EK-1

GÖRÜŞ FORMU*

Görüş Bildiren Kurum:

Taslağın Geneli Üzerindeki Görüş ve Değerlendirme		
Mevcut Metin	**Taslak Metin**	**Öneri/Teklif Metni**
Değerlendirme		
Değerlendirme		
Değerlendirme		
Değerlendirme		

NOT: Mevcut metin ve taslak metin sütunları karşılaştırma cetveli ile aynı renk ve biçimde oluşturulur. Teklif metni ile yapılacak değişiklikler ise farklı renkte gösterilir.

* Taslaklar Hakkında Görüş Bildirilmesinde Kullanılacak Form

HAFİF ÇELİK BİNALARIN TASARIMI İÇİN ESASLAR

İÇİNDEKİLER

SİMGELER VII
1 GENEL ESASLAR 19
1.1 KAPSAM 19
1.2 İLKELER 19
1.2.1 Hafif Çelik Elemanların Tasarımı 19
1.2.2 Hafif Çelik Elemanların Tasarım Metodolojisi 20
1.3 İLGİLİ STANDART VE YÖNETMELİKLER 22
1.4 DENEYE DAYALI TASARIM 24
1.5 TAŞIYICI SİSTEMLERE İLİŞKİN YÜKSEKLİK VE KATSAYILARIN KULLANIMI 25
2 MALZEME 26
3 ENKESİT KOŞULLARI 28
4 YAPISAL ELEMANLARIN TASARIM ESASLARI 30
4.1 GENEL HÜKÜMLER 30
4.2 TASARIM ESASLARI 30
4.2.1 Sınır Durumlar 30
4.2.2 Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) 31
4.3 YÜKLER VE YÜK BİRLEŞİMLERİ 31
4.3.1 Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) için Yük Birleşimleri 32
4.4 EKSENEL ÇEKME KUVVETİ ETKİSİ 33
4.4.1 Genel Esaslar 33
4.4.2 Kayıpsız Enkesitte Akma Sınır Durumu 33
4.4.3 Net Enkesitte Kırılma Sınır Durumu 33

4.5 EKSENEL BASINÇ KUVVETİ ETKİSİ 34
4.5.1 Genel Esaslar 34
4.5.2 Akma ve Genel Burkulma Sınır Durumu 34
4.5.3 Akma ve Genel Burkulma ile Birlikte Yerel Burkulma Sınır Durumu 35
4.5.4 Distorsiyonel Burkulma Sınır Durumu 36
4.6 EĞİLME MOMENTİ ETKİSİ 37
4.6.1 Genel Esaslar 37
4.6.2 Akma ve Genel Burkulma Sınır Durumu 37
4.6.3 Akma ve Genel Burkulma ile Birlikte Yerel Burkulma Sınır Durumu 38
4.6.4 Distorsiyonel Burkulma Sınır Durumu 40
4.7 KESME KUVVETİ ETKİSİ 41
4.7.1 Genel Esaslar 41
4.7.2 Kayıpsız Gövde Enkesitine Sahip Elemanlarda Kesme Kuvveti Dayanımı 41
4.8 BİLEŞİK ETKİLER 44
4.8.1 Eğilme Momenti ve Eksenel Kuvvet Etkisi 44
4.8.2 Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti Etkisi 45
4.8.3 Eğilme Momenti ve Gövdede Buruşma Etkisi 47
4.9 ELEMANLARIN ETKİN GENİŞLİKLERİ 47
4.9.1 Rijitleştirilmiş Enkesit Parçalarının Etkin Genişliği 47
4.9.2 Rijitleştirilmemiş Enkesit Parçalarının Etkin Genişliği 51
4.9.3 Kenar Rijitleştiricilere (Tırnak) Sahip Enkesit Parçalarının Etkin Genişliği 54
4.10 ELEMANLARIN ELASTİK BURKULMA ANALİZİ 57
4.10.1 Genel Hükümler 57
4.10.2 Nümerik Çözümler 58

4.10.3 Analitik Çözümler 59
4.11 DİYAFRAM ETKİSİNİN ÇERÇEVE ANALİZİNDE MODELLEMESİ 73
5 STABİLİTE TASARIMI 75
6 PANELLERİN TASARIMI 76
7 DÖŞEME TASARIMI 82
7.1 GENEL İLKELER 82
7.2 YÜKLER VE YÜK BİRLEŞİMLERİ 84
7.3 MALZEME ÖZELLİKLERİ 84
7.4 TAŞIMA KAPASİTESİ VE EĞİLME TASARIMI 84
7.5 SEHİM SINIRLARI VE TİTREŞİM 87
7.6 BAĞLANTILAR VE KESME TRANSFERİ 88
8 BİRLEŞİM TASARIMI 89
8.1 GENEL ESASLAR 89
8.2 VİDALI BİRLEŞİMLER 89
8.2.1 Minimum Vida Aralığı ve Eleman Kenarına Minimum Uzaklık 90
8.2.2 Kesme Kuvveti Etkisi 90
8.2.3 Çekme Kuvveti Etkisi 91
8.3 BULONLU BİRLEŞİMLER 91
8.3.1 Minimum Bulon Aralığı ve Eleman Kenarına Minimum Uzaklık 92
8.3.2 Bulon Deliği Ezilme Dayanımı 93
8.3.3 Bulonda Çekme ve Kesme Kuvveti Dayanımı 94
8.4 KIRILMA SINIR DURUMLARI 96
8.4.1 Kesme Kırılması Sınır Durumu 96
8.4.2 Çekme Kırılması Sınır Durumu 96
8.4.3 Blok Kesme Yırtılması Sınır Durumu 97

8.5 VİDA UÇ TİPLERİ 97
8.5.1 Kendinden Delme Uçlu Vida 98
8.5.2 Kendinden Delici Vida 98
8.6 VİDA BAŞLIK TİPLERİ VE UYGULAMA ALANLARI 98
9 TEMEL VE ANKRAJ TASARIMI 101
9.1 TEMEL TASARIMI 101
9.2 ANKRAJ TASARIMI 102
9.2.1 Betonarme içine gömülü ankrajlar ve çekme kuvveti aktarma elemanları bağlantıları 103
9.2.2 Sonradan yerleştirilen mekanik ankraj sistemleri 104
9.2.3 Sonradan Yerleştirilen Yapıştırma (Kimyasal) Ankraj Sistemleri 105
9.3 BAĞLANTI GÖÇME MEKANİZMALARI 107
10 İMALAT VE MONTAJ 109
10.1 ELEMANLARDA AÇILACAK DELİKLER İÇİN KURALLAR 109
10.2 İMALAT VE MONTAJ KONTROL LİSTESİ 110
11 YANGIN TASARIMI 112
11.1 GEREKLİLİKLER 112
11.2 YAPISAL DAYANIMIN BELİRLENMESİ VE PERFORMANS ANALİZİ 114
11.3 YÜKSEK SICAKLIKTA MEKANİK VE TERMAL ÖZELLİKLER 114
11.3.1 Genel 114
11.3.2 Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisinin Sıcaklıkla Değişimi 116
11.4 BİRLEŞİM ELEMANLARI 116
12 MODÜLER VE HİBRİT SİSTEMLER 117
12.1 MODÜLER YAPILAR 117
12.1.1 Kapsam ve Tanımlar 117

12.1.2 Yapısal Sistem Gereklilikleri 118
12.1.3 Stabilite ve Yanal Yük Taşıma 118
12.1.4 Kat Adedi ve Kullanım Sınırları 118
12.1.5 Yangın, Ses ve Isı Yalıtımı 118
12.1.6 Fabrika Üretimi ve Kalite Kontrol 120
12.1.7 Taşıma ve Yerinde Montaj 120
12.2 HİBRİT YAPILAR 120
12.2.1 Kapsam ve Tanımlar 120
12.2.2 Yapısal Uyumluluk ve Etkileşim 120
13 YALITIM UYGULAMA ESASLARI 122
13.1 ISI YALITIM ESASLARI 123
13.2 SU YALITIM ESASLARI 123
13.3 SES YALITIM ESASLARI 123
13.4 TESİSAT VE ELEKTRİK DONATILARI İLE İLİŞKİLİ YALITIM KURALLARI 124

SİMGELER

β	x-ekseni etrafında eğilmeli-burulmalı burkulma için katsayı [boyutsuz]
ε	Yayınım katsayısı [boyutsuz]
ε_T	T sıcaklığındaki verilen gerilme (f_T)'ye karşılık gelen şekil değiştirme [boyutsuz]
ϕ	Dayanım katsayısı [boyutsuz]
λ	Narinlik katsayısı [boyutsuz]
μ	Poisson oranı [boyutsuz]
γ	y-ekseni etrafında eğilmeli-burulmalı burkulma için katsayı [boyutsuz]
ρ	Yerel azaltma katsayısı [boyutsuz]
ρ [Bölüm 12]	Çeliğin yoğunluğu [kg/m³]
σ	Stefan–Boltzmann sabiti [boyutsuz]
ξ_w	Gövde boyunca gerilme değişimi. f_1 ve f_2 gövdenin her iki ucundaki kayıpsız enkesit için hesaplanacak gerilme değişimi [boyutsuz]
ψ	$\lvert f_2/ f_1\rvert$ (mutlak değer) [boyutsuz]
ψ_f	Başlık ve kenar rijitleştiricideki gerilme oranı. f_1 başlık ve kenar rijitleştiricideki maksimum basınç gerilmesini, f_{cg} başlığın ağırlık merkezindeki gerilme [boyutsuz]

