 1.91 = 95.50 \text{ mm}^2$$

Denklem 5.50 ve 5.51 kullanılarak küçük olan değer tasarım dayanımı olarak alınır.

Bölüm 5.4.3 de anlatıldığı gibi  $U_{st}$  ve  $U_{bs}$  1 alınır.

$$R_n = 0.6(310)(315.15) + (1)(1)(414)(95.50) = 98.15 \text{ KN}$$

$$R_n = 0.6(414)(315.15) + (1)(1)(414)(95.50) = 117.82 \text{ KN}$$

$$P_{aR3} = R_n \times \phi = 98.15 \times 0.60 = 58.89 \text{ KN}$$

$$P_{a4} = \begin{pmatrix} P_{R1} \\ P_{R2} \\ P_{R3} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 61.40 \\ 54.56 \\ 58.89 \end{pmatrix}_{\min} = 54.56 \text{ KN}$$

$$P_a = \begin{pmatrix} P_{a1} \\ P_{a2} \\ P_{a3} \\ P_{a4} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 64.16 \\ 83.49 \\ 61.28 \\ 54.56 \end{pmatrix}_{\min} = 54.56 \text{ KN}$$

Tanımlanan yük faktörleri ve yük kombinasyonlarına dayalı olarak 1/5 olan sabit/hareketli yük oranı için gerekli dayanım denklem (4.12) ve (4.13) ile şu şekilde hesaplanır;

$$P_L = 5P_D$$

$$P_{u1} = 1.4P_D + P_L = 1.4P_D + 5P_D = 6.4P_D$$

$P_D$  = sabit yükten dolayı uygulanan yük

$P_L$  = hareketli yükten dolayı uygulanan yük

$$P_{u2} = 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2P_D + 1.6(5P_D) = 9.2P_D$$

$$P_u = \begin{pmatrix} P_{u1} \\ P_{u2} \end{pmatrix}_{\max} = \begin{pmatrix} 6.4P_D \\ 9.2P_D \end{pmatrix}_{\max} = 9.2P_D \text{ olarak alınır.}$$

$$9.2P_D = 54.56 \text{ KN}$$

$$P_D = 5.93 \text{ KN} \quad P_L = 5P_D = 5 \times 5.93 = 29.65 \text{ KN}$$

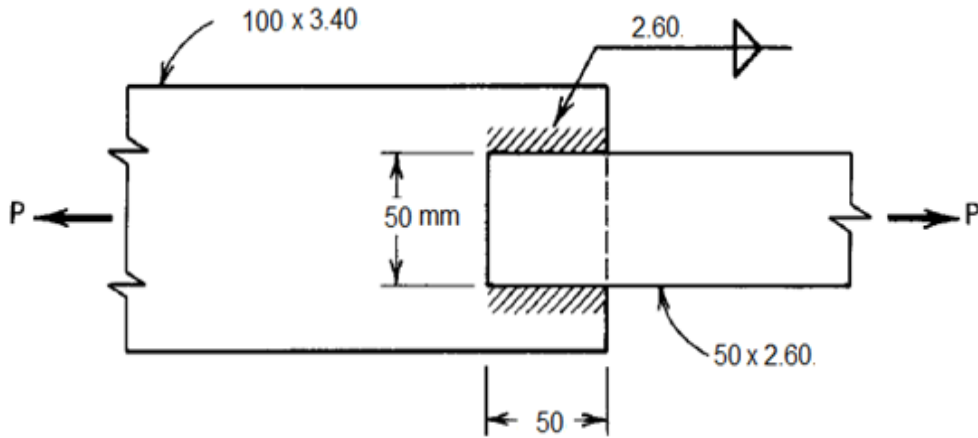
LRFD yöntemine göre işletme yükü;

$$P_D + P_L = 5.93 + 29.65 = 35.58 \text{ KN}$$

Her iki tasarım yöntemi için yaklaşık olarak güvenli çekme dayanımının aynı değere eşit olduğu görülmektedir. İki yöntem arasındaki fark bu özel durum için yaklaşık %2 civarındadır.

### 5.5.2 Köşe kaynaklı birleşimlerde uygulama

Şekil 5.36 deki köşe kaynaklı birleşimin güvenle aktarabileceği yükü ASD ve LRFD yöntemlerine göre hesaplayınız? Malzeme Esas metal:A 570 Grade 33 çelik levha ( $F_y = 228$  Mpa  $F_u = 359$  Mpa) ilave metal Mpa E60 tipi elektrot ( $F_{xx} = 414$  Mpa)



Şekil 5.36 : Köşe kaynaklı birleşim

ASD yöntemine göre tasarım;

a) Çelik levhaların güvenle aktarabileceği çekme kuvveti:

Akma sınır durumunda;

$$P_{a1} = T_n / \Omega_t = A_g F_y / 1.67 = 50.0 \times 2.60 \times 228 / 1.67 = 17.75 \text{ KN}$$

Kırılma sınır durumu için;

$$P_{a2} = T_n / \Omega_t = A_n F_u / 2.00 = 50.0 \times 2.60 \times 359 / 2.00 = 23.34 \text{ KN}$$

b) Köşe kaynakların güvenle aktarabileceği kesme kuvveti:

$L/t = 50.0/2.60 = 19.0 < 25$  olduğundan denklem 5.16 dan

$$P_n = \left( 1 - \frac{0.01 \times 50.0}{2.60} \right) \times 2.60 \times 50.0 \times 359 / 2.55 = 14.78 \text{ KN}$$

2 tane boylamasına köşe kaynak kullandığından

$$P_{a3} = 2 \times 14.78 = 29.56 \text{ KN}$$

Levha kalınlığı  $2.60 > 2.54$  olduğu için denklem 5.19 e göre hesap yapılmalıdır.

$$P_n = 0.75 t_w L F_{xx}$$

$$P_{a4} = 0.75 \times (0.707 \times 2.60) \times 50 \times 414 / 2.55 = 11.19 \text{ KN}$$

2 tane boylamasına köşe kaynak kullandığından

$$P_{a4} = 2 \times 11.19 = 22.38 \text{ KN}$$

$$P_a = \begin{pmatrix} P_{a1} \\ P_{a2} \\ P_{a3} \\ P_{a4} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 17.75 \\ 23.34 \\ 29.56 \\ 22.38 \end{pmatrix}_{\min} = 17.75 \text{ KN}$$

LRFD yöntemine göre tasarım:

a) Çelik levhaların güvenle aktarabileceği çekme kuvveti:

Akma sınır durumunda;

$$P_{a1} = \phi_t T_n = (0.90) A_g F_y = (0.90) \times 50 \times 2.60 \times 228 = 26.68 \text{ KN}$$

Kırılma sınır durumu için;

$$P_{a2} = \phi_t T_n = (0.75) A_n F_u = (0.75) \times 50 \times 2.60 \times 359 = 35.00 \text{ KN}$$

b) Köşe kaynakların güvenle aktarabileceği kesme kuvveti:

$L/t = 50.0/2.60 = 19. < 25$  olduğundan

$$P_{a3} = 2 \times \left( 1 - \frac{0.01 \times 50.0}{2.60} \right) \times 2.60 \times 50.0 \times 359 \times 0.60 = 45.23 \text{ KN}$$

Levha kalınlığı  $2.60 > 2.54$  olduğu için denklem 5.19 e göre hesap yapılmalıdır.

$$P_n = 0.75 t_w L F_{xx}$$

$$P_{a4} = 2 \times [0.75 \times (0.707 \times 2.60) \times 50 \times 414] \times 0.60 = 34.25 \text{ KN}$$

$$P_a = \begin{pmatrix} P_{a1} \\ P_{a2} \\ P_{a3} \\ P_{a4} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 26.68 \\ 35.00 \\ 45.23 \\ 34.25 \end{pmatrix}_{\min} = 26.68 \text{ KN}$$

$$P_L = 5P_D$$

$$P_{u1} = 1.4P_D + P_L = 1.4P_D + 5P_D = 6.4P_D$$

$$P_{u2} = 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2P_D + 1.6(5P_D) = 9.2P_D$$

$$P_u = \left( \begin{array}{c} P_{u1} \\ P_{u2} \end{array} \right)_{\max} = \left( \begin{array}{c} 6.4P_D \\ 9.2P_D \end{array} \right)_{\max} = 9.2P_D \text{ olarak alınır.}$$

$$9.2P_D = 26.68 \text{ KN}$$

$$P_D = 2.90 \text{ KN}$$

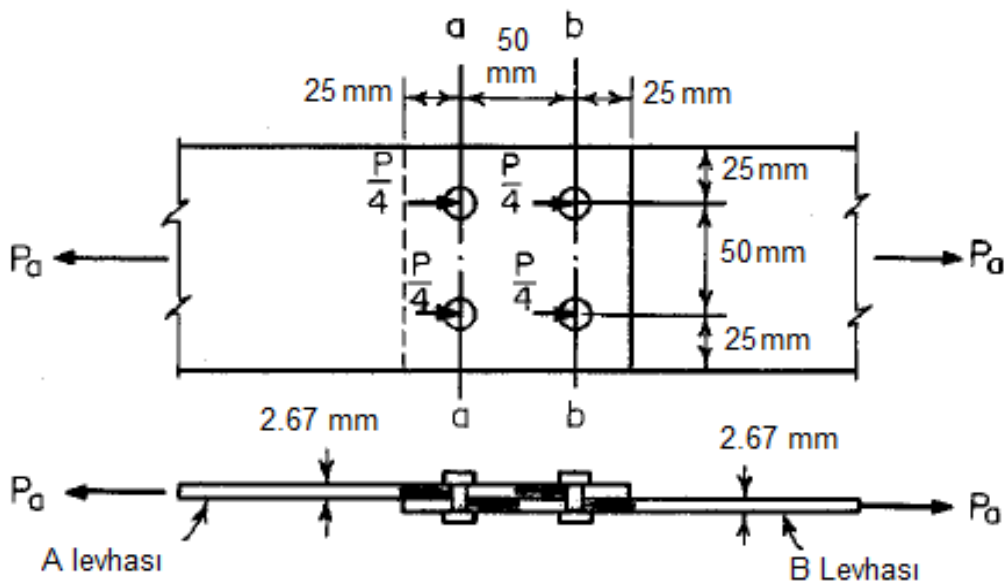
$$P_L = 5P_D = 5 \times 2.90 = 14.50 \text{ KN}$$

LRFD yöntemine göre işletme yükü;

$$P_D + P_L = 2.90 + 14.50 = 17.40 \text{ KN}$$

### 5.5.3 Bulonlu birleşimlerde uygulama

Şekil 5.37 de gösterilen birleşim bulon başı ve somunu altında pul olan 4 adet M12 (4.6) bulonu ile A 570 grade 33 çelik levhaları birleştirilmiştir. Birleşim güvenle taşıyabileceği kuvveti ASD ve LRFD yöntemlerine göre hesaplayınız? Sabit/Hareketli yük oranını 1/5 olarak alınız ayrıca bulon deliği etrafındaki deformasyonu göz önüne almayınız. ( $F_u$ : 359 Mpa ve  $F_y$ : 228 Mpa)



Şekil 5.37 : Tek tesirli bulonlu birleşim

#### A.ASD e göre tasarım:

##### 1. Kesme, Aralık ve Gerilme Doğrultusundaki Kenar Mesafe:

a. Bulon delikleri merkezleri arasındaki uzaklık

$$50 > (3d = 3 \times 12.0 = 36.00 \text{ mm}) \text{ Uygundur}$$

b. Standart deliğin merkezinden levhanın sonuna olan uzaklığı

$$25 > (1.5d = 1.5 \times 12.0 = 18.00 \text{ mm}) \text{ Uygundur.}$$

##### 2.Çelik levhaların çekme dayanımı

Akma için;

$$P_{a1} = T_n / \Omega_t = A_g F_y / 1.67 = 100.0 \times 2.67 \times 228 / 1.67 = 36.45 \text{ KN}$$

##### 3.Bulonlar ve çelik levhalar arasındaki ezilme dayanımı

Güvenli aktarılacak ezilme dayanımı bulon deliği etrafındaki şekil değiştirme tasarım kriteri olarak alınmadığı için denklem 5.28 i kullanarak ( $\Omega:2.50$ ) hesaplanır:

$$P_a = P_n / \Omega = C m_f f_u d t / 2.50$$

$d/t=4.50$ ,  $C=3.0$  (Çizelge 5.5)  $m_f=1.0$ (Çizelge 5.6)

$$P_a = 3(1)(359)(12)(2.67) / 2.50 = 13.80 \text{ KN / bulon}$$

4 bulon için güvenli ezilme dayanımı;

$$P_{a2} = 4 \times P_a = 4 \times 13.80 = 55.20 \text{ KN}$$

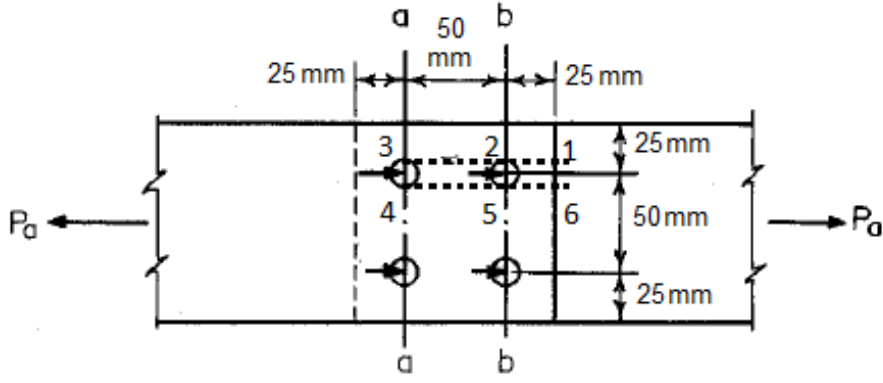
##### 4.Bulonlardaki kesme dayanımı

M12 (4.6) nın  $F_{ub}=400$  Mpa brüt alanı  $113,09 \text{ mm}^2$  olan 4 bulon için karakteristik dayanımı;

$$P_{a3} = 4(A_b F_{nv}) / \Omega = 4(0.4 F_{ub} A_b) / 2.40 = 4 \times (0.4 \times 400 \times 113.09) / 2.40 = 30.15 \text{ KN}$$

##### 5.Bulonlardaki kırılma dayanımları

a. Kesme kırılması dayanımı denklem 5.44 ile şekil 5.38 deki gibi 1-2-3-4-5-6 kırılma çizgisini kullanarak hesaplanır;



Şekil 5.38 : Kesme kırılmasında göçme

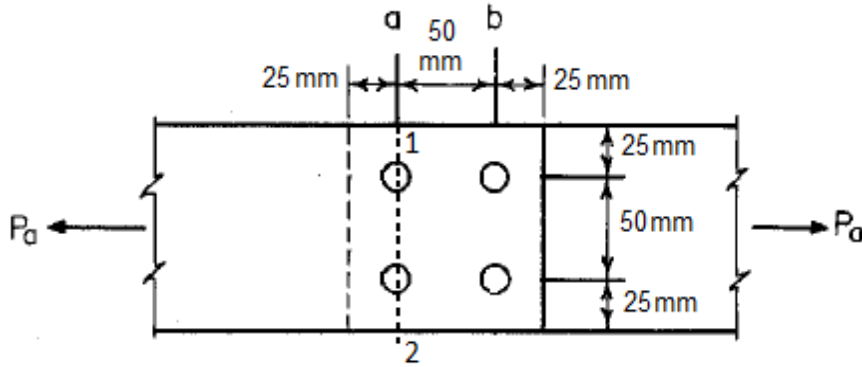
$$V_n = 0.6F_u \times A_{nv}$$

$$A_{nv} = 4[50 + 25.00 - 1.5 \times 13.00]2.67 = 592.74 \text{ mm}^2$$

$$P_a = V_n / \Omega = 0.6 \times 359 \times 592.74 / 2.22$$

$$P_{aR1} = 57.51 \text{ KN}$$

- b. Çekme kırılması dayanımı denklem 5.47 ile şekil 5.39 deki gibi 1-2 kırılma çizgisini kullanarak hesaplanır;