θ_a	Çeliğin sıcaklığı [^oC]
a	Gövde levhasını dikdörtgen panellere bölen düşey ara rijitlik levhaları/elemanları arasındaki net uzaklık [mm]
a	Enine rijitleştirilmiş gövde kesitine sahip elemanlarda rijitlik elemanları arası mesafe veya enine rijitleştirilmemiş gövde kesitine sahip elemanlarda kesitin sonundan boşluğun merkezine kadar olan mesafenin iki katı [mm]
A_b	Diş açılmamış bulon gövdesi karakteristik enkesit alanı [mm^2]
A_e	Etkin net enkesit alanı [mm^2]
A_f	Başlık enkesit alanı [mm^2]
A_g	Kayıpsız enkesit alanı [mm^2]
A_n	Net enkesit alanı [mm^2]
A_{nv}	Kesme kırılması için net alan (yük doğrultusunda) [mm^2]
A_w	Kayıpsız gövde enkesit alanı [mm^2]
b	Etkin genişlik [mm]
b	Başlık genişliği [mm]
b_1, b_2 [Bölüm 8]	Korniyerin bağlanmayan ve bağlanan kolunun dıştan dışa genişliği [mm]
b_1, b_2	Etkin genişlik parçaları [mm]
b_e, b_w	f yerine f_1 dikkate alınarak hesaplanan etkin genişlik [mm]
b_f	Dıştan dışa başlık genişliği [mm]
b_o	Basınç başlığının dıştan dışa genişliği [mm]

b_w[Bölüm 8]	Dıştan dışa gövde yüksekliği [mm]
c	Kenar rijitleştiricinin uzunluğu [mm]
c [Bölüm 12]	Çeliğin özgül ısı kapasitesi [J/kgK]
C	Ezilme katsayısı [boyutsuz]
C_b	Moment düzeltme katsayısı [boyutsuz]
C_s	+1 (Eğilme momentinin, enkesitin ağırlık merkezine göre kayma merkezi tarafında basınç etkisi oluşturması durumunda) veya –1 (Eğilme momentinin, enkesitin ağırlık merkezine göre kayma merkezi tarafında çekme etkisi oluşturması durumunda) [boyutsuz]
C_w	Çarpılma katsayısı [boyutsuz]
C_{wf}	Başlık çarpılma katsayısı [boyutsuz]
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
d	Karakteristik bulon çapı [mm]
d'_s	Rijitleştiricinin etkin genişliği [mm]
d_h	Boşluk yüksekliği [mm]
d_h [$Bölüm$ 8]	Delik çapı [mm]
d_s	Rijitleştiricinin azaltılmış etkin genişliği [mm]
d_y	Karakteristik vida çapı [mm]
d_w	Pul veya vida başı çapının büyük olanı [mm]
E	Çelik elastisite modülü [N/mm^2]

E [Bölüm 4]	Deprem etkisi
E_T	T sıcaklığındaki elastisite modülü [N/mm^2]
F	Akışkan madde basınç yükü
f	Enkesit parçasındaki basınç gerilmesi [N/mm^2]
f_1, f_2	Etkin kesit dikkate alınarak hesaplanan gerilmeler (**Şekil 4.4**). f_1 ve f_2 nin basınç olması durumunda $f_1 \geq f_2$ [N/mm^2]
f_{cg}	Başlığın ağırlık merkezindeki gerilme [N/mm^2]
f_d	Dikkate alınan elemanda hesaplanan basınç gerilmesi [N/mm^2]
f_{rv}	Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yük birleşimleri altında bulonun karakteristik gövde alanındaki en büyük kayma gerilmesi [N/mm^2]
$f_{y,T}$	T sıcaklığındaki akma gerilmesi [N/mm^2]
F_{cr}	F_{cre} – genel, $F_{crℓ}$ – yerel veya F_{crd} – distorsiyonel burkulma için elastik burkulma gerilmesi [N/mm^2]
F_{crl}	Yerel elastik burkulma gerilmesi [N/mm^2]
F_{cre}	Kritik elastik genel burkulma gerilmesi [N/mm^2]
F_n	Kritik eğilmeli burkulma gerilmesi [N/mm^2]
F_{nt}	Bulonun karakteristik çekme gerilmesi dayanımı [N/mm^2]
F'_{nt}	Kesme kuvveti etkisi dikkate alınarak elde edilen azaltılmış karakteristik çekme gerilmesi [N/mm^2]
F_{nv}	Bulonun karakteristik kayma gerilmesi dayanımı [N/mm^2]

F_u	Çelik karakteristik çekme dayanımı [N/mm^2]
F_{u1}	Vida başı ile temas eden elemanın karakteristik çekme dayanımı [N/mm^2]
F_{u2}	Vida başı ile temas etmeyen elemanın karakteristik çekme dayanımı [N/mm^2]
F_y	Çelik karakteristik akma gerilmesi [N/mm^2]
g	Ardışık iki deliğin merkezleri arasında, kuvvete dik doğrultudaki aralık [mm]
G	Çelik kayma modülü [N/mm^2]
G	Sabit yük
h	Gövde yüksekliği [mm]
h_c	Konveksiyon katsayısı (W/m²K)
h_o	Gövdenin dıştan dışa yüksekliği [mm]
H	Yatay zemin basıncı, zemin suyu basıncı veya yığılmış madde basıncı
$\overline{i_o}$	Kayma merkezine göre hesaplanan polar atalet yarıçapı [mm]
I_a	Her bir enkesit parçasının rijitleştirilmiş bir eleman gibi davranmasını sağlayacak şekilde rijitlik elemanının yeterli atalet momenti [mm^4]
I_s	Rijitlik elemanının esas elemana paralel asal ekseni etrafındaki azaltılmamış atalet momenti [mm^4]
I_x	*x*- eksenine göre atalet momenti [mm^4]
I_{xf}	Başlığın *x*-ekseni etrafındaki atalet momenti [mm^4]
I_{xyf}	Başlığın atalet momentleri çarpımı [mm^4]

I_y	*y*- eksenine göre atalet momenti [mm^4]
I_{yf}	Başlığın *y*-ekseni etrafındaki atalet momenti [mm^4]
j	Asimetri katsayısı [boyutsuz]
J	Burulma sabiti [mm^4]
J_f	Başlık burulma sabiti [mm^4]
K	Etkin (veya eşdeğer) burkulma boyu katsayısı [boyutsuz]
K_x	*x*-ekseni etrafında eğilmeli burkulma durumunda burkulma boyu katsayısı [boyutsuz]
K_y	*y*-ekseni etrafında eğilmeli burkulma durumunda burkulma boyu katsayısı [boyutsuz]
K_z	Burulmalı burkulma durumunda burkulma boyu katsayısı [boyutsuz]
k	Plak burkulma katsayısı [boyutsuz]
$\overline{k}_{\varphi fe}$	Başlığın başlık/gövde birleşimine sağladığı elastik dönme rijitliği [N]
$\overline{k}_{\varphi we}$	Gövdenin başlık/gövde birleşimine sağladığı elastik dönme rijitliği [N]
$\overline{k}_{\varphi}$	Sürekli dönme rijitliği (kaplama, panel, rijitleştirici tarafından başlık/gövde birleşimine sağlanan dönme rijitliği) [N]
$\tilde{k}_{\varphi fg}$	Başlığın başlık / gövde birleşiminden talep ettiği geometrik dönme rijitliği [N]
$\tilde{k}_{\varphi fg}$	Başlığın başlık / gövde birleşiminden talep ettiği geometrik dönme rijitliği [mm]

$\tilde{k}_{\varphi wg}$	Gövdenin başlık / gövde birleşiminden talep ettiği geometrik dönme rijitliği [mm]
k_v	Kesme burkulması katsayısı [boyutsuz]
l	Yük doğrultusundaki etkin birleşim uzunluğu [mm]
L_{crd}	Distorsiyonel burkulma için kritik tutulu olmayan boy [mm]
L_d	L_{crd} ve L_m den küçük olanı [mm]
L_h	Boşluk genişliği [mm]
L_m	Distorsiyonel burkulmaya karşı tutulu olmayan boy [mm]
L_x	x-ekseni etrafında burkulma durumunda tutulu olmayan boy [mm]
L_y	y-ekseni etrafında burkulma durumunda tutulu olmayan boy [mm]
L_z	Burulmalı burkulma durumunda tutulu olmayan boy [mm]
m_f	Düzeltme katsayısı [boyutsuz]
M_{cr}	M_{cre} – genel (yanal-burulmalı), $M_{crℓ}$ – yerel veya M_{crd} – distorsiyonel burkulma durumu için burkulma momenti [Nm]
M_{crd}	Kritik elastik distorsiyonel burkulma momenti [Nm]
M_{cre}	Genel burkulma durumunda elastik burkulma momenti dayanımlarının en küçüğü [Nm]
M_{crl}	Kritik elastik yerel burkulma momenti [Nm]
M_d	Tasarım eğilme momenti dayanımı [Nm]
M_{dlo}	Tasarım eğilme momenti dayanımı [Nm]

M_{dx}, M_{dy}	Basınç bölgesinde burkulma dikkate alınarak hesaplanan geometrik eksenler (x ve/veya y) etrafındaki tasarım eğilme momenti dayanımı [Nm]
M_{dxt}, M_{dyt}	Çekme bölgesinde akma dikkate alınarak hesaplanan geometrik eksenler (x ve/veya y) etrafındaki tasarım eğilme momenti dayanımı [Nm]
M_n	Karakteristik eğilme momenti dayanımı [Nm]
M_{nd}	Distorsiyonel burkulma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı [Nm]
M_{ne}	Akma ve yanal burulmalı burkulma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı [Nm]
M_{nl}	Akma ve genel burkulma (yanal burulmalı burkulma) ile birlikte yerel burkulma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı [Nm]
M_y	Elastik eğilme momenti dayanımı [Nm]
$\bar{M}$	Gerekli eğilme momenti dayanımı [Nm]
$\bar{M}_{ne}$	Akma ve yanal burulmalı burkulma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı ve elastik eğilme momenti dayanımından küçük olanı [Nm]
$\bar{M}_x, \bar{M}_y$	Geometrik eksenler (x ve/veya y) etrafında gerekli eğilme momenti dayanımı [Nm]
n_{sp}	Kayma düzlemi sayısı [boyutsuz]
P_{cr}	P_{cre}– genel (eğilme, burulma veya eğilmeli burulmalı) burkulma, $P_{crℓ}$– yerel burkulma veya P_{crd}– distorsiyonel burkulma sınır durumu için elastik burkulma kuvveti dayanımı (basınç etkisinde) [N]
P_{crd}	Kritik elastik distorsiyonel burkulma yükü [N]

P_{cre}	Genel burkulma durumunda elastik burkulma kuvveti dayanımlarının en küçüğü [N]
P_{crl}	Kritik elastik yerel burkulma yükü [N]
P_d	Tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı [N]
P_{ex}	*x*-ekseni etrafında eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik eksenel basınç kuvveti dayanımı [N]
P_{ey}	*y*-ekseni etrafında eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik eksenel basınç kuvveti dayanımı [N]
P_{ez}	Burulmalı burkulma sınır durumunda elastik eksenel basınç kuvveti dayanımı [N]
P_n	Karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı [N]
P_{nd}	Distorsiyonel burkulma karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı [N]
P_{ne}	Akma ve genel burkulma (eğilmeli, burulmalı veya eğilmeli burulmalı) sınır durumu için karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı [N]
P_{nl}	Akma ve genel burkulma (eğilmeli, burulmalı veya eğilmeli burulmalı) ile birlikte yerel burkulma sınır durumu için karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı [N]
P_{ns1}	Yan yatma sınır durumu için karakteristik dayanım [N]
P_{ns2} *ve* P_{ns3}	Ezilme sınır durumu için karakteristik dayanım [N]
$\bar{P}$	Gerekli eksenel basınç kuvveti dayanımı [N]
Q	Hareketli yük
Q_r	Çatı hareketli yükü

r_p	Profil iç büküm yarıçapı [mm]
R	Yağmur yükü
R [Bölüm 1]	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı [Boyutsuz]
R_{n}	Karakteristik dayanım [N]
R_u	YDKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım [N]
s	Vida veya bulon aralığı (mm)
s [Bölüm 8]	Ardışık iki deliğin merkezleri arasında, kuvvet doğrultusundaki aralık [mm]
S	Kar yükü
S_{ec}	En dış lifte basınç gerilmesinin F_n'e ulaşmasına karşı gelen etkin elastik kesit modülü [mm^3]
S_{et}	En dış lifte çekme gerilmesinin F_y'ye ulaşmasına karşı gelen etkin elastik kesit modülü [mm^3]
S_f	Kayıpsız enkesitte elastik kesit modülü [mm^3]
S_{fc}	Kayıpsız enkesitte basınç bölgesinde akmanın başlamasına karşı gelen elastik kesit modülü [mm^3]
S_{fc}	Uç basınç lifine göre referans alınmış elastik kayıpsız kesit modülü [mm^3]
S_{ft}	Kayıpsız enkesitte en dış lifte çekme durumuna karşı gelen elastik kesit modülü [mm^3]
t	Et kalınlığı [mm]
t_1	Vida başı ile temas eden elemanın et kalınlığı [mm]

t_2	Vida başı ile temas etmeyen elemanın et kalınlığı [mm]
t_s	Kaplama panelinin çelik kalınlığı [mm]
T	Sıcaklık değişmesi ve/veya mesnet çökmesi etkileri
T_d	Tasarım eksenel çekme kuvveti dayanımı [N]
T_m	Ortam–çelik arasındaki ortalama mutlak sıcaklık [^{o}C]
T_n	Karakteristik eksenel çekme kuvveti dayanımı [N]
$\bar{T}$	Gerekli eksenel çekme kuvveti dayanımı [N]
U_{sl}	Gerilme düzensizliği etki katsayısı [boyutsuz]
$V_{b,0}$	Rüzgâr hızı temel değeri [m/s]
V_{cr}	Kesme elastik burkulma kuvveti [N]
V_{cr}	Sadece düz gövde parçası dikkate alınarak hesaplanan elastik kesme burkulması dayanımı [N]
V_d	Tasarım kesme kuvveti dayanımı [N]
V_n	Karakteristik kesme kuvveti dayanımı [N]
V_y	Akma sınır durumunda kesme kuvveti dayanımı [N]
$\bar{V}$	Eğilme momenti ve kesme kuvveti etkisindeki elemanlarda gerekli kesme kuvveti dayanımı [N]
x_o, y_o	Kayma merkezinin ağırlık merkezine göre koordinatları [mm]
x_{of}	Başlığın ağırlık merkezinden başlığın kayma merkezine olan x-mesafesi [mm]

y_{of}	Başlığın ağırlık merkezinden başlığın merkezine olan *y*-mesafesi [mm]
x_{hf}	Başlığın ağırlık merkezinden başlık/gövde birleşim noktasına olan *x*-mesafesi [mm]
$\bar{x}$	Birleşim etki alanı ağırlık merkezinin birleşim düzlemine dik uzaklığı (dışmerkezlik etkisi) [mm]
y_{hf}	Başlığın ağırlık merkezinden başlık/gövde birleşim noktasına olan *y*-mesafesi [mm]
w	Düz genişlik [mm]
w [Bölüm 4.11]	Eşdeğer çubuğun genişliği [mm]
W	Rüzgâr yükü

1 GENEL ESASLAR

Bu bölümde hafif çelik binaların tasarım ve yapım esaslarının kapsamı açıklanmaktadır.

1.1 KAPSAM

Bu esaslar, çelik sac, şerit veya plakadan soğuk şekillendirilmiş yapı elemanlarının ve yapı sistemlerinin, kullanım amaçlarına uygun olarak, yeterli güvenlikle tasarımına ve yapımına ilişkin yöntem, kural ve koşulları içermektedir. Bu Yönetmelik, ön üretimli (prefabrik), hibrit (karma), modüler ve profille yerinde yapım binaların tasarımını kapsamaktadır.

Yorulma etkilerinin hesaplanması bu yönetmeliğin kapsamının dışındadır.

Deprem etkisi altında inşa edilecek hafif çelik ve hibrit (karma) bina taşıyıcı sistemlerinin depreme dayanıklı olarak tasarımında, "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)" kurallarına ek olarak, bu esaslarda belirtilen kural ve koşullara uyulmalıdır.

1.2 İLKELER

Hafif çelik kesitler, ince cidarlı yapıları nedeniyle geleneksel sıcak haddelenmiş profillere kıyasla farklı mekanik davranışlar sergilemektedir. Bu tür kesitlerde ağırlık merkezi ile kayma merkezi genellikle aynı bulunmadığından, özellikle burkulma ve stabilite problemlerinin tasarım sürecinde bu durumun gözetilmesini gerekmektedir.

1.2.1 Hafif Çelik Elemanların Tasarımı

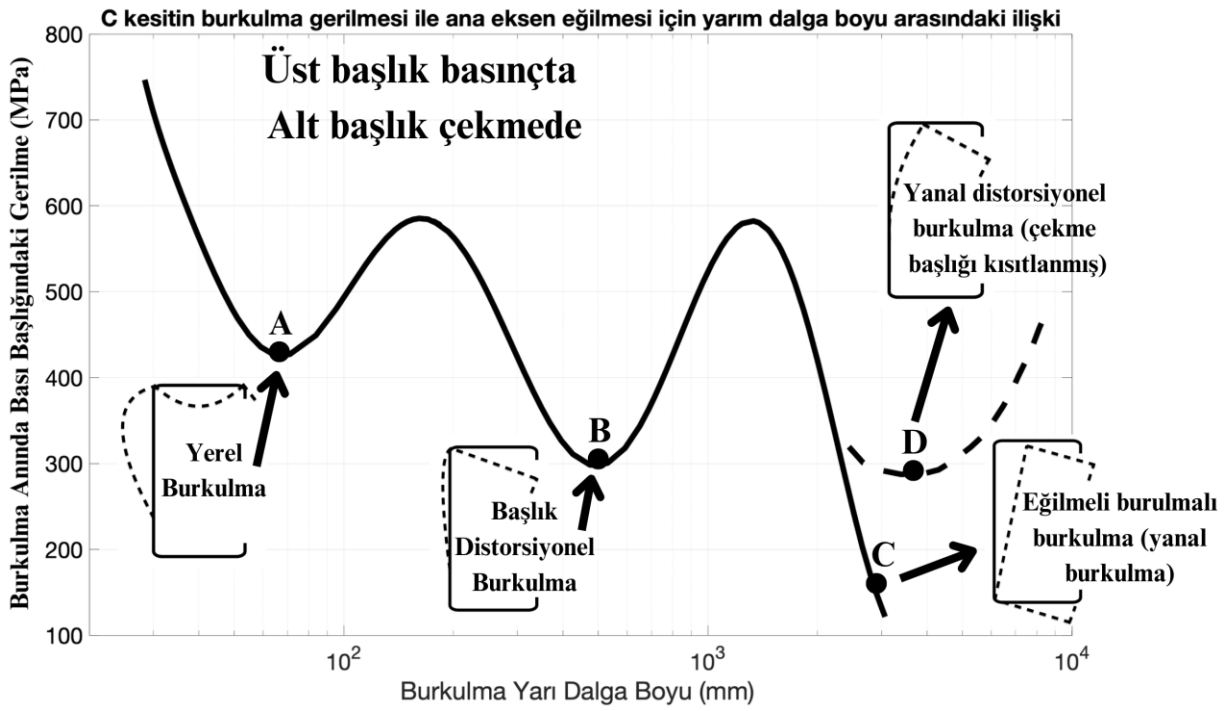
Hafif çelik elemanların tasarımında, enkesit ve eleman boyu dikkate alınarak aşağıdaki limit durumlardan gerekli olanları değerlendirilmelidir.