Şekil 5.39 : Çekme kırılmasında göçme

Kırılma sınır durumu için;

$$T_n = F_u \times A_e$$

Burada  $A_e$  ise denklem 5.48 ve çizelge 5.9 yardımıyla hesaplanır;

$$A_e = U_{s1} U_{st} A_{nt}$$

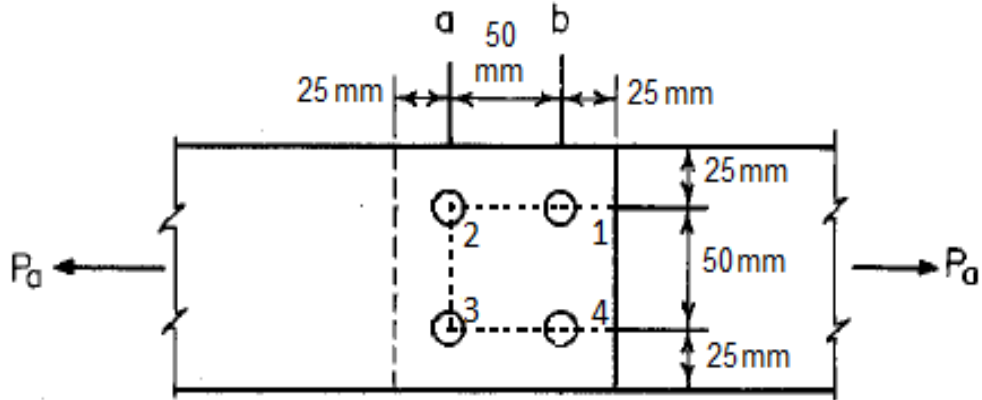
$$A_{nt} = (100.0 - 2 \times 13.0) 2.67 = 197.58 \text{ mm}^2$$

$$A_e = (1)(1)(197.58) = 197.58 \text{ mm}^2$$

$$P_a = T_n / \Omega = 359 \times 197.58 / 2.22 = 31.95 \text{ KN}$$

$$P_{aR2} = 31.95 \text{ KN}$$

- c. Blok kesme kırılması dayanımı denklem 5.50 ve 5.51 ile şekil 5.40 daki 1-2-3-4 kırılma çizgisi kullanılarak hesaplanır;



Şekil 5.40 : Blok kesme kırılmasında göçme

$$A_{gv} = 2 \times (50.0 + 25.0) 2.67 = 400.50 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - 1.5dt$$

$$A_{nv} = 400.50 - 1.5 \times 13.0 \times 2.67 = 348.44 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = [50 - 13.0] \times 2.67 = 98.79 \text{ mm}^2$$

Denklem 5.50 ve 5.51 kullanılarak küçük olan değer tasarım dayanımı olarak alınır.

Bölüm 5.4.3 de anlatıldığı gibi  $U_{st}$  ve  $U_{bs}$  1 alınır.

$$R_n = 0.6(228)(400.50) + (1)(1)(359)(98.79) = 90.25 \text{ KN}$$

$$R_n = 0.6(359)(348.44) + (1)(1)(359)(98.79) = 110.52 \text{ KN}$$

$$P_{aR3} = R_n / \Omega = 90.25 / 2.22 = 40.65 \text{ KN}$$

$$P_{a4} = \begin{pmatrix} P_{R1} \\ P_{R2} \\ P_{R3} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 57.51 \\ 31.95 \\ 40.65 \end{pmatrix}_{\min} = 31.95 \text{ KN}$$

$$P_a = \begin{pmatrix} P_{a1} \\ P_{a2} \\ P_{a3} \\ P_{a4} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 36.45 \\ 55.20 \\ 30.15 \\ 31.95 \end{pmatrix}_{\min} = 30.15 \text{ KN}$$

Görüldüğü gibi ASD yöntemi için işletme yükü 30.15 KN olan en küçük değerdir ki bu da bulonlardaki kesme kuvveti tarafından belirlenir.

### B.LRFD Yöntemine göre tasarım

LRFD yönteminde ASD deki gibi uygunluk kontrolleri aynı şekilde yapıldığından bu kısımda uygunluk kontrolleri yapılmamıştır.

#### 1.Çelik levhaların çekme dayanımı

- a-a kesiti için (A levhası): AISI standartsinin 1996 baskısının C2 bölümüne göre çekme tasarım dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanır;

Akma için;

$$P_{a1} = \phi_t T_n = (0.90) A_g F_y = (0.90) \times 100 \times 2.67 \times 228 = 54.79 \text{ KN}$$

#### 2.Bulonlar ve çelik levhalar arasındaki ezilme dayanımı

Güvenli aktarılacak ezilme dayanımı bulon deliği etrafındaki şekil değiştirme tasarım kriteri olarak alınmadığı için denklem 5.28 i kullanarak hesaplanır: ( $\phi:0.60$ )

$$P_a = \phi P_n = \phi C m_f f_u d t$$

$d/t=4.50$ ,  $C=3.0$  (Çizelge 5.5)  $m_f=1.0$ (Çizelge 5.6)

$$P_a = (0.60)(3)(1)(359)(12)(2.67) = 20.70 \text{ KN / bulon}$$

4 bulon için güvenli ezilme dayanımı;

$$(\phi_t P_{n2}) = 4 \times 20.70 = 82.80 \text{ KN}$$

#### 3.Bulonlardaki kesme dayanımı

M12 (4.6) nın  $F_{ub}=400$  Mpa brüt alanı  $113,09 \text{ mm}^2$  olan 4 bulon için karakteristik dayanımı;

$$(\phi_t P_{n3}) = 4(0.65)(A_b F_{nv}) = 4(0.65)(0.4 F_{ub} A_b) = 4 \times (0.65) \times (0.4 \times 400 \times 113.09) = 47.05 \text{ KN}$$

#### 4. Bulonlardaki kırılma dayanımları

- a. Kesme kırılması dayanımı denklem 5.44 ile şekil 5.38 deki gibi 1-2-3-4-5-6 kırılma çizgisini kullanarak hesaplanır;

$$V_n = 0.6F_u \times A_{nv}$$

$$A_{nv} = 4[50 + 25.00 - 1.5 \times 13.00]2.67 = 592.74 \text{ mm}^2$$

$$\phi_t P_{n4} = \phi_t V_n = 0.65 \times 0.6 \times 359 \times 592.74$$

$$\phi_t P_{n4} = 82.98 \text{ KN}$$

- b. Çekme kırılması dayanımı denklem 5.47 ile şekil 5.39 daki gibi 1-2 kırılma çizgisini kullanarak hesaplanır;

Kırılma sınır durumu için;

$$T_n = F_u \times A_e$$

Burada  $A_e$  ise denklem 5.48 ve çizelge 5.9 yardımıyla hesaplanır;

$$A_e = U_{s1} U_{st} A_{nt}$$

$$A_{nt} = (100.0 - 2 \times 13.0)2.67 = 197.58 \text{ mm}^2$$

$$A_e = (1)(1)(197.58) = 197.58 \text{ mm}^2$$

$$\phi_t P_{n4} = \phi_t T_n = 0.65 \times 359 \times 197.58 = 46.11 \text{ KN}$$

- c. Blok kesme kırılması dayanımı denklem 5.50 ve 5.51 ile şekil 5.41 deki 1-2-3-4 kırılma çizgisi kullanılarak hesaplanır;

$$A_{gv} = 2 \times (50.0 + 25.0)2.67 = 400.50 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - 1.5dt$$

$$A_{nv} = 400.50 - 1.5 \times 13.0 \times 2.67 = 348.44 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = [50 - 13.0] \times 2.67 = 98.79 \text{ mm}^2$$

Denklem 5.50 ve 5.51 kullanılarak küçük olan değer tasarım dayanımı olarak alınır. Bölüm 5.4.3 de anlatıldığı gibi  $U_{st}$  ve  $U_{bs}$  1 alınır.

$$R_n = 0.6(228)(400.50) + (1)(1)(359)(98.79) = 90.25 \text{ KN}$$

$$R_n = 0.6(359)(348.44) + (1)(1)(359)(98.79) = 110.52 \text{ KN}$$

$$\phi_t P_{n4} = \phi_t R_n = 90.25 \times 0.65 = 58.66 \text{ KN}$$

$$\phi_t P_{n4} = \begin{pmatrix} \phi_t V_n \\ \phi_t T_n \\ \phi_t R_n \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 82.98 \\ 46.11 \\ 58.66 \end{pmatrix}_{\min} = 46.11 \text{ KN}$$

$$\phi_t P_t = \begin{pmatrix} \phi_t P_{n1} \\ \phi_t P_{n2} \\ \phi_t P_{n3} \\ \phi_t P_{n4} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 54.79 \\ 82.80 \\ 47.05 \\ 46.11 \end{pmatrix}_{\min} = 46.11 \text{ KN}$$

Görüldüğü gibi LRFD yöntemi için en elverişsiz durum ASD den farklı olarak çekme kırılması tarafından kontrol edilir.

Denklem 4.12 ve 4.13 kullanarak sabit yük/hareketli yük oranı 1/5 için gerekli dayanım hesaplanabilir:

$$P_L = 5P_D$$

$$P_{u1} = 1.4P_D + P_L = 1.4P_D + 5P_D = 6.4P_D$$

$P_D$  = sabit yükten dolayı uygulanan yük

$P_L$  = hareketli yükten dolayı uygulanan yük

$$P_{u2} = 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2P_D + 1.6(5P_D) = 9.2P_D$$

$$P_u = \begin{pmatrix} P_{u1} \\ P_{u2} \end{pmatrix}_{\max} = \begin{pmatrix} 6.4P_D \\ 9.2P_D \end{pmatrix}_{\max} = 9.2P_D \text{ olarak alınır.}$$

$$9.2P_D = 46.11 \text{ KN}$$

$$P_D = 5.01 \text{ KN}$$

$$P_L = 5P_D = 5 \times 5.01 = 25.05 \text{ KN}$$

LRFD yöntemine göre işletme yükü

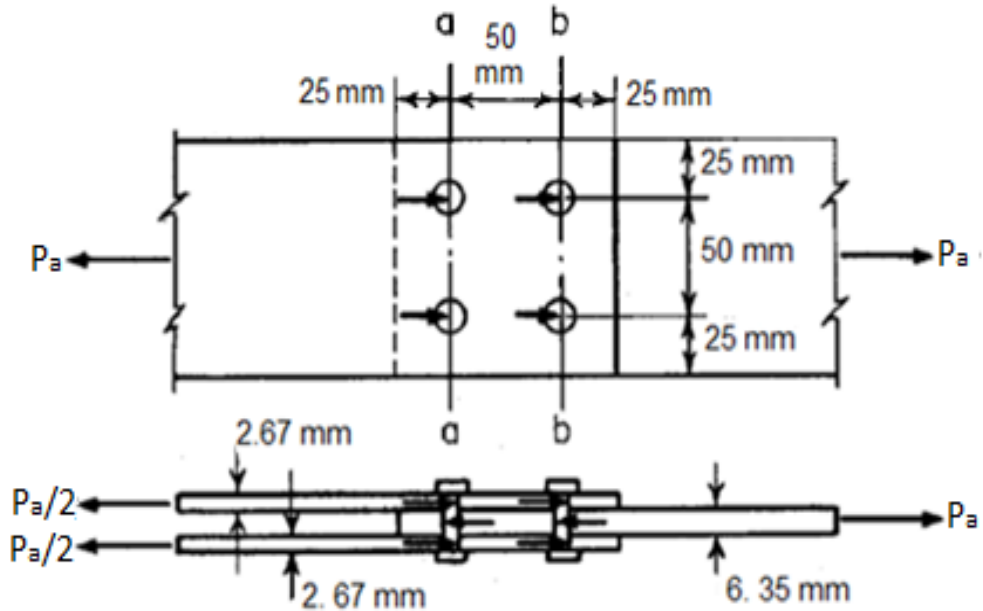
$$P_D + P_L = 5.01 + 25.05 = 30.06 \text{ KN}$$

Nispeten düşük azaltma katsayısı  $\phi$  kullanılmasından dolayı LRFD yöntemine göre tasarım ASD ye göre daha korunumludur.

$$30.06 \text{ (LRFD göre tasarım)} < 30.15 \text{ (ASD göre tasarım)}$$

#### 5.5.4 Bulonlu birleşimlerde uygulama

Şekil 5.41 de gösterilen bulon başı ile somunu altında pul olan ve dışlerin kesme düzleminde olmadığı 4 adet 8.8 sınıfında M12 bulonu bulonu ve A606 Grade 50 çelik levhaları kullanılarak yapılan ezilme tipi birleşimin uygunluk kontrollerini ASD ve LRFD yöntemlerine göre yapınız? Sabit yük/ hareketli yük oranını 1/5 alınız. (Bulon deliği etrafındaki deformasyonu göz önüne almayınız  $F_y=345 \text{ Mpa}$ ,  $F_u:483 \text{ Mpa}$ )



Şekil 5.41 : Çift tesirli bulonlu birleşim

#### A.ASD Yöntemine göre tasarım

##### 1. Kesme, Aralık ve Gerilme Doğrultusundaki Kenar Mesafe:

İçeride ki levhanın kalınlığı dıştaki iki levhaların kalınlığının toplamından kalındır ve bulunun merkezinden levhanın kenarına olan uzaklığı içerdeki ve dışarıdaki levhada aynıdır, bu yüzden tasarım dışarıdaki levhaya göre yapılacaktır.

a. Bulon delikleri merkezleri arasındaki uzaklık

$50 > (3d=3 \times 13=39 \text{ mm})$  Uygunudur.

b. Standart deliğin merkezinden levhanın sonuna olan uzaklığı

$25 > (1.5d = 1.5 \times 13 = 19.50 \text{ mm})$  Uygundur.

## 2.Çelik levhaların çekme dayanımı

Akma için;

$$P_{a1} = T_n / \Omega_t = A_g F_y / 1.67 = 2 \times [100.0 \times 2.67 \times 345 / 1.67] = 110.32 \text{ KN}$$

İç levha kalınlığı iki dış levha kalınlığı toplamından büyük olduğu için iç levhada güvenle aktarabileceği çekme dayanımı kontrolü yapmaya gerek yoktur.