(1) Akma
(2) Genel Burkulma
    (a) Eğilmeli Burkulma
    (b) Burulmalı Burkulma
    (c) Eğilmeli-Burulmalı Burkulma

(3) Distorsiyonel Burkulma

(4) Yerel Burkulma

Bu burkulma türleri **Şekil 1.1**'de gösterildiği gibi, elemanın burkulma yarım-boyu ile olan ilişkisi çerçevesinde değerlendirilmeli ve bu Yönetmelikte tanımlanan tasarım yöntemleriyle ele alınmalıdır.



Şekil 1.1: Gerilme-burkulma yarı dalga boyu arasındaki ilişki

1.2.2 Hafif Çelik Elemanların Tasarım Metodolojisi

Hafif çelik elemanların tasarımı için iki temel yöntem kullanılmaktadır:

(1) Etkin Genişlik Metodu (EGM)

(2) Doğrudan Dayanım Metodu (DDM)

EGM, hafif çelik bir enkesitin burkulma açısından kritik bölgeleri boyunca yük taşımasını esas almaktadır. Bu yöntemde, etkin alanın hesaplanması gerekmektedir. EGM'ye alternatif olarak geliştirilen DDM'de ise etkin alanın hesaplanmasına gerek duyulmadan doğrudan elemanın burkulma ve göçme kapasitesi belirlenmektedir.

Doğrudan Dayanım Metodu'nun uygulanma adımları aşağıdaki gibidir:

(a) Elastik Burkulma Yükünün Hesaplanması: Genel, distorsiyonel ve yerel burkulma türleri için hesaplamalar yapılır.

(b) Göçme Dayanımının Belirlenmesi: Elastik burkulma, elastik olmayan burkulma ve akma durumu karşılaştırılarak kritik yük belirlenir.

(c) Kontrol eden Limit Durumun Belirlenmesi: **Bölüm 4 – YAPISAL ELEMANLARIN TASARIM ESASLARI** bölümünde belirtilen hesaplamalar sonucunda, en düşük dayanımı veren burkulma modu belirlenerek tasarımda dikkate alınır.

(d) Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) Kullanılarak Tasarımın Yapılması: Belirlenen kritik göçme moduna göre dayanım faktörleri uygulanarak güvenli tasarım gerçekleştirilir.

Bu süreç, hafif çelik elemanların tasarımında doğrudan ve hesaplama açısından sistematik bir yaklaşımın kullanılmasını gerektirmektedir.

Şekil 1.2'de hafif çelik elemanların eksenel yük taşıma kapasitesinin narinlik oranı ile değişimi gösterilmektedir. Burada *K*, etkin (veya eşdeğer) burkulma boyu katsayısıdır; elemanın uç koşullarına (mafsallı, ankastre, serbest vb.) bağlı olarak belirlenir ve teorik burkulma uzunluğuna göre düzeltme yapar. Bu katsayı, **"Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik" (ÇYTHYE) Bölüm 6.4.3** uyarınca hesaplanabilir. *L*, basınç elemanının uçtan uca olan fiziksel uzunluğunu ifade eden gerçek eleman boyudur. *i* ise, elemanın kesit şekli ve büyüklüğüne bağlı olarak belirlenen ve burkulma direncini etkileyen bir kesit özelliği olan atalet yarıçapıdır.

Bu eğri, hafif çelik elemanların akma dayanımı, elastik burkulma dayanımı ve göçme dayanımı arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır.

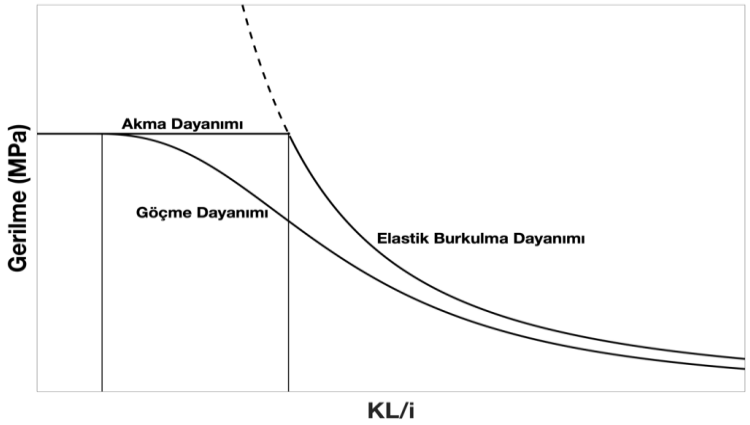
(a) Düşük narinlik oranına sahip eleman, burkulmadan önce akma dayanımına ulaşmakta ve bu bölgede malzeme kapasitesi belirleyici olmaktadır.

(b) Narinlik oranı arttıkça, burkulma etkisi baskın hale gelmekte ve elemanın yük taşıma kapasitesi azalmaktadır.

(c) Göçme dayanımı, elemanın elastik olmayan burkulmaya maruz kaldığı bölgeyi ifade etmekte ve bu noktadan sonra taşıma kapasitesi hızla düşmektedir.

(d) Daha yüksek narinlik değerlerinde dayanım, elastik burkulma dayanımı tarafından belirlenmektedir.

Şekil 1.2'deki grafik, hafif çelik yapı elemanlarının tasarımında burkulma etkilerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Düşük narinlik oranına sahip elemanlar akma dayanımına ulaşarak göçerken, yüksek narinlik oranına sahip elemanlar burkulma nedeniyle daha düşük yüklerde stabilitesini kaybedebilmektedir. Tasarım sürecinde, elemanın burkulma modunun belirlenmesi ve buna uygun hesapların yapılması kritik öneme sahiptir.



Şekil 1.2: Gerilme ve narinlik oranı arasındaki ilişki

1.3 İLGİLİ STANDART VE YÖNETMELİKLER

Bu Yönetmelik, soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlarla oluşturulan hafif çelik bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımına yönelik olarak hazırlanmıştır. Deprem tasarımına ilişkin hususlar ise, **Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) Bölüm 10**'da belirtilen hesap kuralları ile TS 498 Standardı'nda öngörülen yüklere ek olarak bu Yönetmelik doğrultusunda değerlendirilecektir. Bu Yönetmelikte, tarih belirtilerek veya belirtilmeksizin diğer standart ve/veya dokümanlara atıf yapılmaktadır. Bu atıflar metin içerisinde uygun yerlerde belirtilmiş ve **Tablo 1.1**'de verilmiştir. Tarih belirtilen atıflarda daha sonra yapılan tadil veya revizyonlar, atıf yapan bu Yönetmelikte de tadil veya revizyon yapılması şartı ile uygulanır. Atıf yapılan standart ve/veya dokümanın tarihinin **Tablo 1.1**'de belirtilmemesi halinde en son baskısı kullanılır.

Tablo 1.1: Yönetmelikte atıf yapılan standartlar ve ilgili bölümler

Standart	Başlık
ACI 318	Building Code Requirements for Structural Concrete (Yapısal Betona İlişkin Bina Yönetmelik Şartları)
AISI 240:2020	North American Standard for Cold-formed Steel Structural Framing (Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapısal Taşıyıcı Sistemlere İlişkin Kuzey Amerika Standardı)
AISI S100:2020	North American Specification for The Design of Cold-Formed Steel Structural Members (Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapısal Elemanların Tasarımına İlişkin Kuzey Amerika Standardı)
AS/NZS 4600:2018	Australian/New Zealand Standard - Cold-formed steel structures (Avustralya/Yeni Zelanda Standardı – Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Yapılar)
ASTM C1513	Standard Specification for Steel Tapping Screws for Cold-Formed Steel Framing Connections (Soğuk Şekillendirilmiş Çelik Taşıyıcı Sistem Birleşimlerinde Kullanılan
BS 5950	British Standard for Structural Use of Steelwork in Building (Binalarda Çelik Yapı Elemanlarının Yapısal Kullanımına İlişkin Britanya Standardı)
TS 498	Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
TS EN 10025	Sıcak Haddelenmiş Yapı Çelikleri – Teknik Teslim Şartları
TS EN 10346	Sıcak Daldırmayla Sürekli Olarak Kaplanmış Çelik Yassı Mamuller - Teknik Teslim Şartları
TS EN 12369-1	Ahşap esaslı levhalar - Yapısal amaçlı tasarım için karakteristik değerler - Bölüm 1: Osb, yonga levhalar ve lif levhalar
TS EN 12369-2	Ahşap Esaslı Levhalar - Yapısal Amaçlı Tasarım için Karakteristik Değerler – Bölüm 2: Kontrplak
TS EN 12369-3	Ahşap Esaslı Levhalar - Yapısal Amaçlı Tasarım için Karakteristik Değerler - Bölüm 3: Masif Ahşap Levhalar
TS EN 1990	Yapı Tasarım Esasları
TS EN 1991-1-3	Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-3: Genel Etkiler - Kar Yükleri
TS EN 1991-1-4	Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-3: Genel Etkiler - Rüzgar Yükleri
TS EN 1992-4	Beton yapılarının tasarımı – Bölüm 4: Betonda kullanılan sabitleme tertibatlarının tasarımı

Standart	Başlık
TS EN 1993-1-2	Design of Steel Structures - General Rules - Structural Fire Design (Çelik Yapıların Tasarımı – Genel Kurallar – Yapısal Yangın Tasarımı)
TS EN 1993-1-3	Çelik Yapıların Projelendirilmesi - Bölüm 1-3: Genel Kurallar - Soğukta Biçimlendirilmiş İnce Ölçülü Elemanlar ve Sacla Kaplama için
TS EN 14566+A1	Alçı levha sistemlerinde kullanılan mekanik bağlantı elemanları – Tarifler, gerekler ve deney yöntemleri
TS EN ISO 1461	Demir ve Çelikten İmal Edilmiş Malzemeler Üzerine Sıcak Daldırmayla Yapılan Galvaniz Kaplamalar - Özellikler ve Deney Metotları
TS EN ISO 898-1	Bağlama Elemanlarının Mekanik Özellikleri - Karbon Çeliği ve Alaşımlı Çelikten İmal Edilmiş - Bölüm 1: Civata, Vida ve Saplamalar

Hafif çelik yapı elemanları ve hibrit (karma) yapıların tasarımına ilişkin bu Yönetmelik'te veya ilgili Türk standartlarında yer almayan tasarım kuralları için öncelikle **Tablo 1.1**'de verilen kaynaklarla beraber uluslararası geçerliliği kabul edilen eşdeğer diğer standartlar, Yönetmelikler vb. teknik kural dokümanları, bu Yönetmelik'te öngörülen ilkeleri ve asgari güvenlik seviyesini sağlayacak şekilde kullanılabilir.