## 3.Bulonlar ve çelik levhalar arasındaki ezilme dayanımı

Güvenli aktarılacak ezilme dayanımı bulon deliği etrafındaki şekil değiştirme tasarım kriteri olarak alınmadığı için denklem 5.28 i kullanarak hesaplanır: ( $\Omega : 2.50$ )

$$P_a = P_n / \Omega = C m_f f_u d t / 2.50$$

$d/t = 4.50$ ,  $C = 3.0$  (Çizelge 5.5)  $m_f = 1.0$  (Çizelge 5.6)

$$P_a = 3(1)(483)(12)(2.67) / 2.50 = 18.57 \text{ KN / bulon}$$

4 bulon için güvenli ezilme dayanımı;

$$P_{a2} = 4 \times P_a = 4 \times 18.57 = 74.28 \text{ KN}$$

## 4.Bulonlardaki kesme dayanımı

M12 (8.8) nın  $F_{ub} = 800 \text{ Mpa}$  brüt alanı  $113,09 \text{ mm}^2$  olan çift tesirli durum için dayanım;

$$P_{a3} = 2 \times [4(A_b F_{nv}) / \Omega] = 8(0.5 F_{ub} A_b) / 2.40$$

$$P_{a3} = 8 \times (0.5 \times 800 \times 113.09) / 2.40 = 150.80 \text{ KN}$$

## 5.Bulonlardaki kırılma dayanımları

a. Kesme kırılması dayanımı denklem 5.44 ile şekil 5.38 deki gibi 1-2-3-4-5-6 kırılma çizgisini kullanarak hesaplanır;

$$V_n = 0.6 F_u \times A_{nv}$$

$$A_{nv} = 4 \times [50 + 25.00 - 1.5 \times 13.00] 2.67 = 592.74 \text{ mm}^2$$

$$P_a = V_n / \Omega = 2 \times [0.6 \times 483 \times 592.74 / 2.22]$$

$$P_{aR1} = 154.75 \text{ KN}$$

- b. Çekme kırılması dayanımı denklem 5.47 ile şekil 5.39 daki gibi 1-2 kırılma çizgisini kullanarak hesaplanır;

Kırılma sınır durumu için;

$$T_n = F_u \times A_e$$

Burada  $A_e$  ise denklem 5.48 ve çizelge 5.9 yardımıyla hesaplanır;

$$A_e = U_{s1} U_{st} A_{nt}$$

$$A_{nt} = (100.0 - 2 \times 13.0) 2.67 = 197.58 \text{ mm}^2$$

$$A_e = (1)(1)(197.58) = 197.58 \text{ mm}^2$$

$$P_{aR2} = T_n / \Omega = 2 \times [483 \times 197.58 / 2.22] = 85.98 \text{ KN}$$

- c. Blok kesme kırılması dayanımı denklem 5.50 ve 5.51 ile şekil 5.40 deki 1-2-3 kırılma çizgisi kullanılarak hesaplanır;

$$A_{gv} = 2 \times (50.0 + 25.0) 2.67 = 400.50 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - 1.5dt$$

$$A_{nv} = 400.50 - 1.5 \times 13.0 \times 2.67 = 348.44 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = [50 - 13.0] \times 2.67 = 98.79 \text{ mm}^2$$

Denklem 5.50 ve 5.51 kullanılarak küçük olan değer tasarım dayanımı olarak alınır. Bölüm 5.4.3 de anlatıldığı gibi  $U_{st}$  ve  $U_{bs}$  bir alınır.

$$R_n = 0.6(345)(400.50) + (1)(1)(483)(98.79) = 130.62 \text{ KN}$$

$$R_n = 0.6(483)(348.44) + (1)(1)(483)(98.79) = 148.69 \text{ KN}$$

$$P_{aR3} = R_n / \Omega = 2 \times 130.62 / 2.22 = 117.68 \text{ KN}$$

$$P_{a4} = \begin{pmatrix} P_{R1} \\ P_{R2} \\ P_{R3} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 154.75 \\ 85.98 \\ 117.68 \end{pmatrix}_{\min} = 85.98 \text{ KN}$$

$$P_a = \begin{pmatrix} P_{a1} \\ P_{a2} \\ P_{a3} \\ P_{a4} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 110.32 \\ 74.28 \\ 150.80 \\ 85.98 \end{pmatrix}_{\min} = 74.28 \text{ KN}$$

### B.LRFD Yöntemine göre tasarım

LRFD yönteminde ASD deki gibi uygunluk kontrolleri aynı şekilde yapıldığından bu kısımda uygunluk kontrolleri yapılmamıştır.

#### 1.Çelik levhaların çekme dayanımı

- a-a kesiti için (A levhası): AISI standartsinin 1996 baskısının C2 bölümüne göre çekme tasarım dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanır;

Akma için;

$$P_{a1} = \phi_t T_n = 2 \times [(0.90) A_g F_y] = 2 \times (0.90) \times 100 \times 2.67 \times 345 = 165.81 \text{ KN}$$

#### 2.Bulonlar ve çelik levhalar arasındaki ezilme dayanımı

Güvenli aktarılacak ezilme dayanımı bulon deliği etrafındaki şekil değiştirme tasarım kriteri olarak alınmadığı için denklem 5.28 i kullanarak hesaplanır: ( $\phi:0.60$ )

$$P_a = \phi P_n = \phi C m_f f_u d t$$

$d/t=4.50$ ,  $C=3.0$  (Çizelge 5.5)  $m_f=1.0$ (Çizelge 5.6)

$$P_a = (0.60)(3)(1)(483)(12)(2.67) = 27.86 \text{ KN / bulon}$$

4 bulon için güvenli ezilme dayanımı;

$$(\phi_t P_{n2}) = 4 \times 27.86 = 111.44 \text{ KN}$$

#### 3.Bulonlardaki kesme dayanımı

M12 (8.8) nın  $F_{ub}=400$  Mpa brüt alanı  $113,09 \text{ mm}^2$  olan 4 bulon için karakteristik dayanımı;

$$(\phi_t P_{n3}) = 2[4(0.65)(A_b F_{ub})] = 2[4(0.65)(0.5 F_{ub} A_b)]$$

$$(\phi_t P_{n3}) = 2[4 \times (0.65) \times (0.5 \times 800 \times 113.09)] = 235.22 \text{ KN}$$

#### 4. Bulonlardaki kırılma dayanımları

- a. Kesme kırılması dayanımı denklem 5.44 ile şekil 5.38 deki gibi 1-2-3-4-5-6 kırılma çizgisini kullanarak hesaplanır;

$$V_n = 0.6F_u \times A_{nv}$$

$$A_{nv} = 4[50 + 25.00 - 1.5 \times 12.00]2.67 = 608.76 \text{ mm}^2$$

$$\phi_t P_{n4} = \phi_t V_n = 2[0.65 \times 0.6 \times 483 \times 608.76]$$

$$\phi_t P_{n4} = 229.34 \text{ KN}$$

- b. Çekme kırılması dayanımı denklem 5.47 ile şekil 5.39 daki gibi 1-2 kırılma çizgisini kullanarak hesaplanır;

Kırılma sınır durumu için;

$$T_n = F_u \times A_e$$

Burada  $A_e$  ise denklem 5.48 ve çizelge 5.9 yardımıyla hesaplanır;

$$A_e = U_{s1} U_{st} A_{nt}$$

$$A_{nt} = (100.0 - 2 \times 13.0)2.67 = 197.58 \text{ mm}^2$$

$$A_e = (1)(1)(197.58) = 197.58 \text{ mm}^2$$

$$\phi_t P_{n4} = \phi_t T_n = 2[0.65 \times 483 \times 197.58] = 124.06 \text{ KN}$$

- c. Blok kesme kırılması dayanımı denklem 5.50 ve 5.51 ile şekil 5.41 deki 1-2-3-4 kırılma çizgisi kullanılarak hesaplanır;

$$A_{gv} = 2 \times (50.0 + 25.0)2.67 = 400.50 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - 1.5dt$$

$$A_{nv} = 400.50 - 1.5 \times 13.0 \times 2.67 = 348.44 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = [50 - 13.0] \times 2.67 = 98.79 \text{ mm}^2$$

Denklem 5.50 ve 5.51 kullanılarak küçük olan değer tasarım dayanımı olarak alınır. Bölüm 5.4.3 de anlatıldığı gibi  $U_{st}$  ve  $U_{bs}$  bir alınır.

$$R_n = 0.6(345)(400.50) + (1)(1)(483)(98.79) = 130.62 \text{ KN}$$

$$R_n = 0.6(483)(348.44) + (1)(1)(483)(98.79) = 148.70 \text{ KN}$$

$$\phi_t P_{n4} = \phi_t R_n = 2[130.62 \times 0.65] = 169.81 \text{ KN}$$

$$\phi_t P_{n4} = \begin{pmatrix} \phi_t V_n \\ \phi_t T_n \\ \phi_t R_n \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 229.34 \\ 124.06 \\ 169.81 \end{pmatrix}_{\min} = 124.06 \text{ KN}$$

$$\phi_t P_t = \begin{pmatrix} \phi_t P_{n1} \\ \phi_t P_{n2} \\ \phi_t P_{n3} \\ \phi_t P_{n4} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 165.81 \\ 111.44 \\ 235.22 \\ 124.06 \end{pmatrix}_{\min} = 111.44 \text{ KN}$$

Görüldüğü gibi LRFD yöntemi için en elverişsiz durum bulonların ezilmesi tarafından kontrol edilir.

Denklem 4.12 ve 4.13 kullanarak sabit yük/hareketli yük oranı 1/5 için gerekli dayanım hesaplanabilir:

$$P_L = 5P_D$$

$$P_{u1} = 1.4P_D + P_L = 1.4P_D + 5P_D = 6.4P_D$$

$P_D$  = sabit yükten dolayı uygulanan yük

$P_L$  = hareketli yükten dolayı uygulanan yük

$$P_{u2} = 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2P_D + 1.6(5P_D) = 9.2P_D$$

$$P_u = \begin{pmatrix} P_{u1} \\ P_{u2} \end{pmatrix}_{\max} = \begin{pmatrix} 6.4P_D \\ 9.2P_D \end{pmatrix}_{\max} = 9.2P_D \text{ olarak alınır.}$$

$$9.2P_D = 111.44 \text{ KN}$$

$$P_D = 12.11 \text{ KN}$$

$$P_L = 5P_D = 5 \times 12.11 = 60.55 \text{ KN}$$

LRFD yöntemine göre işletme yükü;

$$P_D + P_L = 12.11 + 60.55 = 72.66 \text{ KN}$$

## 6. AVRUPA STANDARTINA GÖRE TASARIM

Birleşimlerin tasarım kuralları ve koşulları için EN 1993-1-8 e bakılmalıdır. Standartta formüller ana kalınlık  $t_{cor} \leq 4\text{mm}$  için geçerlidir ve EN 1993-1-8 e uymamaktadır.

### 6.1 Mekanik Bağlama Elemanlı Birleşimler

Mekanik bağlama elemanlarının tasarımı ve kuralları EN 1993-1-3 deki bölüm 8.3 e göre aşağıdaki gibi yapılır [7];

1-) Mekanik bağlama elemanlı birleşimlerin şekli düzgün olmalıdır. Montaj ve bakım için yeteri alan sağlamak üzere bağlamaların pozisyonları buna göre düzenlenmelidir.

2-) Birleşimdeki mekanik bağlama elemanlarının kesme kuvvetlerinin eşit olduğu kabul edilir. Bu sayede;

- Bağlama elemanlarının yeteri kadar sünekliği sağlanır
- Kesme kritik göçme modu olmaz.

3-) Ağırlıklı olarak statik yüklere maruz kalan birleşim elemanlarının dayanımları aşağıdaki bölümlere göre hesaplama yapılır.

- Ham perçinler için bölüm 6.1.1
- Kendiliğinden yerleşen vidalar için bölüm 6.1.2
- Pimler için bölüm 6.1.3
- Bulonlar için bölüm 6.1.4

Not: Deneyle mekanik bağlama elemanlarının tasarım dayanımlarını hesaplamak için standartın 9(4) bölümüne bakınız.

4-) Bölüm 5.1.1 - 5.1.4 deki sembollerin anlamları aşağıda verilmiştir:

A: Bir birleşim elemanının brüt kesit alanı

$A_s$ : Bir birleşim elemanının çekme gerilme alanı

$A_{net}$ : Birleştirilen parçanın net en kesit alanı

$B_{lf}$ : EN 1993 1-8'e göre uzun birleşimlerin azaltma katsayısı

$d$ : Birleşim elemanının itibari çapı

$d_o$ : Deliğin itibari çapı

$d_w$ : Birleşim elemanının baş kısmının ya da pulunun çapı

$e_1$ : Şekil 6.1 de gösterildiği gibi aktarılan yükün doğrultusunda; birleşim elemanının merkezinden birleştirilen parçanın sonuna olan uzaklığı

$e_2$ : Şekil 6.1 de gösterildiği gibi aktarılan yüke dik doğrultuda; birleşim elemanının merkezinden birleştirilen parçanın kenarına olan uzaklığı

$f_{ub}$ : Bağlama elemanın çekmedeki kopma dayanımı

$f_{u,sup}$ : Vidayla sabitlenmiş taşıyıcı elemanın çekmedeki kopma dayanımı

$n$ : Aynı vida ya da pimle sabitlenmiş taşıyıcı elemanın levha sayısı

$n_f$ : Bir birleşimdeki birleşim eleman sayısı

$p_1$ : Şekil 6.1 deki gibi aktarılan yükün doğrultusundaki birleşim elemanları arası mesafe

$p_2$ : Şekil 6.1 deki gibi aktarılan yüke dik doğrultudaki birleşim elemanları arası mesafe

$t$ : Birleştirilen ince parçaların ya da levhaların kalınlığı

$t_1$ : Birleştirilen kalın parçaların ya da levhaların kalınlığı

$t_{sup}$ : Pim veya vidayla sabitlenmiş taşıyıcı elemanların kalınlığı

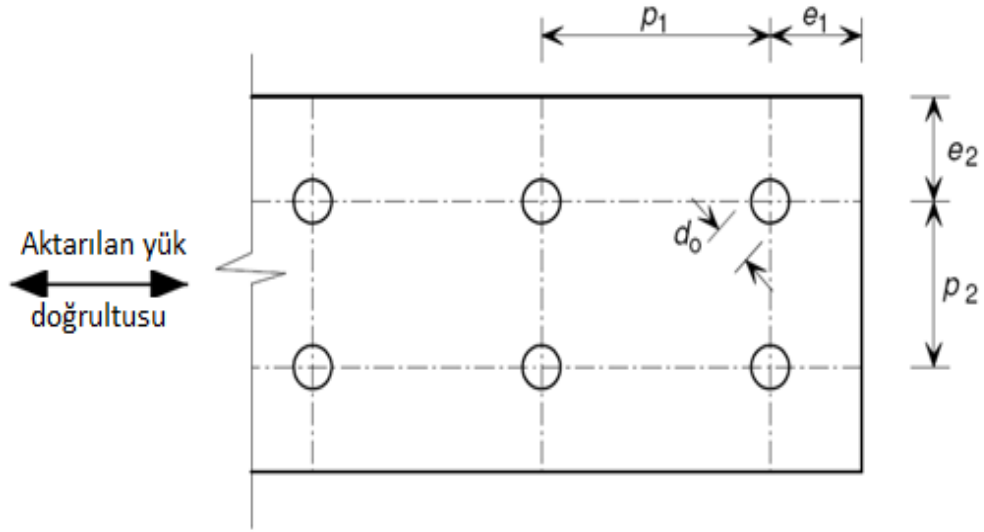
5-) Mekanik bağlama elemanlarının tasarımında kullanılacak olan azaltma katsayısı

$\gamma_{m2} = 1.25$  alınması tavsiye edilir.

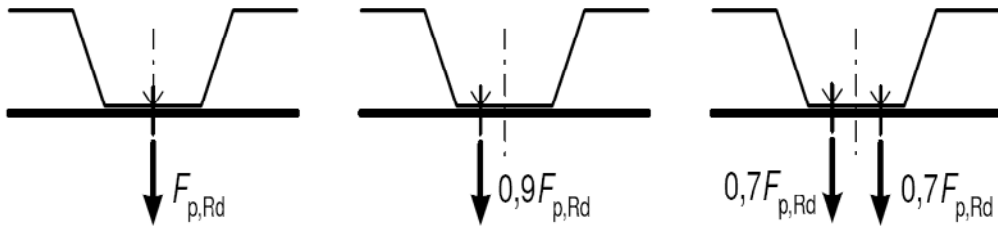
6-) Eğer bir birleşim elemanında dışa çekme (pull-out) dayanımı  $F_{o,rd}$  üstüne çekme dayanımı (pull through) olan  $F_{p,rd}$  den küçükse deformasyon kapasitesi test sonuçlarına göre hesaplanır.(limit state)

7-) Eğer birleşim elemanları levha boyunca merkezlerinden birleştirilmemişse üstüne çekme (pull through) dayanımı azaltılmalıdır. Eğer ek çeyrek noktada ise tasarım

dayanımı  $0,9 F_{p,Rd}$  her iki çeyrek noktadan ise  $0,7 F_{p,Rd}$  olarak her birleşim elemanında azaltılmalıdır.(Şekil 6.2)



**Şekil 6.1** : Birleşim elemanları ve nokta kaynaklar için aralık mesafeleri [7]



**Şekil 6.2** : Birleşim elemanın durumuna göre boyunca çekme dayanımının (pull through) azaltılması[7]

8-) Hesaplanan  $F_{t,Rd}$  ve  $F_{v,Rd}$  değerlerine göre kesme ve çekme kuvvetinin birlikte etkilediği durumda birleşim elemanının kesme ve çekme kuvvetlerine göre dayanımı aşağıdaki ifadeyi sağlaması gerekmektedir.

$$\frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{p,Rd}, F_{o,Rd})} + \frac{F_{v,Ed}}{\min(F_{b,Rd}, F_{n,Rd})} \leq 1.00 \quad (6.1)$$

9-) Brüt kesitteki stabilite bozuklukları flans boyunca birleşimlerin genişliklerinin 150 mm az olmasından dolayı ihmal edilmiştir.

10-) Vidaların delik çapları üretici firmanın vermiş olduğu değerlere göre alınmalıdır. Bu değerler aşağıdaki kriterlere göre yapılmalıdır.

- Uygulanan tork sadece vida dişine uygulanan torkdan yüksek olmalıdır.

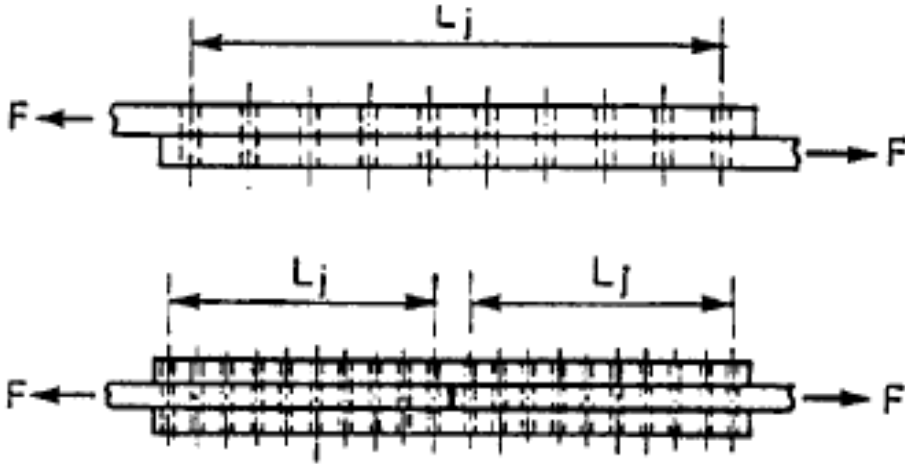
- Uygulanan tork vidaya uygulanan sıyrıлма torkundan ya da vida başına uygulanan kesme torkundan az olmalıdır.

11-) Uzun birleşimlerdeki azaltma faktörü  $\beta_{lf}$  EN 1993-1-8,3.8 den alınmalıdır. Şekil 6.3'teki gibi uygulanan kuvvete paralel yöndeki birleşimin en uçtaki birleşim elemanları arasındaki uzaklık  $L_j > 15d$  ise tasarım kesme dayanımı  $F_{v,rd}$  denklem 6.2 de verilen bir  $\beta_{lf}$  indirgenme katsayısı ile çarpılarak indirgenir.

$$\beta_{lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \quad (6.2)$$

$0.75 \leq \beta_{lf} \leq 1.00$  olmalıdır.

$\beta_{lf}$  ;birleşimin uzunluğu boyunca yük aktarımı düzgün dağılmışsa örneğin gövde ve flanş arasındaki kesme kuvveti aktarımı gibi durumlarda uygulanmaz



Şekil 6.3 : Uzun birleşimler [14]

12-) Ham perçinle ilgili tasarım kuralları delik çapının ham perçin çapından 0.1 mm den büyük olmadığı durumlarda geçerlidir.

13-) M12 ve M14 bulonları ile birlikte delik çapının bulon çapından 2 mm büyük olması durumunda EN 1993-1-8 göre tasarım yapılmalıdır.

### 6.1.1 Ham perçinlerin tasarım dayanımları

Hesaplarda en ince levhanın ham perçin başının yanında olduğu kabul edilmiştir.

Ham perçinlerin tasarımı EN-1993-1-3 e göre aşağıdaki gibi yapılır [7].

### 6.1.1.1 Kesme yüklü perçinler

Ezilme dayanımı:

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u dt / \gamma_{M2} \quad (6.3)$$

Ancak  $F_{b,Rd} \leq f_u e_1 t / (1.2 \gamma_{M2})$  olmalıdır.

Burada  $\alpha$  aşağıdaki gibi bulunur:

- Eğer  $t=t_1$  ise:  $\alpha = 3.6\sqrt{t/d}$  ancak  $\alpha \leq 2.1$  olmalıdır.
- Eğer  $t_1 \geq 2.5 t$  ise:  $\alpha = 2.1$
- Eğer  $t < t_1 < 2.5 t$  ise:  $\alpha$  lineer interpolasyonla bulunur.

Net-kesit dayanımı:

$$F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad (6.4)$$

Kesme dayanımı:

Kesme dayanımı  $F_{v,Rd}$  test yapılarak bulunur.  $F_{v,Rd}$  test yapılarak bulunur.

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rk} / \gamma_{M2} \quad (6.5)$$

Koşul: Buradaki koşul birleşimin deformasyon kapasitesi gerekli olduğunda yerine getirilmelidir. Bu koşul yerine getirilmediğinde gerekli olan deformasyon kapasitesi yapının diğer kısımları tarafından sağlanır.

$$F_{v,Rd} \geq 1.2 F_{b,Rd} / n_f \beta_{Lf} \text{ ya da } F_{v,Rd} \geq 1.2 F_{n,Rd}$$

### 6.1.1.2 Çekme yüklü perçinler

Ham perçinler çekme durumunda genellikle kullanılmazlar.

Boyunca çekme (Pull-through) dayanımı: Üstüne çekme dayanımı  $F_{p,Rd}$  test yapılarak hesaplanır.

Dışa çekme (Pull-out) dayanımı: Perçinler için yoktur.

Çekme dayanımı: Çekme dayanımı  $F_{t,Rd}$  test yapılarak hesaplanır.

$$\text{Koşul: } F_{t,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$$

### 6.1.1.3 Aralık kontrolü

Dayanım test sonuçlarına göre hesaplanırsa ham perçinlerde aşağıdaki aralıkların ötesinde aralıkta kullanılabilir.

$$e_1 \geq 1.5d \quad p_1 \geq 3d \quad 2,6 \text{ mm} \leq d \leq 6,4 \text{ mm}$$

$$e_2 \geq 1.5d \quad p_2 \geq 3d$$

$$f_u \leq 550 \text{ N/mm}^2$$

### 6.1.2 Kendiliğinden yerleşen (Self-Tapping) vidaların tasarım dayanımları

Hesaplarda en ince levhanın vida başının yanında olduğu kabul edilmiştir [7].

#### 6.1.2.1 Kesme yüklü vidalar

Ezilme dayanımı:

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u dt / \gamma_{M2} \quad (6.6)$$

Burada  $\alpha$  aşağıdaki gibi bulunur:

- Eğer  $t=t_1$  ise:  $\alpha = 3.2\sqrt{t/d}$  ancak  $\alpha \leq 2.1$  olmalıdır.
- Eğer  $t_1 \geq 2.5 t$  ve  $t < 1.0 \text{ mm}$  ise:  $\alpha = 3.2\sqrt{t/d}$  ancak  $\alpha \leq 2.1$
- Eğer  $t_1 \geq 2.5 t$  ve  $t \geq 1.0 \text{ mm}$  ise:  $\alpha = 2.1$
- Eğer  $t < t_1 < 2.5t$  ise:  $\alpha$  lineer interpolasyonla bulunur.

Net-kesit dayanımı:

$$F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad (6.7)$$

Kesme dayanımı:

Kesme dayanımı  $F_{v,Rd}$  test yapılarak bulunur.

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rk} / \gamma_{M2} \quad (6.8)$$

Koşul: Buradaki koşul birleşimin deformasyon kapasitesi gerekli olduğunda yerine getirilmelidir. Bu koşul yerine getirilmediğinde gerekli olan deformasyon kapasitesi yapının diğer kısımları tarafından sağlanır.

$$F_{v,Rd} \geq 1.2F_{n,Rd} \text{ ya da } \sum F_{v,Rd} \geq 1.2F_{n,Rd}$$

### 6.1.2.2 Çekme yüklü vidalar

Üstüne çekme (Pull-through) dayanımı:

- Statik yükler için;

$$F_{p,Rd} = d_w t f_u / \gamma_{M2} \quad (6.9)$$

- Rüzgar yükleri ile statik yüklerin birleşimiyle rüzgar yüklerinin etkisine maruz kalan vidalar için;

$$F_{p,Rd} = 0.5 d_w t f_u / \gamma_{M2} \quad (6.10)$$

Dışa Çekme (Pull-out) dayanımı:

Eğer  $t_{sup}/s < 1$  ise:

$$F_{o,Rd} = 0.45 d t_{sup} f_{u,sup} / \gamma_{M2} \quad (6.11)$$

Eğer  $t_{sup}/s \geq 1$  ise:

$$F_{o,Rd} = 0.65 d t_{sup} f_{u,sup} / \gamma_{M2} \quad (6.12)$$

s: Diş Adımı

Koşul: Buradaki koşul birleşimin deformasyon kapasitesi gerekli olduğunda yerine getirilmelidir. Bu koşul yerine getirilmediğinde gerekli olan deformasyon kapasitesi yapının diğer kısımları tarafından sağlanır.

$$F_{t,Rd} \geq \sum F_{p,Rd} \text{ ya da } F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$$

### 6.1.2.3 Aralık kontrolü

Dayanım test sonuçlarına göre hesaplanırsa vidalar aşağıdaki aralıkların ötesinde aralıkta kullanılabilir [7].

Genel:

$$e_1 \geq 3d \quad p_1 \geq 3d \quad 3,0 \text{ mm} \leq d \leq 8,0 \text{ mm}$$

$$e_2 \geq 1,5d \quad p_2 \geq 3d \quad f_u \leq 550 \text{ N/mm}^2$$

### Çekme İçin:

0,5 mm ≤ t ≤ 1,5 mm ve t<sub>1</sub> ≥ 0,9 mm

$$f_u \leq 550 \text{ N/mm}^2$$

## 6.1.3 Pimlerin tasarım dayanımları

### 6.1.3.1 Kesme yüklü pimler

#### Ezilme dayanımı:

$$F_{b,Rd} = 3.2 f_u dt / \gamma_{M2} \quad (6.13)$$

#### Net-kesit dayanımı:

$$F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad (6.14)$$

#### Kesme dayanımı:

Kesme dayanımı  $F_{v,Rd}$  test yapılarak bulunur.

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rk} / \gamma_{M2} \quad (6.15)$$

Koşul: Buradaki koşul birleşimin deformasyon kapasitesi gerekli olduğunda yerine getirilmelidir. Bu koşul yerine getirilmediğinde gerekli olan deformasyon kapasitesi yapının diğer kısımları tarafından sağlanır.

$$F_{v,Rd} \geq 1.5 \sum F_{b,Rd} \text{ ya da } \sum F_{v,Rd} \geq 1.5 F_{n,Rd}$$

### 6.1.3.2 Çekme yüklü pimler

#### Üstüne Çekme (Pull-through) dayanımı:

- Statik yükler için;

$$F_{p,Rd} = d_w t f_u / \gamma_{M2} \quad (6.16)$$

- Rüzgar yükleri ile statik yüklerin birleşimiyle rüzgar yüklerinin etkisine maruz kalan pimler için;

$$F_{p,Rd} = 0.5 d_w t f_u / \gamma_{M2} \quad (6.17)$$

Dışa çekme (pull-out) dayanımı: Dışa çekme (pull-out) dayanımı  $F_{o,Rd}$  test yapılarak hesaplanır.

Çekme dayanımı: Çekme dayanımı  $F_{t,Rd}$  test yapılarak hesaplanır.

Koşul: Buradaki koşul birleşimin deformasyon kapasitesi gerekli olduğunda yerine getirilmelidir. Bu koşul yerine getirilmediğinde gerekli olan deformasyon kapasitesi yapının diğer kısımları tarafından sağlanır.

$$F_{o,Rd} \geq \sum F_{p,Rd} \text{ ya da } F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$$

### 6.1.3.3 Aralık kontrolü

Dayanım test sonuçlarına göre hesaplanırsa pimler aşağıdaki aralıkların ötesinde aralıkta kullanılabilir.

Genel:

$$\begin{aligned} e_1 &\geq 4,5d & 3,7 \text{ mm} \leq d \leq 6,0 \text{ mm} \\ e_2 &\geq 4,5d & d=3,7 \text{ mm için; } t_{\text{sup}} \geq 4,0 \text{ mm} \\ p_1 &\geq 4,5d & d=4,5 \text{ mm için; } t_{\text{sup}} \geq 6,0 \text{ mm} \\ p_2 &\geq 4,5d & d=5,2 \text{ mm için; } t_{\text{sup}} \geq 8,0 \text{ mm} \\ f_u &\leq 550 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Çekme İçin:

$$0,5 \text{ mm} \leq t \leq 1,5 \text{ mm} \quad t_{\text{sup}} \geq 6,0 \text{ mm}$$

### 6.1.4 Bulonların tasarım dayanımları

Bulonlu birleşimlerin bulon sınıflarına göre akma dayanımları,  $f_{yb}$  ve çekmede kopma dayanımlar  $f_{ub}$  Şekil 6.4 de verilmiştir.

Bulon sınıfı	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	400	500	500	600	800	1000

Şekil 6.4 : Bulonların akma ve çekme dayanımları [14]

### 6.1.4.1 Kesme yüklü bulonlar

#### Ezilme dayanımı:

3 mm büyük veya eşit kalınlıklarda bulonlar için EN 1993-1-8 e göre kurallar geçerlidir.

$$F_{b,Rd} = 2,5\alpha_b k_t f_u d t / \gamma_{M2} \quad (6.18)$$

$\alpha_b = 1,0$  veya  $e_1/3d$  den küçük olanıdır.

$0,75 \text{ mm} \leq t \leq 1,25 \text{ mm}$  ise;  $k_t = (0,8t + 1,5)/2,5$

$t \geq 1,25 \text{ mm}$  için  $k_t = 1,0$

#### Net-kesit dayanımı:

$$F_{n,Rd} = (1 + 3r(d_o / u - 0.3))A_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad (6.19)$$

Ancak  $F_{n,Rd} \leq A_{net} f_u / \gamma_{M2}$  olmalıdır.

Burada;

$r = [\text{en kesitteki bulon sayısı}] / [\text{birleşimdeki toplam bulon sayısı}]$

$u = 2e_2$  ancak  $u \leq p_2$

#### Kesme dayanımı:

4.6, 5.6 ve 8.8 malzeme sınıfları için;

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{ub} A_s / \gamma_{M2} \quad (6.20)$$

4.8, 5.8 , 6.8 ve 10.9 malzeme sınıfları için;

$$F_{v,Rd} = 0,5 f_{ub} A_s / \gamma_{M2} \quad (6.21)$$

Koşul: Buradaki koşul birleşimin deformasyon kapasitesi gerekli olduğunda yerine getirilmelidir. Bu koşul yerine getirilmediğinde gerekli olan deformasyon kapasitesi yapının diğer kısımları tarafından sağlanır.

$$F_{v,Rd} \geq 1.2 \sum F_{b,Rd} \text{ ya da } \sum F_{v,Rd} \geq 1.2 F_{n,Rd}$$

#### 6.1.4.2 Çekme yüklü bulonlar

Üstüne çekme (Pull-through) dayanımı: Üstüne çekme dayanımı  $F_{p,Rd}$  test yapılarak hesaplanır.