1.4 DENEYE DAYALI TASARIM

Yeterli hesap modellerinin bulunmadığı, çok sayıda benzer bileşenin kullanıldığı durumlarda veya tasarımda kullanılan varsayımların doğrulanması amacıyla yapılacak deneysel çalışmalarda TS EN 1990 Ek D'de verilen esaslar veya eşdeğer uluslararası standartlar esas alınacaktır. Belgelendirme ise, malzeme ve işçilik koşulları bakımından Türk Standartları ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Genel Teknik Şartnamesi'ne, 10.07.2013 tarihli ve 28703 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "Yapı Malzemeleri Yönetmeliği"'ne ve 26.06.2009 tarihli ve 27270 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "Yapı Malzemelerinin Tabi Olacağı Kriterler Hakkında Yönetmelik" kurallarına uygun olacaktır.

1.5 TAŞIYICI SİSTEMLERE İLİŞKİN YÜKSEKLİK VE KATSAYILARIN KULLANIMI

Tablo 1.2'de farklı taşıyıcı sistemler için Deprem Tasarım Sınıflarına göre izin verilen bina yükseklik sınıfları (BYS), taşıyıcı sistem davranış katsayısı (*R*) ve dayanım fazlalığı katsayısı (*D*) tanımlanmaktadır. Bu değerler, tasarım hesaplarında esas alınacak parametrelerdir.

Tablo 1.2: Bina taşıyıcı sistem türlerine göre izin verilen yükseklik sınıfları ve davranış katsayıları

Bina Taşıyıcı Sistemi	**İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS**		**Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı *R***	**Dayanım Fazlalığı Katsayısı D**
	DTS = 1,2	**DTS = 3,4**		
Sınırlı Süneklik	7	10.5	3	2
Yüksek Süneklik	10.5	14	4	2
Modüler Yapı*	10.5	14	4	2
Hibrit Yapı*	14	17.5	4	2
(*) Yalnızca süneklik düzeyi yüksek hafif çelik taşıyıcı sistemler için geçerlidir.				

2 MALZEME

Soğuk şekillendirilmiş çelik elemanların malzemesi, TS EN 10346 ile tanımlanmış, et kalınlıkları 0.45 mm ile 4 mm arasında değişen çelik yassı mamullerin şekillendirme makinelerinde bükülmesi ile elde edilen yapı malzemesidir.

Kullanılacak çelik sınıfları **Tablo 2.1**'de verilmiştir. S220GD çelik sınıfı aşıklarda kullanılabilir. DX5*D türü çelikler hafif çelik bina imalatında kullanılmayacaktır.

Kullanılması gereken durumlarda sıcak haddelenmiş çelik, TS EN 10025 uyarınca belirlenmiş malzemelerden olacaktır.

Tablo 2.1: Çelik sınıfları ve mekanik özellikler

Çelik Sınıfı	**Akma Dayanımı (MPa)**	**Kopma Dayanımı (MPa)**	**Kopma Birim Uzama Oranı (%)**
S250GD	250	330	19
S280GD	280	360	18
S320GD	320	390	17
S350GD	350	420	16
Kopma dayanımı 550 MPa ve üzerinde olan malzemelerde; kopma dayanımının akma dayanımına oranının en az 1.08 olması, kopma birim uzama oranının minimum %10 olması (bu durumda malzeme normal sünek malzeme olarak adlandırılır) gerekmektedir. Bu oranın %16 ve üzerinde olması durumunda ise yüksek sünek malzeme olarak kabul edilmesi gerekmektedir. Normal sünek malzemeler yalnızca aşık, cephe kuşakları ve taşıyıcı olmayan dikmelerde kullanılabilir. Bu koşulların tamamı deneysel olarak kontrol edilmelidir.			

Kullanılacak malzemeler ayrıca aşağıdaki şartları sağlamalıdır:

(a) Galvaniz kaplama, atmosferik korozyona karşı koruma amacıyla, minimum 275 g/m² çinko kaplama miktarına sahip olacak şekilde TS EN ISO 1461 standardına uygun olacaktır.

(b) Birleşimlerde matkap uçlu vidalar ve/veya bulonlar kullanılacaktır. Bu vidalar, ASTM C1513 veya eşdeğeri standartlar uyarınca yapılan deneylerde **Tablo 2.2**'de verilen minimum tork dayanımı, Rockwell yüzey sertliği ve Rockwell çekirdek sertliği değerlerini sağlayacaktır.

(c) Sahada açılan deliklerin veya kesim sonucu zarar gören galvanizli yüzeylerin korozyona karşı korunması amacıyla, açılan delik ve çevresi yüzeyler, çinko esaslı sprey boya veya galvaniz tamir boyası ile en az iki kat olacak şekilde kaplanacaktır.

Tablo 2.2: Matkap uçlu vidalar için koşullar

Uluslararası No.	**Vida Çapı (mm)**	**Minimum Tork Dayanımı (Nm)**	**Minimum Rockwell Yüzey Sertliği**	**Minimum Rockwell Çekirdek Sertliği**
6	3.5	2.7	C 50	C 32
8	4.2	4.7		
10	4.8	6.9		
12	5.5	10.4		
¼''	6.3	16.9		

3 ENKESİT KOŞULLARI

Süneklik düzeyi yüksek sistemlerde (deprem etkilerinin tamamının vidalı ve/veya bulonlu, yapısal kullanıma uygun OSB (yönlendirilmiş yonga levha), kontrplak (plywood) veya çelik sac kaplamalı duvar panelleriyle karşılandığı hafif çelik binalar) ve süneklik düzeyi sınırlı sistemlerde (deprem etkilerinin tamamının çaprazlı paneller veya alçı levha kullanılan kaplamalı panellerle karşılandığı hafif çelik binalar) kullanılacak profillerin sağlaması gereken enkesit koşulları aşağıda verilmiştir.

Yatay yükler altında birden fazla panel tipinin taşıyıcı olarak birlikte kullanıldığı durumlarda, sistemin genel sünekliği, sünekliği daha düşük olan panel tipine göre belirlenecektir.

Soğuk şekillendirilmiş profillerden oluşan elemanlarda *başlık genişliği/başlık et kalınlığı*, *gövde yüksekliği/gövde et kalınlığı* ve *kenar rijitleştirici uzunluğu/kenar rijitleştirici et kalınlığı* oranlarına ilişkin sınır değerler **Tablo 3.1**'de verilmiştir.

Tablo 3.1'de verilen koşulların yanında, kenar rijitleştiricilerin etkin katkısının sağlanması için aşağıdaki koşullara da uyulacaktır.

$$0.20 \leq c/b \leq 0.60$$

$$0.10 \leq d/b \leq 0.30$$

$c/b < 0.20$ veya $d/b < 0.10$ olması durumunda kenar rijitleştiricilerin katkısı gözardı edilecektir (c = 0 veya d = 0 olarak alınacaktır).

$c/b > 0.60$ veya $d/b > 0.30$ olması durumunda etkin enkesit özellikleri **Bölüm 4.9** ve **Bölüm 4.10** uyarınca hesaplanacak ve **Bölüm 1.4** uyarınca deneyle doğrulanacaktır.

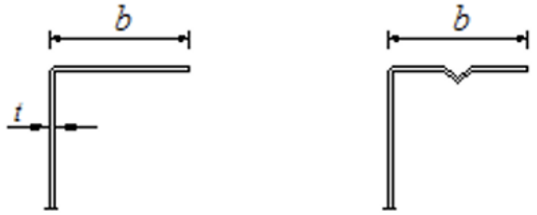
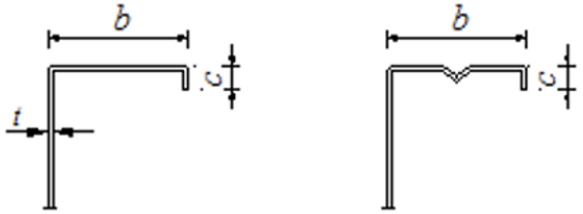
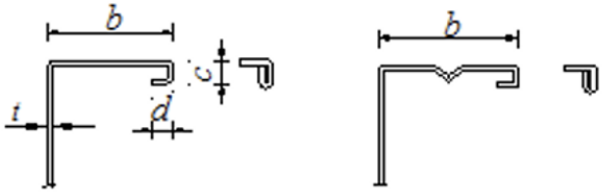
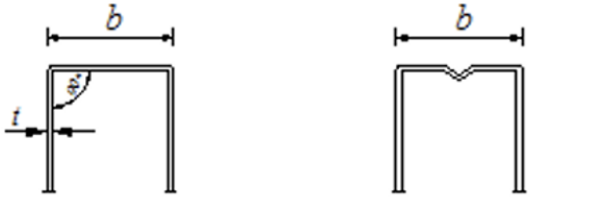
Profillerin iç büküm yarıçapları $r_p < 5t$ ve $r_p < 0.1b$ olması durumunda, bunların enkesit özelliklerine etkisi, $r_p = 0$ alınarak gözardı edilecektir.