Dışa çekme (Pull-out) dayanımı: Bulonlar için yoktur.

Çekme dayanımı:

$$F_{t,Rd} = 0,9 f_{ub} A_s / \gamma_{M2} \quad (6.22)$$

Koşul: Buradaki koşul birleşimin deformasyon kapasitesi gerekli olduğunda yerine getirilmelidir. Bu koşul yerine getirilmediğinde gerekli olan deformasyon kapasitesi yapının diğer kısımları tarafından sağlanır.

$$F_{t,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$$

#### 6.1.4.3 Aralık kontrolü

Dayanım test sonuçlarına göre hesaplanırsa pimler aşağıdaki aralıkların ötesinde aralıkta kullanılabilir.

Minimum bulon Çapı: M6

Malzeme sınıfı 4.6-10.9

$$e_1 \geq 1,0d_o$$

$$p_1 \geq 3d_o$$

$$3,0 \text{ mm} \leq t \leq 0,75 \text{ mm}$$

$$e_2 \geq 1,5d_o$$

$$p_2 \geq 3d_o$$

$$f_u \leq 550 \text{ N/mm}^2$$

#### 6.2 Spot Kaynaklar

Spot kaynakların tasarımı ve kuralları EN-1993-1-3 e göre aşağıdaki gibi yapılır;

1-) Birleştirilen en ince levha 3.00 mm geçmeyecek şekilde spot kaynağı haddelenmiş ya da galvanize edilmiş 4.00 mm kalınlığında eş metallere uygulanabilir.

2-) Spot kaynağı direnç kaynağı ya da fusion kaynak olabilir.

3-) Kesme yüklü spot kaynaklarındaki tasarım dayanımı  $F_{v,Rd}$  aşağıdaki gibi hesaplanır.

4-) Denklemlerde kullanılan semboller aşağıda verilmiştir:

$A_{net}$ : Birleştirilen kısmın net en kesit alanı

$n_w$ : bir birleşimdeki spot kaynaklarının sayısı

$t$ : birleştirilen en ince kısmın ya da levhanın kalınlığı

$t_1$ : birleştirilen en kalın kısmın ya da levhanın kalınlığı

Uç ve kenar uzaklıkları  $e_1$  ve  $e_2$  ile  $p_1$  ve  $p_2$  mesafeleri Şekil 6.1 de tanımlanmıştır.

5-) Spot kaynakların dayanımlarını hesaplamak için kullanılan  $\gamma_M$  katsayısı  $\gamma_{M2}$  olarak alınır.  $\gamma_{M2} = 1.25$

## 6.2.1 Spot kaynakların tasarım dayanımları

### 6.2.1.1 Kesme yüklü spot kaynaklar

Yırtılma ve Ezilme dayanımı:

$t \leq t_1 \leq 2,5t$  ise;

$$F_{tb,Rd} = 2,7\sqrt{t} d_s f_u / \gamma_{M2} \quad (6.23)$$

$t_1 > 2,5 t$  ise;

$$F_{tb,Rd} = 2,7\sqrt{t} d_s f_u / \gamma_{M2} \quad (6.24)$$

Ancak  $F_{tb,Rd} \leq 0,7d_s^2 f_u / \gamma_{M2}$  ve  $F_{tb,Rd} \leq 3,1td_s f_u / \gamma_{M2}$  olmalıdır.

Uç dayanımı: (End Resistance)

$$F_{e,Rd} = 1,4te_1 f_u / \gamma_{M2} \quad (6.25)$$

Net-kesit dayanımı:

$$F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad (6.26)$$

Kesme dayanımı:

$$F_{v,Rd} = \frac{\pi}{4} d_s^2 f_u / \gamma_{M2} \quad (6.27)$$

Koşul: Buradaki koşul birleşimin deformasyon kapasitesi gerekli olduğunda yerine getirilmelidir. Bu koşul yerine getirilmediğinde gerekli olan deformasyon kapasitesi yapının diğer kısımları tarafından sağlanır.

$$F_{v,Rd} \geq 1.25 F_{tb,Rd} \text{ ya da } F_{v,Rd} \geq 1.25 F_{e,Rd} \text{ ya da } \sum F_{v,Rd} \geq 1.25 F_{n,Rd}$$

### 6.2.1.2 Aralık kontrolü

$$2d_s \leq e_1 \leq 6d_s \quad 3d_s \leq p_1 \leq 8d_s$$

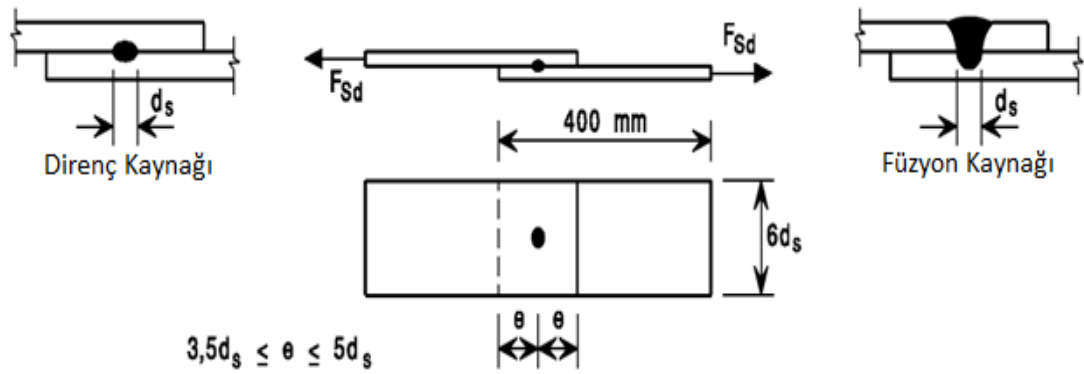
$$e_2 \leq 4d_s \quad 3d_s \leq p_2 \leq 6d_s$$

6-) Bir spot kaynağın arayüz çapı  $d_s$  aşağıdaki gibi hesaplanır;

Fusion kaynak için;  $d_s = 0,5 t + 5 \text{ mm}$

Direnç kaynağı için;  $d_s = 5\sqrt{t}$  (t mm)

7-)  $d_s$  değeri aslında Şekil 6.5 teki gibi tek tesirli numune kullanılarak standarttaki bölüm 9 a göre kesme testi yapılarak doğrulanmalıdır. Numunedeki t kalınlığı uygulamada kullanılan değerle aynı olmalıdır.



Şekil 6.5 : Spot kaynağın kesme deneyindeki deney numunesi [7]

### 6.3 Bindirme (Ek) Kaynaklar

1-) Ark bindirme kaynakların birleştirilen levhanın 4,00 mm ya da daha az kalınlıkta olduğunda kullanılmalıdır. Daha kalın levhalar için bindirmeli kaynakların tasarımı EN 1993-1-8 e göre yapılmalıdır.

2-) Kaynak boyu kaynağın yerine birleştirilen kısmın ya da levhanın kalınlığının birleşimin dayanımını yönetecek şekilde seçilmelidir.

3-) 2 deki durum boyun büyüklüğünün en az birleştirilen kısmın ya da levhanın kalınlığına eşit olması durumunu gerektirmektedir.

4-) Bindirmeli kaynakların dayanımlarını hesaplamak için kullanılan  $\gamma_M$  katsayısı  $\gamma_{M2}$  olarak alınır.  $\gamma_{M2} : 1,25$  alınması tavsiye edilir.

### 6.3.1 Köşe kaynaklar

1-) Köşe kaynaklı birleşimin tasarım dayanımları  $F_{w,Rd}$  aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

Yan kenarların bir çiftinin bir tanesi için;

Eğer  $L_{w,s} \leq b$  ise;

$$F_{w,Rd} = tL_{w,s} (0.9 - 0.45L_{w,s} / b) f_u / \gamma_{M2} \quad (6.28)$$

Eğer  $L_{w,s} > b$  ise;

$$F_{w,Rd} = 0.45tb f_u / \gamma_{M2} \quad (6.29)$$

Uç bir köşe için;

Eğer  $L_{w,s} \leq b$  ise;

$$F_{w,Rd} = tL_{w,e} (1.0 - 0.3L_{w,e} / b) f_u / \gamma_{M2} \quad (6.30)$$

Burada;

b: görüldüğü gibi birleştirilen kısmın ya da levhanın genişliği

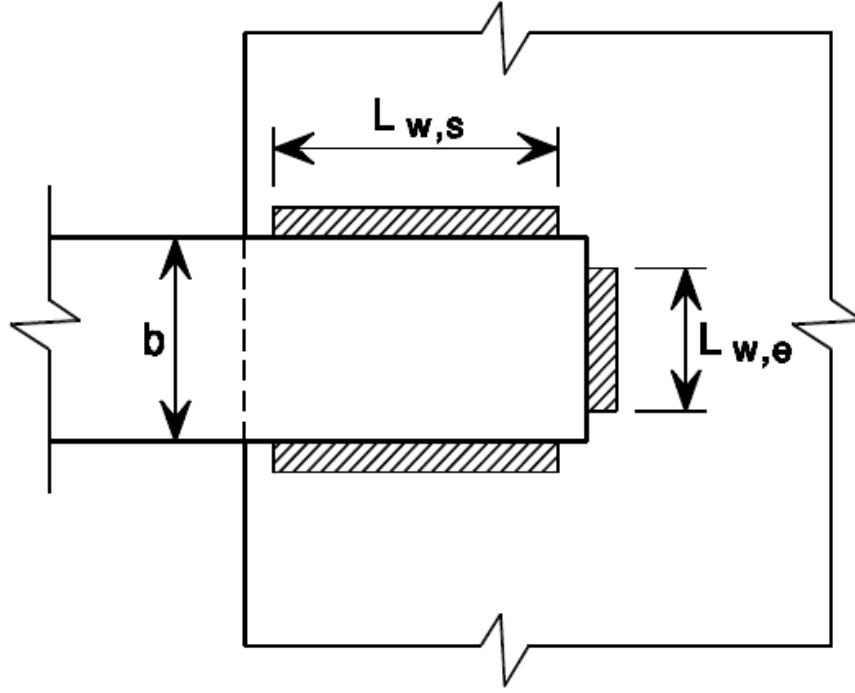
$L_{w,e}$ : Şekil 6.5 da görüldüğü gibi uç köşe kaynağın etkili uzunluğu

$L_{w,s}$ : Şekil 6.6 da görüldüğü gibi bir kenar kaynağın etkili uzunluğu

2-) Uç köşe kaynak ile kenar köşe kaynağın aynı birleşimde birlikte olması durumunda toplam tasarım dayanımı uç kenarın ve köşe kenarın dayanımları toplamına eşit olarak alınmalıdır. Kuvvetlerin tekrar dağılımının gerçekçi kabulü ve ağırlık merkezlenin pozisyonu hesaplarda dikkate alınmalıdır.

3-)  $L_w$  etkili uzunluk tüm köşe kaynak boyunca dönüşlerde boşluk bırakılmaksızın alınmalıdır.

4-) Köşe kaynakların etkili boyu birleştirilen levhaların en incesinden 8 katından daha küçükse herhangi bir yük aktarımında tasarım olarak kullanılmazlar.



Şekil 6.6 : Köşe kaynaklı bindirmeli birleşim [7]

### 6.3.2 Ark nokta kaynakları

- 1-) Ark nokta kaynakları kesmeden başka bir yük aktarmamaktadır..
- 2-) Ark nokta kaynakları birleştirilen kısımların ya da levhaların toplam kalınlığı  $\sum t$  4 mm den kalın olamaz.
- 3-) Ark nokta kaynaklarının ara yüz çapları  $d_s$  10 mm az kalın olamaz.
- 4-) Birleştirilen kısım ya da levha 0,7 mm kalınlıktan az ise şekil 6.7 deki kaynak pulu kullanılmalıdır.
- 5-) Ark nokta kaynakları aşağıdaki gibi uç ve kenar mesafelere uygun olmalıdır;
  - (i) Aktarılan yük doğrultusuna paralel ark nokta kaynağın merkezinden birleştirilen sonuna ya da komşu kaynağın yakın kenarına olan minimum uzaklık  $e_{\min}$  aşağıda verilen değerlerden az olamaz;

$$f_u / f_y < 1,15 \text{ ise;}$$

$$e_{\min} = 1,8 \frac{F_{w,Sd}}{t f_u / \gamma_{M2}} \quad (6.31)$$

$$f_u / f_y \geq 1,15 \text{ ise;}$$

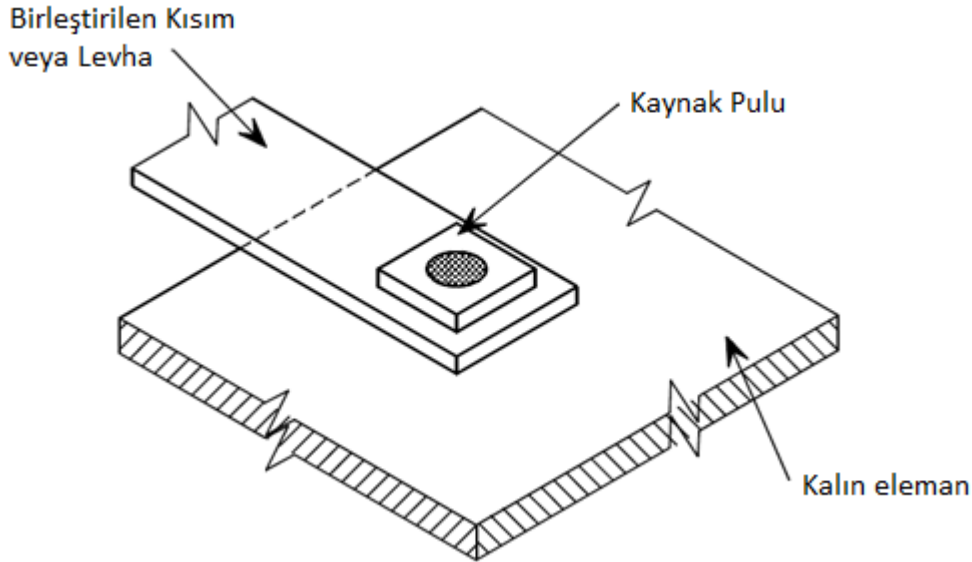
$$e_{\min} = 2,1 \frac{F_{w,Sd}}{t f_u / \gamma_{M2}} \quad (6.32)$$

(ii) Dairesel ark nokta kaynağın merkezinden birleştirilen levhanın kenarına ya da ucuna olan minimum uzaklık  $1,5 d_w$  den az olmamalıdır burada  $d_w$  ark nokta kaynağın görünür çapıdır.

(iii) Uzatılmış ark nokta kaynak ile levhanın ucu arasındaki ve kaynak ile levhanın kenarı arasındaki minimum net uzaklık  $1,0 d_w$  den az olmamalıdır.

6-) Dairesel ark nokta kaynağının kesme tasarım dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$F_{w,Rd} = (\pi / 4) d_s^2 \times 0,625 f_{uw} / \gamma_{M2} \quad (6.33)$$



Şekil 6.7 : Kaynak pullu ark nokta kaynağı [7]

Burada;

$f_{uw}$ : Elektrod kaynağın çekme kopma dayanımı

Ancak  $F_{w,Rd}$  aşağıda verilen dayanımlardan büyük alınamaz.