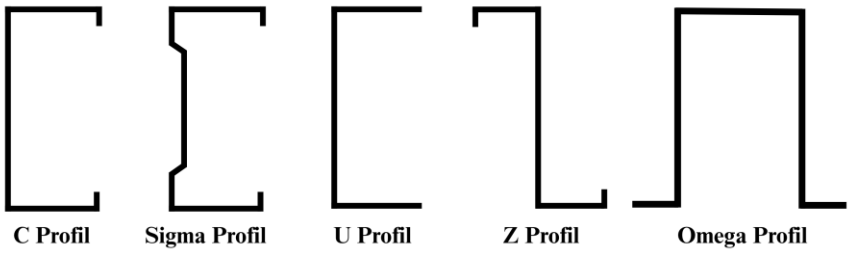
Profillerin minimum başlık genişliği aşağıdaki sınır değerleri sağlayacaktır.

(a) **C** ve/veya ∑ profillere bağlanacak kaplamaların vidalanabilmesini sağlamak için başlık genişliği minimum 30 mm olacaktır **(Şekil 3.1)**.

(b) U profillerde başlık genişliği minimum 20 mm olacaktır **(Şekil 3.1)**.

Tablo 3.1: Enkesit Koşulları

ENKESİT ÖZELLİKLERİ	Sınır Değerler
	$b/t < 50$
	$b/t < 60$ $c/t < 50$
	$b/t < 90$ $c/t < 60$ $d/t < 50$
	$b/t < 500$
	$h_i/t < 500.Sin(\phi)$ $45 < \phi < 90$



Şekil 3.1: Profil çeşitleri

4 YAPISAL ELEMANLARIN TASARIM ESASLARI

Bu bölüm, soğuk şekillendirilmiş çelik yapısal elemanların montajlarının ve sistemlerinin analiz, boyutlandırma ve tasarımına ilişkin genel gereklilikleri açıklamaktadır.

Doğrudan Dayanım Metodu'nda genel, yerel ve distorsiyonel burkulma modları ayrı ayrı kontrol edilerek bu değerlerden küçük olanı dayanım hesaplanmasında kullanılacaktır.

4.1 GENEL HÜKÜMLER

Soğuk şekillendirilmiş yapısal elemanlar ve bağlantılarının tasarımı, hafif çelik yapıların öngörülen davranışı ve yapısal analiz sırasında yapılan varsayımlar ile uyumlu olmalıdır.

4.2 TASARIM ESASLARI

Hafif çelik yapı elemanlarının ve birleşimlerin tasarımı aşağıda esasları verilen YDKT yöntemi uygulanarak gerçekleştirilecektir. Elemanların ve birleşimlerin gerekli dayanımı, ayrıntıları **Bölüm 4.3**'te verilen yük birleşimleri altında hesaplanır.

4.2.1 Sınır Durumlar

Hafif çelik yapı elemanları ve birleşimlerinin tasarımı, yapının işletme ömrü boyunca öngörülen tüm fonksiyonları belirli bir güvenlik altında yerine getirebilecek düzeyde dayanım, kararlılık (stabilite) ve rijitliğe sahip olacak şekilde, dayanım ve kullanılabilirlik sınır durumları esas alınarak gerçekleştirilecektir.

Dayanım sınır durumu, dayanım veya stabilite yetersizliği nedeniyle bölgesel veya tümüyle göçme oluşumunu tanımlar. Buna karşılık kullanılabilirlik sınır durumu, yapıdan beklenen fonksiyonları engelleyen limit değerlerin ötesindeki yer değiştirmeler, sehim ve döşeme titreşimleriyle tanımlanır.

4.2.2 Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)

YDKT, tüm yapısal elemanlar için, tasarım dayanımı ϕR_n'nin bu tasarım yöntemi için öngörülen ve **Bölüm 4.3.1**'de verilen YDKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım, R_u değerine eşit veya daha büyük olması prensibine dayanmaktadır.

Buna göre, tasarım aşağıda verilen koşula uygun olarak gerçekleştirilecektir.

$$R_u \leq \phi R_n$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır:

R_u : YDKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım,

R_n : Karakteristik dayanım,

ϕ : Dayanım katsayısı,

ϕR_n : Tasarım dayanımı.

4.3 YÜKLER VE YÜK BİRLEŞİMLERİ

Yapı sistemlerinin tasarımında esas alınan karakteristik yük değerleri, TS 498'e uygun olarak belirlenecektir. Kar yükleri için TS EN 1991–1–3'te ve rüzgâr yükleri için TS EN 1991–1–4'te verilen koşullar göz önüne alınacaktır. Deprem etkisi (E)'nin ayrıntılı tanımı için TBDY koşulları esas alınacaktır.

Rüzgâr hızının temel değeri ($V_{b,o}$) 28 m/sn (100 km/sa)'den ve binanın ana taşıyıcı sistemine, dış cephe kaplamalarına ve rüzgâra maruz yapısal ve yapısal olmayan elemanlara etki eden karakteristik rüzgâr yükleri 0.5 kN/m²'den az olmayacaktır.

Gerekli dayanımı belirlemek için karakteristik yüklere uygulanacak yük birleşimleri **Bölüm 4.3.1**'de verilmiştir.

Bu yük birleşimlerinde yer alan yükler aşağıda tanımlanmıştır:

G : Sabit yük,

Q : Hareketli yük,

Q_r : Çatı hareketli yükü,

S : Kar yükü,

R : Yağmur yükü,

W : Rüzgâr yükü,

E : Deprem etkisi,

F : Akışkan madde basınç yükü,

T : Sıcaklık değişmesi ve/veya mesnet çökmesi etkileri,

H : Yatay zemin basıncı, zemin suyu basıncı veya yığılmış madde basıncı.

4.3.1 Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) için Yük Birleşimleri

Bu tasarım yönteminde gerekli dayanım, R_u, aşağıdaki yük birleşimleri ile belirlenecektir:

(1) $1.4G$

(2a) $1.2G + 1.6(Q_r$ veya S veya $R)$

(2b) $1.2G + 1.6Q + 0.5(Q_r$ veya S veya $R)$

(3) $1.2G + 1.6(Q_r$ veya S veya $R) + (Q$ veya $0.8W)$

(4) $1.2G + 1.0Q + 0.5(Q_r$ veya S veya $R) + 1.6W$

(5) $1.2G + 1.0Q + 0.2S + 1.0E$

(6) $0.9G + 1.6W$

(7) $0.9G + 1.0E$

(a) F akışkan madde basınç yükünün mevcut olması halinde, (1) – (4) numaralı birleşimlerde bu yük G yükünün katsayısı ile birleşime girecektir.

(b) H yatay kuvvetinin mevcut olması halinde, bu etki yük etkilerini artıracak yönde ise 1.6 katsayısı ile, yük etkilerini azaltacak yönde ise 0.9 katsayısı ile birleşime girecektir. H yatay kuvvetinin deprem etkisini içeren yük birleşimlerine katkısı, TBDY kapsamında değerlendirilecektir.

(c) T sıcaklık değişmesi ve/veya mesnet çökmesi etkilerinin mevcut olması halinde, bu etkiler yük etkilerini artıracak yönde ise 1.0 katsayısı ile tüm birleşimlere dahil edilecektir.

4.4 EKSENEL ÇEKME KUVVETİ ETKİSİ

Eksenel çekme kuvveti etkisindeki elemanların tasarımı bu bölümde belirtilen kurallara göre yapılacaktır.

4.4.1 Genel Esaslar

Eksenel çekme kuvveti etkisindeki elemanlar için, *tasarım eksenel çekme kuvveti dayanımı*, ϕT_n, **Bölüm 4.4.2**'ye ve **4.4.3**'e göre hesaplanacak dayanımların en küçüğü olarak alınacaktır. Burada, karakteristik eksenel çekme kuvveti dayanımı ifadeleri ve dayanım katsayıları **Bölüm 4.4.2**'de ve **4.4.3**'te verilmiştir.

Ayrıca, *tasarım eksenel çekme kuvveti dayanımı*, **Bölüm 8 – BİRLEŞİM TASARIMI**'na göre hesaplanan birleşim dayanımı ile sınırlandırılacaktır.

4.4.2 Kayıpsız Enkesitte Akma Sınır Durumu

Eksenel çekme kuvveti etkisindeki elemanlarda akma sınır durumu için *karakteristik eksenel çekme kuvveti dayanımı*, T_n, kayıpsız enkesit alanı kullanılarak Denk. (4.4.1) ile hesaplanacaktır.

$$T_n = F_y A_g \tag{4.4.1}$$

$\phi_y = 0.90$

A_g : Kayıpsız enkesit alanı

F_y : Çelik karakteristik akma gerilmesi

ϕ_y : Akma sınır durumunda dayanım katsayısı

4.4.3 Net Enkesitte Kırılma Sınır Durumu

Eksenel çekme kuvveti etkisindeki elemanlarında kırılma sınır durumu için *karakteristik eksenel çekme kuvveti dayanımı*, T_n, net enkesit alanı kullanılarak Denk. (4.4.2) ile hesaplanacaktır.

$$T_n = F_u A_n \tag{4.4.2}$$

$\phi_t = 0.75$

A_n : Net enkesit alanı

F_u : Çelik karakteristik çekme dayanımı

ϕ_t : Kırılma sınır durumunda dayanım katsayısı

4.5 EKSENEL BASINÇ KUVVETİ ETKİSİ

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki elemanların tasarımı bu bölümde belirtilen kurallara göre yapılacaktır.

4.5.1 Genel Esaslar

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki elemanlar için, *karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı*, P_n, uygun sınır durumlar dikkate alınarak **Bölüm 4.5.2 - 4.5.4'e** göre hesaplanacak dayanımların en küçüğü olarak alınacaktır. *Tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı,* $\phi_c P_n$, tüm basınç elemanlarında

$$\phi_c = 0.85$$

olmak üzere, bu bölümde tanımlanan kurallara uygun olarak hesaplanacaktır.

ϕ_c : Eksenel basınç kuvveti etkisi için dayanım katsayısı

Dışmerkez olarak yüklenen elemanlar, eğilme momenti ve eksenel basınç kuvvetinin ortak etkisi altında **Bölüm 4.8**'e göre boyutlandırılacaktır.