Eğer  $d_p / \sum t \leq 18(420/f_u)^{0.5}$  ise;

$$F_{w,Rd} = 1,5 d_p \sum t f_u / \gamma_{M2} \quad (6.34)$$

Eğer  $18(420/f_u)^{0.5} < d_p / \sum t < 30(420/f_u)^{0.5}$  ise;

$$F_{w,Rd} = 27(420/f_u)^{0.5} (\sum t)^2 f_u / \gamma_{M2} \quad (6.35)$$

Eğer  $d_p / \sum t \geq 30(420/f_u)^{0.5}$  ise;

$$F_{w,Rd} = 0,9d_p \sum t f_u / \gamma_{M2} \quad (6.36)$$

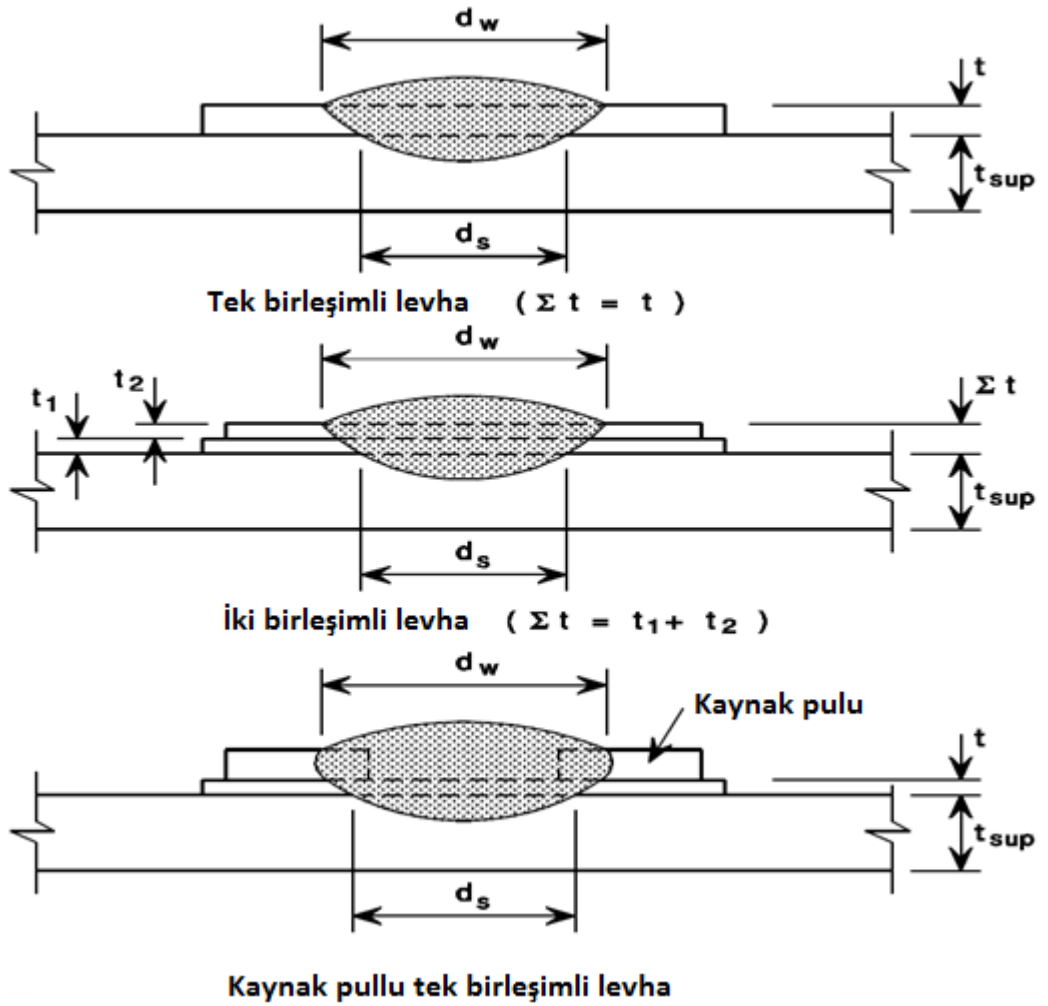
Birlikte  $d_p$  8. maddeye göre hesaplanmalıdır.

7-) Şekil 6.8 de gösterildiği gibi bir ark nokta kaynağın ara yüz çapı  $d_s$  aşağıdaki gibi bulunur;

$$d_s = 0,7d_w - 1,5\sum t \text{ ancak } d_s \geq 0,55d_w$$

Burada;

$d_w$ : Şekil 6.8 de gösterildiği gibi ark nokta kaynağı görünür çapıdır.



Şekil 6.8 : Ark nokta kaynakları [7]

8-) Bir ark nokta kaynağın etkili çevresel çapı  $d_p$  aşağıdaki gibi bulunur;

- $t$  kalınlığında tek bir levhanın ya da kısmın birleşmesi durumunda:

$$d_p = d_w - t \quad (6.37)$$

- $\sum t$  kalınlığında birçok levhanın ya da kısmın birleşmesi durumunda:

$$d_p = d_w - 2\sum t \quad (6.38)$$

9-) Ark oval nokta kaynağın kesme dayanımı aşağıdaki formülle hesaplanır;

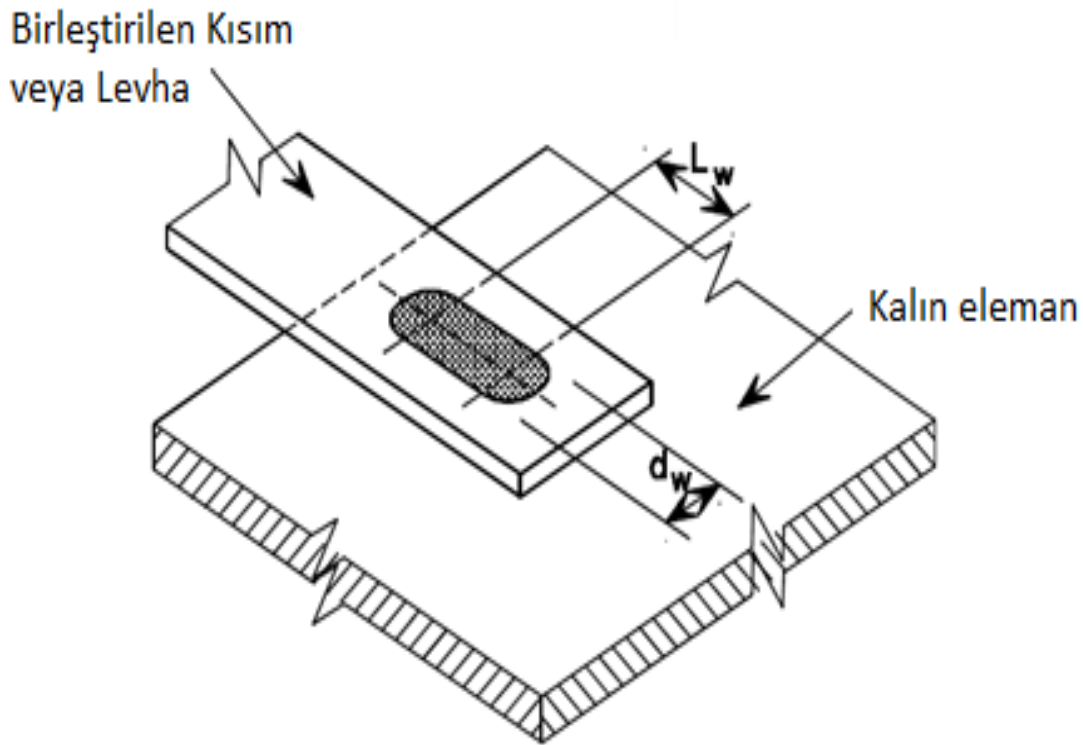
$$F_{w,Rd} = \left[ (\pi/4)d_s^2 + L_w d_s \right] \times 0,625 f_{uw} / \gamma_{M2} \quad (6.39)$$

Ancak  $F_{w,Rd}$  aşağıdaki değerlerden büyük alınmamalıdır;

$$F_{w,Rd} = (0,5L_w + 1,67d_p) \sum t f_u / \gamma_{M2} \quad (6.40)$$

Burada;

$L_w$ : Şekil 6.9 gösterildiği gibi uzatılmış ark nokta kaynağın boyudur.

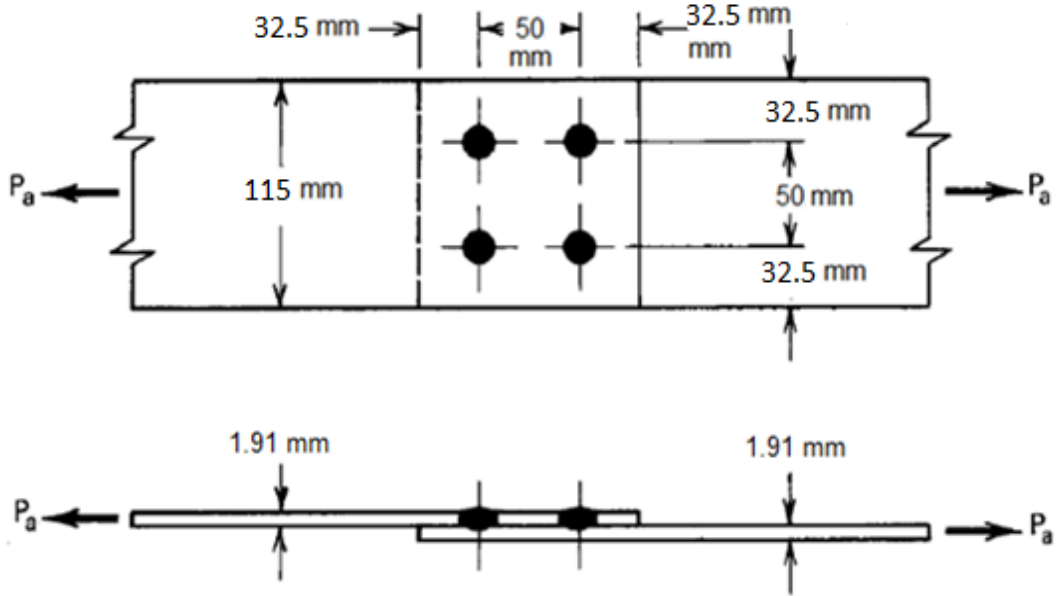


Şekil 6.9 : Uzatılmış ark oval nokta kaynağı [7]

## 6.4 Avrupa Standartına Göre Uygulama

### 6.4.1 Ark nokta kaynaklı birleşimlerde uygulama

Şekil 6.10'daki iki levhanın birleştiren ark nokta kaynağın çekme yükünü EC-3 e göre bulunuz? Levhalarda A 1011 Grade 45 çeliği kullanılmıştır ( $f_y= 310$  Mpa,  $f_u=414$  Mpa). Ark nokta kaynağının görünür çapı  $d= 19.05$  mm , $E=203000$  Mpa



Şekil 6.10 : Ark nokta kaynaklı birleşim

Avrupa standartına göre hesap adımları:

- $t=1.91 < 4.00$  mm Ark nokta kaynağı uygulanabilir.

- Görünür çap  $d_w= 19.05$  mm ve Şekil 6.7'den

$$d_p=d_w-t = 19.05-1.91=17.14 \text{ mm}$$

$$d_s=0.7d_w-1.5t = 0.7(19.05) -1.5(1.91) =10.47 \text{ mm} , d_s \geq 0.55 d_w$$

$$d_s=10.47 \geq 0.55(19.05)= 10.47 \geq 10.47 \text{ Uygundur.}$$

Ayrıca izin verilen minimum etkili çap ( $d_s$ ) 10.00 mm den büyük olmalıdır.

$$10.47 > 10.00 \text{ mm (Uygundur)}$$

- Herhangi bir kaynağın merkezinden plakanın sonuna olan mesafe;

$$32.50 \geq 1.5d_w(1.5 \times 19.05), 32.50 \geq 28.58 \text{ Uygundur.}$$

- Kaynağın Güvenle Taşıyabileceği Kesme Kuvveti

a. Kaynakların Kesme Kapasitesi

Denklem 6.33'ü ve E60 tipi elektrotları kullanarak

$$F_{w,Rd1} = 4 \left( \frac{\pi d_s^2}{4} \right) (0.625 f_{uw}) / \gamma_{M2} = \pi \times 10.47^2 \times (0.625 \times 414) / 1.25 = 71.28 \text{ KN}$$

b. Kaynak etrafında birleştirilen levhaların dayanımlarına bağlı olarak kesme dayanımı denklem 6.34 ü kullanarak hesaplanır;

$$\frac{d_p}{t} = \frac{17.14}{1.91} = 8.97 \leq 18 (420 / f_u)^{0.5}$$

$$\frac{d_p}{t} = \frac{17.14}{1.91} = 8.97 \leq 18.13 \text{ denklem 6.34 ü kullanarak}$$

$$F_{w,Rd} = 1.5 d_p \sum t f_u / \gamma_{M2}$$

$$F_{w,Rd2} = 4 \times 1.5 (17.14) (1.91) (414) / 1.25 = 65.06 \text{ KN}$$

$$F_{w,Rd} = \left( \begin{array}{c} F_{w,Rd1} \\ F_{w,Rd2} \end{array} \right)_{\min} = \left( \begin{array}{c} 71.28 \\ 65.06 \end{array} \right)_{\min} = 65.06 \text{ KN}$$

- Çekme elemanında en kesit kontrolü

$$N_{sd} \leq N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0} \quad N_{pl,Rd} = 115 \times 1.91 \times 310 / 1.10 = 61.90 \text{ KN}$$

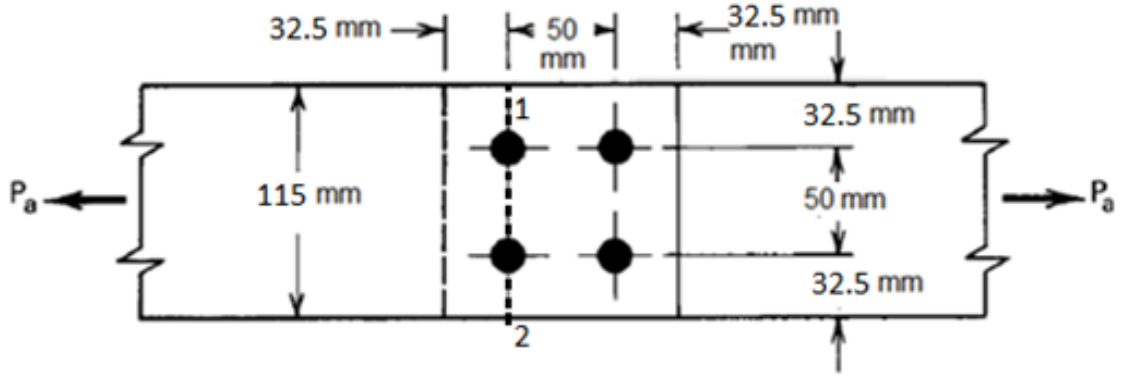
Kaynağın güvenle taşıyabileceği kırılma dayanımları:

- Bitiş mesafesine olan uzaklıktaki Çekme yükü ( $e_{\min}=32.50\text{mm}$ )

$$\frac{f_u}{f_y} = \frac{414}{310} = 1.33 > 1.15 \text{ Denklem 6.32 yi kullanarak}$$

$$F_{w,Sd} = 4 F_{w,Sd} = 4 \frac{e_{\min} \times f_u \times t}{2.1 \times \gamma_{M2}} = 4 \times 32.50 \times 414 \times \frac{1.91}{2.1 \times 1.25} = 39.16 \text{ KN}$$

- Çekme kırılması dayanımı; şekil 6.11 deki gibi 1-2 kırılma çizgisini izleyerek dayanım hesaplanır.



Şekil 6.11 : Çekme kırılmasında göçme

$$N_{sd} \leq N_{u,Rd} = 0.9A_{net}f_u / \gamma_{M2}$$

$$A_{net} = 115.0 \times 1.91 = 219.65 \text{ mm}$$

$$N_{u,Rd} = 0.9 \times 219.65 \times 414 / 1.25 = 65.47 \text{ KN}$$

- Blok kayma kırılması dayanımı; şekil 6.12 deki gibi 1-2-3-4 kırılma çizgisini izleyerek dayanım hesaplanır.