4.5.2 Akma ve Genel Burkulma Sınır Durumu

Akma ve genel burkulma (eğilmeli, burulmalı veya eğilmeli burulmalı) sınır durumu için *karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı*, P_{ne}, bu bölümde belirtilen yöntemlere göre hesaplanacaktır.

$$P_{ne} = A_g F_n \qquad (4.5.1)$$

A_g : Kayıpsız enkesit alanı

F_n : Burkulma gerilmesi

Burada burkulma gerilmesi F_n Denk. (4.5.2) veya Denk. (4.5.3) ile hesaplanacaktır.

$\lambda_c \leq 1.5$ *için*

$$F_n = \left(0.658^{\lambda_c{}^2}\right) F_y \tag{4.5.2}$$

$\lambda_c > 1.5\ için$

$$F_n = \left(\frac{0.877}{\lambda_c{}^2}\right) F_y \tag{4.5.3}$$

Burada λ_c Denk. (4.5.4) ile ifade edilmektedir.

$$\lambda_c = \sqrt{\left(\frac{F_y}{F_{cre}}\right)} \tag{4.5.4}$$

F_{cre} : Kritik elastik genel burkulma gerilmesi (Bölüm 4.10)

F_y : Çelik karakteristik akma gerilmesi

4.5.3 Akma ve Genel Burkulma ile Birlikte Yerel Burkulma Sınır Durumu

Akma ve genel burkulma (eğilmeli, burulmalı veya eğilmeli burulmalı) ile birlikte yerel burkulma sınır durumu için *karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı, P_{nl},* **Bölüm 4.5.3.1**'de verilen *etkin genişlik yöntemi* veya **Bölüm 4.5.3.2**'de verilen *doğrudan dayanım yöntemi* ile hesaplanacaktır.

4.5.3.1 Etkin genişlik yöntemi

Etkin genişlik yönteminde yerel burkulma için *karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı*, P_{nl}, Denk. (4.5.5) ile hesaplanacaktır.

$$P_{nl} = A_e F_n \leq P_{ne} \tag{4.5.5}$$

A_e : Etkin enkesit alanı

F_n : **Bölüm 4.5.2**'ye göre hesaplanan burkulma gerilmesi

P_{ne} : **Bölüm 4.5.2**'ye göre hesaplanan akma ve genel burkulma sınır durumu için karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı

Etkin enkesit alanı, A_e, enkesiti oluşturan her bir elemanın kalınlığı ile etkin genişliğinin çarpımlarının toplamı ile belirlenir. Tüm elemanların etkin genişliği*burkulma gerilmesi, F_n,* esas alınarak **Bölüm 4.9'a** göre hesaplanacaktır.

4.5.3.2 Doğrudan dayanım yöntemi

Doğrudan dayanım yönteminde yerel burkulma için *karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı*, P_{nl}, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$\lambda_l \leq 0.776\ için$

$$P_{nl} = P_{ne} \tag{4.5.6}$$

$\lambda_l > 0.776\ için$

$$P_{nl} = \left[1 - 0.15\left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}}\right)^{0.4}\right]\left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}}\right)^{0.4} P_{ne} \tag{4.5.7}$$

Burada λ_l Denk. (4.5.8) ile ifade edilmektedir.

$$\lambda_l = \sqrt{\left(\frac{P_{ne}}{P_{crl}}\right)} \tag{4.5.8}$$

P_{ne} : **Bölüm 4.5.2**'ye göre hesaplanan genel burkulma dayanımı

P_{crl} : Kritik elastik yerel burkulma yükü (Bölüm 4.10)

4.5.4 Distorsiyonel Burkulma Sınır Durumu

Distorsiyonel burkulma sınır durumu için *karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı*, P_{nd}, bu bölümde belirtilen yöntemlere göre hesaplanacaktır. Bu bölümdeki ifadeler, başlıkları kenar rijitleştiricilere sahip **I, Z, C, U, Omega** ve ara rijitleştiricilere sahip açık enkesitli elemanlar için geçerlidir.

$\lambda_d \leq 0.561\ için$

$$P_{nd} = P_y \tag{4.5.9}$$

$\lambda_d > 0.561\ için$

$$P_{nd} = \left[1 - 0.25\left(\frac{P_{crd}}{P_y}\right)^{0.6}\right]\left(\frac{P_{crd}}{P_y}\right)^{0.6} P_y \tag{4.5.10}$$

Burada

$$\lambda_d = \sqrt{\left(\frac{P_y}{P_{crd}}\right)} \tag{4.5.11}$$

$$P_y = F_y A_g \tag{4.5.12}$$

A_g : Kayıpsız enkesit alanı

F_y : Çelik karakteristik akma gerilmesi

P_{crd} : Kritik elastik distorsiyonel burkulma yükü (Bölüm 4.10)

4.6 EĞİLME MOMENTİ ETKİSİ

Bir asal eksen etrafında eğilmeye maruz elemanların, yalnızca bir asal eksen etrafında eğilmeye karşı tutulu (yanal burulmalı burkulmaya uğramayan) elemanların veya asal ekseni gövde ekseninden geçen ya da ona dik olan Z-kesitli elemanların tasarımı bu bölümde belirtilen kurallara göre yapılacaktır.

4.6.1 Genel Esaslar

Eğilme momenti etkisindeki elemanlar için *karakteristik eğilme momenti dayanımı*, M_n, uygun sınır durumlar dikkate alınarak **Bölüm 4.6.2 - 4.6.4'e** göre hesaplanacak dayanımların en küçüğü olarak alınacaktır. *Tasarım eğilme momenti dayanımı*, $\phi_b M_n$, tüm eğilme elemanlarında

$$\phi_b = 0.90$$

olmak üzere, bu bölümde tanımlanan kurallara uygun olarak hesaplanacaktır.

ϕ_b : Eğilme momenti etkisi için dayanım katsayısı

4.6.2 Akma ve Genel Burkulma Sınır Durumu

Akma ve genel burkulma (yanal burulmalı burkulma) sınır durumu için ilk akma anına karşı gelen *karakteristik elastik eğilme momenti dayanımı*, M_{ne}, Denk. (4.6.1) ile hesaplanacaktır.

$$M_{ne} = S_{fc} F_n \leq M_y \tag{4.6.1}$$

S_{fc} : En uç basınç lifi dikkate alınarak hesaplanan kayıpsız enkesitte elastik kesit modülü

M_{ne} : Akma ve yanal burulmalı burkulma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı

$$M_y = S_f F_y \tag{4.6.2}$$

F_y : Çelik karakteristik akma gerilmesi

S_f : Kayıpsız enkesitte elastik kesit modülü

M_y : Elastik eğilme momenti dayanımı

Burkulma gerilmesi, F_n, aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$F_{cre} \geq 2.78F_y$ *için*

$$F_n = F_y \tag{4.6.3}$$

$2.78F_y > F_{cre} > 0.56F_y$ *için*

$$F_n = \left(\frac{10}{9}\right) F_y \left(1 - \frac{10F_y}{36F_{cre}}\right) \tag{4.6.4}$$

$F_{cre} \leq 0.56F_y$ *için*

$$F_n = F_{cre} \tag{4.6.5}$$

F_{cre} : Kritik elastik yanal burulmalı burkulma gerilmesi (Bölüm 4.10)

4.6.3 Akma ve Genel Burkulma ile Birlikte Yerel Burkulma Sınır Durumu

Akma ve genel burkulma (yanal burulmalı burkulma) ile birlikte yerel burkulma sınır durumu için *karakteristik eğilme momenti dayanımı*, M_{nl}, bu bölümde belirtilen yöntemlere göre hesaplanacaktır. Yerel burkulma-genel burkulma veya yerel burkulma-akma etkileşiminden dolayı tasarım eğilme momenti dayanımında oluşacak olası dayanım azalması kontrol edilecektir. Bu dayanım azalması **Bölüm 4.6.3.1**'de verilen *etkin genişlik yöntemi* veya **Bölüm 4.6.3.2**'de verilen *doğrudan dayanım yöntemi* ile dikkate alınacaktır.

$$\phi_b = 0.90$$

4.6.3.1 Etkin genişlik yöntemi

Etkin genişlik yönteminde yerel burkulma için *karakteristik eğilme momenti dayanımı*, M_{nl}, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$M_{nl} = S_{ec}F_n \leq S_{et}F_y \tag{4.6.6}$$

F_n : **Bölüm 4.6.2**'ye göre hesaplanan burkulma gerilmesi

F_y : Çelik karakteristik akma gerilmesi

S_{ec} : En dış lifte basınç gerilmesinin F_n'e ulaşmasına karşı gelen etkin elastik kesit modülü

S_{et} : En dış lifte çekme gerilmesinin F_y'ye ulaşmasına karşı gelen etkin elastik kesit modülü

S_{ec} ve S_{et}, kesiti oluşturan her bir elemanın etkin genişliğinden belirlenmelidir. Tüm elemanların etkin genişliği, en uç lifteki basınç gerilmesinin F_n'e eşit olması durumu için belirlenir.

Etkin enkesit alanı, A_e, enkesiti oluşturan her bir elemanın kalınlığı ile etkin genişliğinin çarpımlarının toplamı ile belirlenir. Tüm elemanların etkin genişliği, *burkulma gerilmesi*, F_n, esas alınarak **Bölüm 4.9'a** göre hesaplanacaktır.