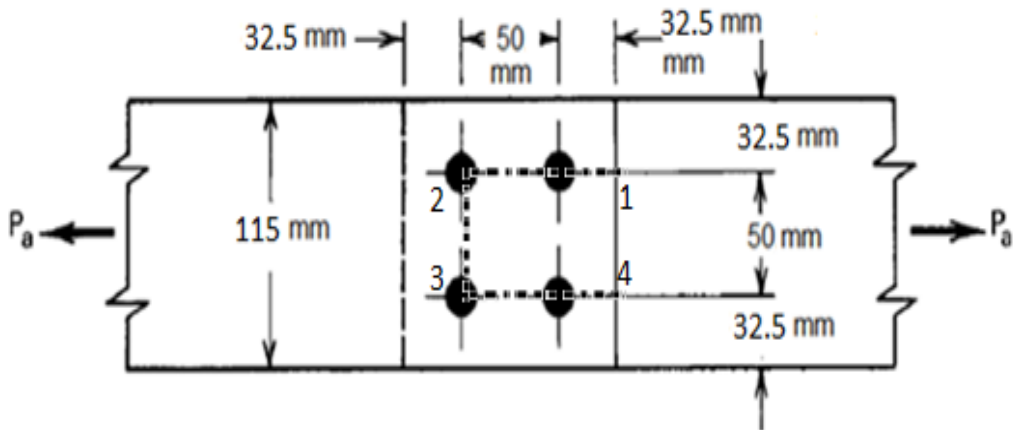
$$A_{nv} = 2 \times (50.0 + 32.50) \times 1.91 = 315.15 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = 50 \times 1.91 = 95.50 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \times f_y \times A_{nv} / \gamma_{M0}$$

$$V_{eff,1,Rd} = 414 \times 95.50 / 1.25 + (1/\sqrt{3}) \times 310 \times 315.15 / 1.10$$

$$V_{eff,1,Rd} = 82.91 \text{ KN}$$



Şekil 6.12 : Blok kayma kırılmasında göçme

$$P_{a4} = \begin{pmatrix} F_{w,sd} \\ N_{u,Rd} \\ V_{eff,l,Rd} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 39.16 \\ 65.47 \\ 82.91 \end{pmatrix}_{\min} = 39.16 \text{ KN}$$

$$P_a = \begin{pmatrix} P_{a1} \\ P_{a2} \\ P_{a3} \\ P_{a4} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 71.28 \\ 65.06 \\ 61.90 \\ 39.16 \end{pmatrix}_{\min} = 39.16 \text{ KN}$$

$$P_L = 5P_D$$

$$P_u = 1.35P_D + 1.5P_L = 1.35P_D + 1.5(5P_D) = 8.85P_D$$

$$8.85P_D = 39.16 \text{ KN} \quad P_D = 4.42 \text{ KN}$$

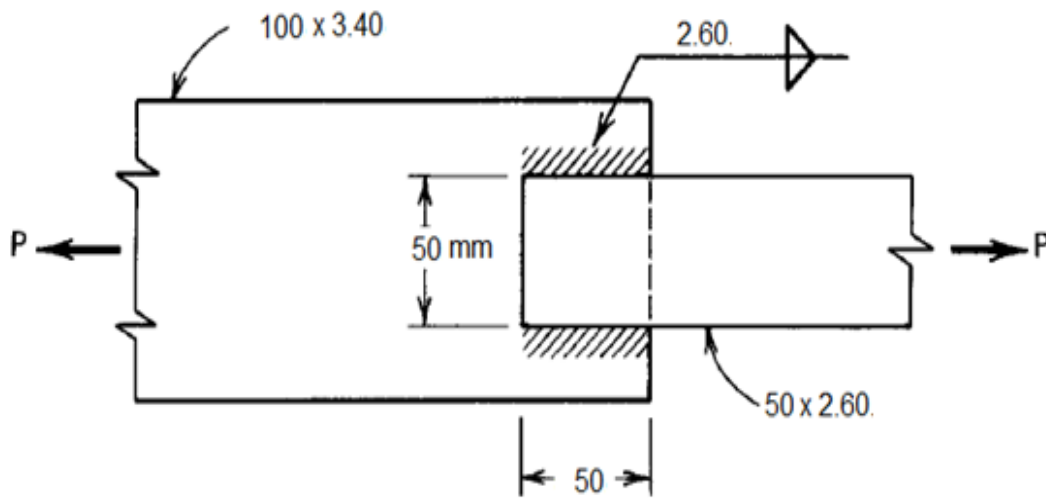
$$P_L = 5P_D = 5 \times 4.42 = 22.10 \text{ KN}$$

$$P_D + P_L = 4.42 + 22.10 = 26.52 \text{ KN}$$

İşletme yükü 26.52 KN olup kesme kırılması tarafından belirlenmektedir.

#### 6.4.2 Köşe kaynaklı birleşimlerde uygulama

Şekil 6.13 deki köşe kaynaklı birleşimin güvenle aktarabileceği yükü hesaplayınız? A 570 Grade 33 çelik levha E60 tipi elektrot kullanıldığını kabul ediniz. ( $f_y = 228$  Mpa,  $f_u = 359$  Mpa)



Şekil 6.13 : Köşe kaynaklı birleşim

Çekme elemanında en kesit kontrolü;

Akma sınır durumunda:

$$N_{sd} \leq N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$$

$$N_{pl,Rd} = 50 \times 2.60 \times 228 / 1.10 = 26.95 \text{ KN}$$

Kırılma sınır durumunda:

$$N_{sd} \leq N_{u,Rd} = 0.9 A_{net} f_u / \gamma_{M2}$$

$$N_{u,Rd} = 50 \times 2.60 \times 359 / 1.25 = 37.33 \text{ KN}$$

$L_w=50.0 > 8t$ ,  $L_w=50.0 > 20.80$  olduğu için köşe kaynak kesme yükü aktarabilir. Şekil 6.5 deki gibi  $L_{w,s}=50.0$  ve  $b=50.0$  olduğu görülmektedir.  $L_{w,s} \leq b$  olduğundan dolayı köşe kaynakların kesme dayanımı denklem 6.28 i kullanarak hesaplanır;

$$F_{w,Rd} = t L_{w,s} (0.9 - 0.45 L_{w,s} / b) f_u / \gamma_{M2}$$

$$F_{w,Rd} = 2.60 (50.0) (0.9 - 0.45 (50.0) / 50.0) 359 / 1.25 = 16.80 \text{ KN}$$

2 tane boylamasına köşe kaynak kullandığından

$$F_{w,Rd} = 2 \times 16.80 = 33.60 \text{ KN}$$

EC-3 e göre işletme yükü;

$$P_a = \begin{pmatrix} N_{pl,Rd} \\ N_{u,Rd} \\ F_{w,Rd} \end{pmatrix}_{\min} = \begin{pmatrix} 26.95 \\ 37.33 \\ 33.60 \end{pmatrix}_{\min} = 26.95 \text{ KN}$$

$$P_L = 5P_D$$

$$P_u = 1.35P_D + 1.5P_L = 1.35P_D + 1.5(5P_D) = 8.85P_D$$

$$8.85P_D = 26.95 \text{ KN} \quad P_D = 3.05 \text{ KN}$$

$$P_L = 5P_D = 5 \times 3.05 = 15.25 \text{ KN}$$

$$P_D + P_L = 3.05 + 15.25 = 18.30 \text{ KN}$$

### 6.4.3 Bulonlu birleşimlerde uygulama

Şekil 6.14 de gösterilen birleşim bulon başı ve somunu altında pul olan 4 adet 4.6 sınıfında M12 bulonu ile A 570 grade 33 çelik levhaları birleştirilmiştir. Birleşimin



### 3. Bulonlar ve çelik levhalar arasındaki ezilme dayanımı

$3.00 \geq (t = 2.67 \text{ mm}) \geq 0.75 \text{ mm}$  olduğuna göre ezilme dayanımı denklem 6.18 e göre hesaplanır;

$$F_{b,Rd} = 2,5\alpha_b k_t f_u d t / \gamma_{M2}$$

$\alpha_b = 1,0$  veya  $e_1/3d$  den küçük olanıdır.

$t = 2.76 \text{ mm} \geq 1,25 \text{ mm}$  için  $k_t = 1,0$  alınır.

$$\alpha_b = \left( \frac{1.0}{e_1 / 3d} \right)_{\min} = \left( \frac{1.0}{25.0 / 3(12)} \right) = 0.70$$

$$F_{b,Rd} = 2,5(0.70)(1.0)(359)(12)(2.67) / 1.25 = 16.10 \text{ KN / bulon}$$

4 bulon için güvenli ezilme dayanımı;

$$F_{b,Rd} = 4 \times 16.10 = 64.40 \text{ KN}$$

### 4. Bulonlardaki kesme dayanımı

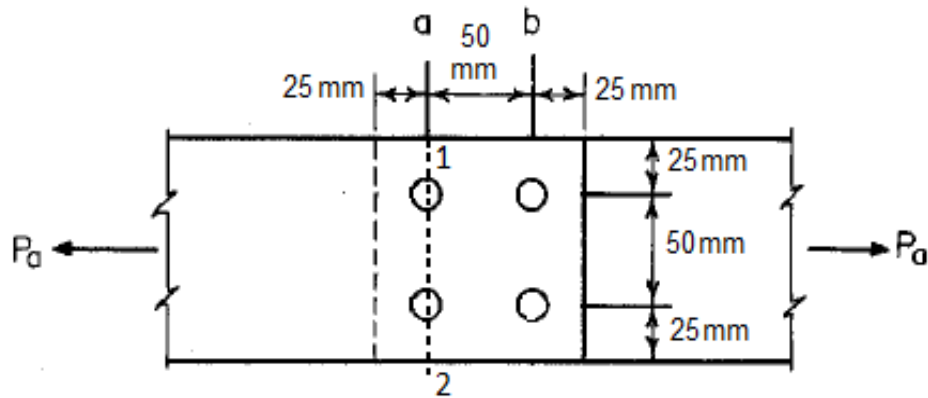
Şekil 6.4' den 4.6 sınıfındaki bulon için  $f_{ub} = 400 \text{ MPa}$ ,  $f_{yb} = 240 \text{ MPa}$  alınır. Ayrıca M12 için  $A_s = 84.3 \text{ mm}^2$  bu ifadeleri denklem 6.20 de yerine yazarsak;

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{ub} A_s / \gamma_{M2}$$

$$F_{v,Rd} = 4 \times 0,6(400)(84.3) / 1.25 = 64.75 \text{ KN}$$

### 5. Bulonlarda kırılma dayanımları:

Bulonlardaki net-kesit dayanımı: Net-kesit dayanımı denklem 6.19 ile şekil 6.15 deki kırılma çizgisine göre hesaplanır;



Şekil 6.15 : Bulonlarda net kesit kırılma göçmesi

$u=2e_2(50.0)$ ,  $u \leq p_2(50.0 \leq 50.0)$  Uygunudur.

$$r = \frac{2P_2/4}{P_2} = \frac{1}{2}$$

$$A_{net} = [100 - 2(13.00)] \times 2.67 = 197.58 \text{ mm}^2$$

$$F_{n,Rd} = (1 + 3r(d_o/u - 0.3))A_{net}f_u / \gamma_{M2}$$

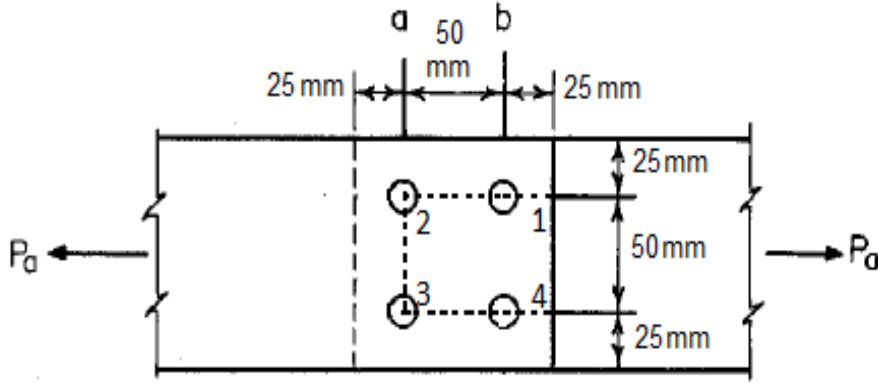
$$F_{n,Rd1} = [1 + 3 \times 0.5(13/50.0 - 0.3)](197.58)(359) / 1.25 = 53.35 \text{ KN}$$

Ancak  $F_{n,Rd} \leq A_{net}f_u / \gamma_{M2}$  olmalıdır.

$$F_{n,Rd2} = 197.58 \times 359 / 1.25 = 56.75 \text{ KN}$$

$$F_{n,Rd} = \left( \begin{matrix} F_{n,Rd1} \\ F_{n,Rd2} \end{matrix} \right)_{\min} = \left( \begin{matrix} 53.35 \\ 56.75 \end{matrix} \right) = 53.35 \text{ KN}$$

Bulonlarda blok kayma dayanımı: Blok kayma dayanımı şekil 6.16 daki 1-2-3-4 kırılma çizgisine göre hesaplanır.



**Şekil 6.16 :** Blok kayma kırılmasında geçme

$$A_{gv} = 2 \times (50.0 + 25.00) 2.67 = 400.5 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - 1.5dt = 400.5 - 1.5 \times 13 = 381 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = [50.0 - 13.0] \times 2.67 = 98.79 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \times f_y \times A_{nv} / \gamma_{M0}$$

$$V_{eff,1,Rd} = 359 \times 98.79 / 1.25 + (1/\sqrt{3}) \times 228 \times 381 / 1.10$$

$$V_{eff,1,Rd} = 73.97 \text{ KN}$$

$$P_{a4} = \left( \frac{F_{n,Rd}}{V_{eff,1,Rd}} \right)_{\min} = \left( \frac{53.35}{73.97} \right) = 53.35 \text{ KN}$$

$$P_a = \left( \frac{P_{a1}}{P_{a2}}{P_{a3}}{P_{a4}} \right)_{\min} = \left( \frac{55.34}{64.40}{64.75}{53.35} \right)_{\min} = 53.35 \text{ KN}$$

EC-3 göre işletme yükü;

$$P_L = 5P_D$$

$$P_u = 1.35P_D + 1.5P_L = 1.35P_D + 1.5(5P_D) = 8.85P_D$$

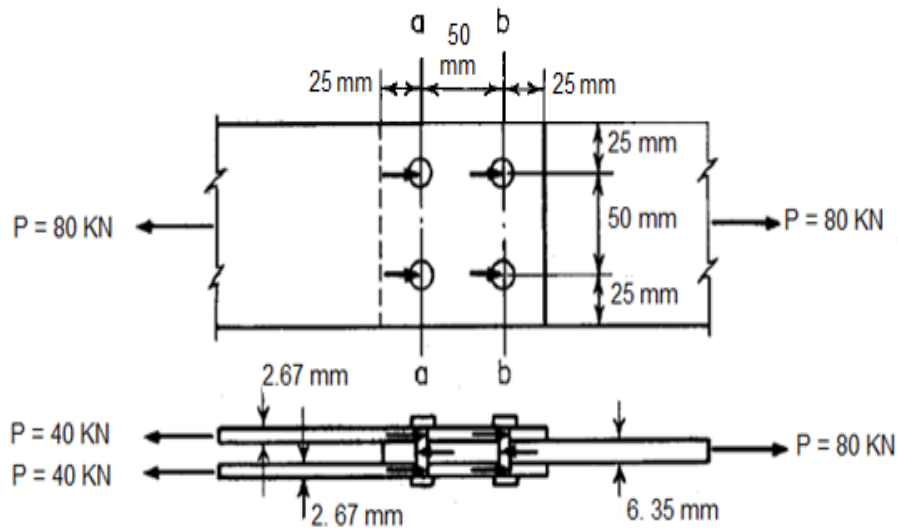
$$8.85P_D = 53.35 \text{ KN} \quad P_D = 6.02 \text{ KN}$$

$$P_L = 5P_D = 5 \times 6.02 = 30.10 \text{ KN}$$

$$P_D + P_L = 6.02 + 30.10 = 36.12 \text{ KN}$$

#### 6.4.4 Bulonlu birleşimlerde uygulama

Şekil 6.13 de gösterilen bulon başı ile somunu altında pul olan ve dişlerin kesme düzleminde olmadığı 4 adet 8.8 sınıfında M12 bulonu ve A606 Grade 50 çelik levhaları kullanılarak yapılan ezilme tipi birleşimin EC-3 yöntemine aktabileceği yükü hesaplayınız? (Bulon deliği etrafındaki deformasyonu göz önüne almayınız  $f_y=345 \text{ Mpa}$ ,  $f_u:483 \text{ Mpa}$ )



Şekil 6.17 : Çift tesirli bulonlu uygulama

### 1. Kesme, Aralık ve Gerilme Doğrultusundaki Kenar Mesafe:

a. Standart bulon delikleri merkezleri arasındaki uzaklık,  $p_1 \geq 3 d_o$

$$50.0 \geq (3d_o = 3 \times 13.0 = 39.0 \text{ mm}) \text{ Uygundur.}$$

b. Standart deliğin merkezinden levhanın sonuna olan uzaklık,  $e_2 \geq 1.5 d_o$

$$25.0 \geq (1.5d_o = 1.5 \times 13.0 = 19.5 \text{ mm}) \text{ Uygundur}$$

c. Kuvvete dik doğrultudaki iki komşu deliğin kenarları arasındaki uzaklık,  $p_2 \geq 3 d_o$

$$50.0 \geq (3d_o = 3 \times 13.0 = 39.0 \text{ mm}) \text{ Uygundur}$$

d. Kuvvete dik doğrultudaki standart deliğin merkezinden levhanın sonuna olan uzaklık,  $e_1 \geq 1.0 d_o$

e.  $25.0 \geq (d_o = 13.0 \text{ mm}) \text{ Uygundur}$

f.  $f_u \leq 550 \text{ N/mm}^2$  ( $483 \text{ N/mm}^2 \leq 550 \text{ N/mm}^2$ ) Uygundur

### 2.Çekme elemanında en kesit kontrolü

$$N_{sd} \leq N_{pl,Rd} = Af_y / \gamma_{M0}$$

$$N_{pl,Rd} = 2[100 \times 2.67 \times 345 / 1.10] = 167.48 \text{ KN}$$

### 3.Bulonlar ve çelik levhalar arasındaki ezilme dayanımı

$3.00 \geq (t = 2.67 \text{ mm}) \geq 0.75 \text{ mm}$  olduğuna göre ezilme dayanımı denklem 6.18 e göre hesaplanır;

$$F_{b,Rd} = 2,5\alpha_b k_t f_u dt / \gamma_{M2}$$

$\alpha_b = 1,0$  veya  $e_1/3d$  den küçük olanıdır.

$t = 2.76 \text{ mm} \geq 1,25 \text{ mm}$  için  $k_t = 1,0$  alınır.

$$\alpha_b = \left( \frac{1.0}{e_1 / 3d} \right)_{\min} = \left( \frac{1.0}{25.0 / 3(12)} \right) = 0.70$$

$$F_{b,Rd} = 2,5(0.70)(1.0)(483)(12)(2.67) / 1.25 = 21.67 \text{ KN / bulon}$$

4 bulon için güvenli ezilme dayanımı;

$$F_{b,Rd} = 4 \times 21.67 = 86.68 \text{ KN}$$

#### 4. Bulonlardaki kesme dayanımı

Şekil 6.4' den 8.8 sınıfındaki bulon için  $f_{ub}=800$  MPa,  $f_{yb}=640$  MPa alınır. Ayrıca M12 için  $A_s=84.3$  mm<sup>2</sup> bu ifadeleri denklem 6.20 de yerine yazarsak;

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{ub} A_s / \gamma_{M2}$$

$$F_{v,Rd} = 2[4 \times 0,6(800)(84.3)/1.25] = 258.97 \text{ KN}$$

#### 5. Bulonlarda kırılma dayanımları:

Bulonlardaki net-kesit dayanımı: Net-kesit dayanımı denklem 6.19 ile şekil 6.15 deki kırılma çizgisine göre hesaplanır;

$u=2e_2(50.0)$ ,  $u \leq p_2$  ( $50.0 \leq 50.0$ ) Uygundur.

$$r = \frac{2P_2/4}{P_2} = \frac{1}{2}$$

$$A_{net} = [100 - 2(13.00)] \times 2.67 = 197.58 \text{ mm}^2$$

$$F_{n,Rd} = (1 + 3r(d_o / u - 0.3)) A_{net} f_u / \gamma_{M2}$$

$$F_{n,Rd1} = 2 \times [1 + 3 \times 0.5(13/50.0 - 0.3)] (197.58)(483) / 1.25 = 143.53 \text{ KN}$$

Ancak  $F_{n,Rd} \leq A_{net} f_u / \gamma_{M2}$  olmalıdır.

$$F_{n,Rd2} = 2[197.58 \times 483 / 1.25] = 152.69 \text{ KN}$$

$$F_{n,Rd} = \left( \begin{array}{c} F_{n,Rd1} \\ F_{n,Rd2} \end{array} \right)_{\min} = \left( \begin{array}{c} 143.53 \\ 152.69 \end{array} \right) = 143.53 \text{ KN}$$

Bulonlarda blok kayma dayanımı: Blok kayma dayanımı şekil 6.16 daki 1-2-3-4 kırılma çizgisine göre hesaplanır.

$$A_{gv} = 2 \times (50.0 + 25.00) 2.67 = 400.5 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - 1.5dt = 400.5 - 1.5 \times 13 = 381 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = [50.0 - 13.0] \times 2.67 = 98.79 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \times f_y \times A_{nv} / \gamma_{M0}$$

$$V_{eff,1,Rd} = 2[483 \times 98.79 / 1.25 + (1/\sqrt{3}) \times 345 \times 381 / 1.10]$$

$$V_{eff,1,Rd} = 214.33 \text{ KN}$$

$$P_{a4} = \left( \begin{array}{c} F_{n,Rd} \\ V_{eff,1,Rd} \end{array} \right)_{\min} = \left( \begin{array}{c} 143.53 \\ 214.33 \end{array} \right) = 143.53 \text{ KN}$$

$$P_a = \left( \begin{array}{c} P_{a1} \\ P_{a2} \\ P_{a3} \\ P_{a4} \end{array} \right)_{\min} = \left( \begin{array}{c} 167.48 \\ 86.68 \\ 258.97 \\ 143.53 \end{array} \right)_{\min} = 86.68 \text{ KN}$$

EC-3 göre işletme yükü;

$$P_L = 5P_D$$

$$P_u = 1.35P_D + 1.5P_L = 1.35P_D + 1.5(5P_D) = 8.85P_D$$

$$8.85P_D = 86.68 \text{ KN}$$

$$P_D = 9.79 \text{ KN}, P_L = 5P_D = 5 \times 9.79 = 48.95 \text{ KN}$$

$$P_D + P_L = 9.79 + 48.95 = 58.74 \text{ KN}$$

## 7. SONUÇLAR

Ark nokta kaynaklarında yapılan sayısal uygulama sonucunda; ASD yöntemine göre işletme yükü 36.37 KN olup çekme kırılması tarafından kontrol edilmektedir. LRFD yönteminde de işletme yükü 35.58 KN olup çekme kırılması tarafından kontrol edilmektedir. EC-3 de ise işletme yükü 26.52 KN olup kesme kırılması tarafından kontrol edilmektedir. Ayrıca EC-3 ve LRFD yöntemlerine göre dayanımlar çizelge 7.1 de gösterilmektedir.

**Çizelge 7.1 : Ark nokta kaynağında karşılaştırma**

Ark Nokta Kaynağı						
	Kaynak		Levhaların Akma Dayanımı	Kesme Kırılma Dayanımı	Çekme Kırılma Dayanımı	Blok kesme Kırılma Dayanımı
	Kaynağın Kesme Kapasitesi	Etrafında Birleştirilen Levhaların Dayanımı				
LRFD	64.16 KN	83.49 KN	61.28 KN	61.40 KN	54.56 KN	95.50 KN
EC-3	71.28 KN	65.06 KN	61.90 KN	39.16 KN	65.47 KN	82.91 KN

Köşe kaynaklı birleşimde yapılan sayısal uygulama sonucunda; ASD yöntemine göre işletme yükü 17.75 KN olup levhaların akması tarafından kontrol edilmektedir. LRFD yönteminde de işletme yükü 17.40 KN olup levhaların akması tarafından kontrol edilmektedir. EC-3 de işletme yükü 18.30 KN olup levhaların akması tarafından kontrol edilmektedir. Ayrıca EC-3 ve LRFD yöntemlerine göre dayanımlar çizelge 7.2 de gösterilmektedir.

**Çizelge 7.2 : Köşe kaynakta karşılaştırma**

Köşe Kaynak				
	Kaynağın Kesme Kapasitesi	Levha	Levhaların Akma Dayanımı	Levhaların Kırılma Dayanımı
		t>2.54 için kesme dayanımı		
LRFD	45.23 KN	34.25 KN	26.68 KN	42.00 KN
EC-3	33.60 KN	-	26.95 KN	37.33 KN

Tek tesirli bulonlu birleşimde yapılan sayısal uygulama sonucunda; ASD yöntemine göre işletme yükü 30.15 KN olup bulonların kesme dayanımı tarafından kontrol edilmektedir. LRFD yönteminde de işletme yükü 30.06 KN olup çekme kırılması tarafından kontrol edilmektedir. EC-3 de işletme yükü 36.12 KN olup net kesit dayanımı tarafından kontrol edilmektedir. Ayrıca EC-3 ve LRFD yöntemlerine göre dayanımlar çizelge 7.3 de gösterilmektedir.

**Çizelge 7.3 : Tek tesirli bulonlu birleşimde karşılaştırma**

Tek tesirli bulonlu birleşim						
	Bulonların Kesme Dayanımı	Bulonların Ezilme Dayanımı	Levhaların Akma Dayanımı	Kesme Kırılma Dayanımı	Çekme Kırılma Dayanımı	Blok kesme Kırılma Dayanımı
LRFD	47.05 KN	82.80 KN	54.79 KN	85.23 KN	46.11 KN	58.66 KN
EC-3	64.75 KN	64.40 KN	55.34 KN	-	53.35 KN	73.97 KN

Çift tesirli bulonlu birleşimde yapılan sayısal uygulama sonucunda; ASD yöntemine göre işletme yükü 74.28 KN olup bulonların ezilmesi tarafından kontrol edilmektedir. LRFD yönteminde de işletme yükü 72.66 KN olup bulonların ezilmesi tarafından kontrol edilmektedir. EC-3 de işletme yükü 58.74 KN olup bulonların ezilmesi tarafından kontrol edilmektedir. Ayrıca EC-3 ve LRFD yöntemlerine göre dayanımlar çizelge 7.4 de gösterilmektedir.

**Çizelge 7.4 : Çift tesirli bulonlu birleşimde karşılaştırma**

Çift tesirli bulonlu birleşim						
	Bulonların Kesme Dayanımı	Bulonların Ezilme Dayanımı	Levhaların Akma Dayanımı	Kesme Kırılma Dayanımı	Çekme Kırılma Dayanımı	Blok kesme Kırılma Dayanımı
LRFD	235.22 KN	111.42 KN	165.81 KN	229.34 KN	124.06 KN	169.81 KN
EC-3	258.97 KN	86.68 KN	167.48 KN	-	143.53 KN	214.33 KN

Yapılan sayısal çözümler sonucunda Amerikan standardı ile Avrupa standardı arasında farklar olduğu gözlemlenmektedir. Birbirine çok benzeyen denklem tipleri olmasına rağmen azaltma katsayılarındaki ve yük kombinasyonlarındaki farklılıklardan dolayı sonuçlarda değişimler oluşmuştur.

Kalınlık kriterlerinde NAS/AISI standardı ince cidarlı levhaları 4.76 mm den küçük olarak tanımlamasına rağmen Eurocode Part 1-3 4.00 mm olarak kabul etmiştir. Ayrıca Avrupa standardı bulonlu birleşimde ezilme kontrolünde 3.00 mm altındaki levhaları ince cidarlı olarak kabul etmiştir.

Levhaların aralık ve uygunluk kontrolleri her iki standartta da aynıdır. Köşe kaynaklı birleşimde levha kalınlığını 2.54 mm den büyük olması durumundaki kesme dayanımı Avrupa standartında karşılığı yoktur.



## KAYNAKLAR

- [1] Yu,W.W., and LaBoube, R. A., 2010. *Cold Formed Steel Design 4 rd Edition*, Missouri University of Science and Technology Rolla, Wiley, Missouri, sayfa 1-272
- [2] Uzgider,E. ve Arda, S., 1989. *Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Çelik Elemanlar*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- [3] Taşkiran E.,2005. Çelik Taşıyıcılı Konut Yapım Teknikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İzmir
- [4] Uygur, C. 2006. Seismic Design of Cold Formed Steel Structures in Residential Applications, *PhD Thesis*, ODTÜ Ankara
- [5] Hancock, G.J.,Thomas, M.M, Ellifrlt D.S. 2001,. *Cold-Formed Steel Structures to the AISI Specification*, Marcel Dekker Inc., New York,
- [6] Tama,Y.S. ve KAPLAN,H.,2009, Soğuk Şekillendirme Yöntemleri ve Soğuk Şekillendirme İşinin Çelik Malzeme Mekanik Özelliklerine Etkisi, 3. *Ulusal Çelil Yapılar Sempozyumu*, Gaziantep, sayfa 222-224
- [7] Eurocode 3 Part 1-3 ,2006, General Rules-Supplementary rules for Cold-Formed Members and Sheeting EN 1993-1-8:2006 Eurocode3 Part1-3, sayfa 61-73.
- [8] R.A.LaBoube, Yu W.W. 1993, Behavior of Arc Spot Weld Connection in Tension, *Journal of Structural Engineering*, Vol.119, No.7 sayfa 2187-2195
- [9] Reynaud Serrette and Dean Peyton, 2009 Strength of Screw Connections in Cold-Formed Steel Construction, *Journal of Stuctural Engineering*, Vol. 135,No.8, Sayfa 951-952
- [10] R.F. Pedreschi, B.P. Sinha and R.Davies, 1997, Advanced connection techniques for Cold-Formed Steel Structures, *Journal of Stuctural Engineering*, Vol. 123, No 2, sayfa 138-139

- [11] **Makelainen, P., O. Kaitila**, 1999 ,Study on the Behavior of a new Light-Weight Steel Roof Truss, *Advanced In Steel Structures* ,ICASS'99,Elsevier, sayfa 159-160
- [12] **Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures**, 2005, ASCE Standard ASCE/SEI 7-05 Including Supplement,
- [13] **AISI Standard**, 2010, Supplement No.2 to the North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, 2007 Edition, sayfa 12-47
- [14] **Eurocode3 Part1-8**,2006, General Rules-Supplementary rules for Cold-Formed Members and Sheeting EN 1993-1-3:2006 Eurocode3 Part1-8

## ÖZGEÇMİŞ

**VESİKALIK**  
**FOTO**

**Ad Soyad:** Yakup Altay  
**Doğum Yeri ve Tarihi:** Gebze 01.01.1987  
**Adres:** Gebze/Kocaeli  
**Lisans Üniversite:** Kocaeli Üniversitesi  
**Yayın Listesi:**