4.6.3.2 Doğrudan dayanım yöntemi

Doğrudan dayanım yönteminde yerel burkulma için *karakteristik eğilme momenti dayanımı*, M_{nl}, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$\lambda_l \leq 0.776\ için$

$$M_{nl} = M_{ne} \tag{4.6.7}$$

$\lambda_l > 0.776\ için$

$$M_{nl} = \left[1 - 0.15\left(\frac{M_{crl}}{\bar{M}_{ne}}\right)^{0.4}\right]\left(\frac{M_{crl}}{\bar{M}_{ne}}\right)^{0.4}\bar{M}_{ne} \tag{4.6.8}$$

Burada λ_l Denk. (4.6.9) ile ifade edilmektedir.

$$\lambda_l = \sqrt{\left(\frac{\bar{M}_{ne}}{M_{crl}}\right)} \tag{4.6.9}$$

$\bar{M}_{ne}$ = min[*Mne*; *My*]

M_{ne} : **Bölüm 4.6.2**'de verilen yanal burulmalı burkulma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı

M_y : **Bölüm 4.6.2**'ye göre hesaplanan elastik eğilme momenti dayanımı

M_{crl} : Kritik elastik yerel burkulma momenti (Bölüm 4.10)

4.6.4 Distorsiyonel Burkulma Sınır Durumu

Distorsiyonel burkulma sınır durumu için *karakteristik eğilme momenti dayanımı*, M_{nd}, bu bölümde belirtilen yöntemlere göre hesaplanacaktır. Bu bölümdeki ifadeler, başlıkları kenar rijitleştiricilere sahip **I, Z, C, U, Omega** ve ara rijitleştiricilere sahip açık enkesitli elemanlar için geçerlidir.

$\lambda_d \leq 0.673$ *için*

$$M_{nd} = M_y \tag{4.6.10}$$

$\lambda_d > 0.673$ *için*

$$M_{nd} = \left[1 - 0.22\left(\frac{M_{crd}}{M_y}\right)^{0.5}\right]\left(\frac{M_{crd}}{M_y}\right)^{0.5} M_y \tag{4.6.11}$$

Burada

$$\lambda_d = \sqrt{\left(\frac{M_y}{M_{crd}}\right)} \tag{4.6.12}$$

M_{crd} : Kritik elastik distorsiyonel burkulma momenti (Bölüm 4.10)

M_y : **Bölüm 4.6.2**'ye göre hesaplanan elastik eğilme momenti dayanımı

4.7 KESME KUVVETİ ETKİSİ

4.7.1 Genel Esaslar

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı, V_n, uygun sınır durumlar dikkate alınarak bu bölüme göre hesaplanacaktır.

4.7.2 Kayıpsız Gövde Enkesitine Sahip Elemanlarda Kesme Kuvveti Dayanımı

Kayıpsız gövde enkesitine sahip eğilme elemanlarında *karakteristik kesme kuvveti dayanımı*, V_n, bu bölümde verilen esaslarla hesaplanacaktır. *Tasarım kesme kuvveti dayanımı*, $\phi_v V_n$,

$$\phi_v = 0.90$$

olmak üzere, bu bölümde tanımlanan kurallara uygun olarak hesaplanacaktır.

4.7.2.1 Gövde Rijitlik Levhalarına Sahip Olmayan Eğilme Elemanları

Gövde rijitlik levhalarına sahip olmayan eğilme elemanlarında *karakteristik kesme kuvveti dayanımı* aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$\lambda_v \leq 0.587\ için$

$$V_n = V_y \tag{4.7.1}$$

$\lambda_v > 0.587\ için$

$$V_n = \left[1 - 0.25\left(\frac{V_{cr}}{V_y}\right)^{0.65}\right]\left(\frac{V_{cr}}{V_y}\right)^{0.65} V_y \tag{4.7.2}$$

Burada

$$\lambda_v = \sqrt{\frac{V_y}{V_{cr}}} \tag{4.7.3}$$

V_y : Akma sınır durumunda kesme kuvveti dayanımı

$$V_y = 0.6 A_w F_y \tag{4.7.4}$$

A_w : Gövde enkesit alanı

$$A_w = ht \tag{4.7.5}$$

h : Düz gövde yüksekliği

t : Gövde kalınlığı

F_y : Çelik karakteristik akma gerilmesi

V_{cr} : Sadece düz gövde parçası dikkate alınarak **Bölüm 4.7.2.3**'e göre hesaplanan elastik kesme burkulması dayanımı

4.7.2.2 Gövde Rijitlik Levhalarına Sahip Eğilme Elemanları

Gövde rijitlik levhalarına sahip olan eğilme elemanlarında aşağıda verilen koşulların sağlanması durumunda bu bölümde verilen *karakteristik kesme kuvveti dayanımı* kullanılacaktır.

(a) Gövde rijitlik levhaları gerekli dayanım ve rijitlik koşullarını sağlamalıdır,

(b) Gövde rijitlik levhaları ara mesafesi gövde yüksekliğinin iki katını aşmamalıdır,

(c) Gövde rijitlik levhaları ara mesafesinin gövde yüksekliğinden büyük olması durumunda başlıklar distorsiyonel burkulmaya karşı tutulmalıdır,

(d) Kesme açıklığının her iki ucu gövde yüksekliği boyunca gövde rijitlik levhalarına veya mesnet elemanına bağlanmalıdır.

$\lambda_v \leq 0.776\ için$

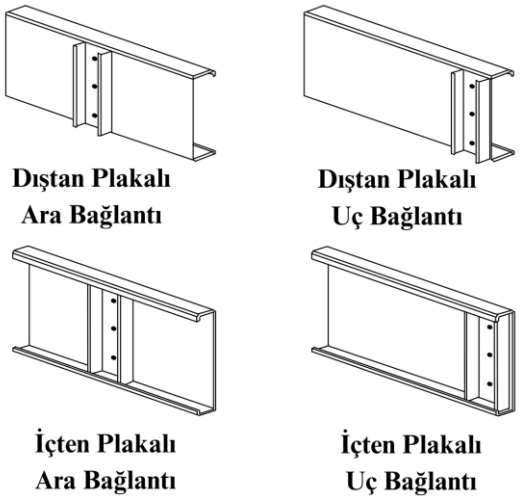
$$V_n = V_y \tag{4.7.6}$$

$\lambda_v > 0.776\ için$

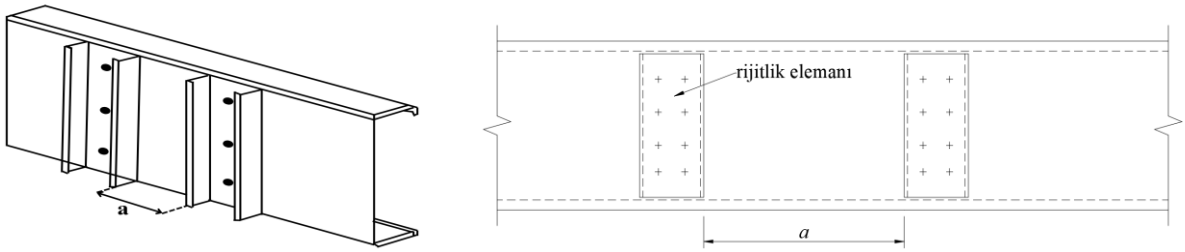
$$V_n = \left[1 - 0.15\left(\frac{V_{cr}}{V_y}\right)^{0.4}\right]\left(\frac{V_{cr}}{V_y}\right)^{0.4} V_y \tag{4.7.7}$$

Burada

V_{cr} : Sadece düz gövde parçası dikkate alınarak **Bölüm 4.7.2.3**'e göre hesaplanan elastik kesme burkulması dayanımı



Şekil 4.1: Farklı türde gövde enine rijitlik levhaları



Şekil 4.2: Gövde enine rijitlik elemanları arasındaki mesafe

4.7.2.3 Gövde Elastik Kesme Burkulması Dayanımı

Gövde elastik kesme burkulması dayanımı, V_{cr}, Denk. (4.7.8) ile hesaplanacaktır.

$$V_{cr} = A_w F_{cr} \tag{4.7.8}$$

A_w : Gövde enkesit alanı, Denk 4.7.5

F_{cr} : Kesmede elastik burkulma gerilmesi

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E k_v}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h}{t}\right)^2} \tag{4.7.9}$$

E : Çelik elastisite Modülü

k_v : (a) veya (b)'ye göre hesaplanan kesme burkulması katsayısı

(a) Rijitlik levhalarının kullanılmadığı durumlarda,

$$k_v = 5.34$$

(b) Yeterli dayanım ve rijitliğe sahip levhaların kullanıldığı durumlarda,

$a/h \leq 1$ *için*

$$k_v = 4 + \frac{5.34}{(a/h)^2} \tag{4.7.10}$$

$a/h > 1$ *için*

$$k_v = 5.34 + \frac{4.00}{(a/h)^2} \tag{4.7.11}$$

a : Gövde levhasını dikdörtgen panellere bölen düşey ara rijitlik levhaları/elemanları arasındaki net uzaklık.

μ : Poisson oranı (Çelik için 0.3)

4.8 BİLEŞİK ETKİLER

4.8.1 Eğilme Momenti ve Eksenel Kuvvet Etkisi

4.8.1.1 Eğilme Momenti ve Eksenel Çekme Kuvveti Etkisi

Geometrik eksenleri (x ve/veya y) etrafında eğilme etkisindeki elemanlarda *eğilme momenti ve eksenel çekme kuvveti etkileşimi* Denk. (4.8.1) ve Denk. (4.8.2) ile sınırlandırılacaktır.

$$\frac{\bar{M}_x}{M_{dxt}} + \frac{\bar{M}_y}{M_{dyt}} + \frac{\bar{T}}{T_d} \leq 1.0 \tag{4.8.1}$$

$$\frac{\bar{M}_x}{M_{dxt}} + \frac{\bar{M}_y}{M_{dyt}} - \frac{\bar{T}}{T_d} \leq 1.0 \tag{4.8.2}$$

Burada

$\bar{M}_x$, $\bar{M}_y$: Geometrik eksenler (x ve/veya y) etrafında gerekli eğilme momenti dayanımı

$\bar{T}$: Gerekli eksenel çekme kuvveti dayanımı

M_{dxt}, M_{dyt} : Çekme bölgesinde akma dikkate alınarak hesaplanan geometrik eksenler (x ve/veya y) etrafındaki tasarım eğilme momenti dayanımı

$$M_{dt} = \phi_b S_{ft} F_y \tag{4.8.3}$$

$\phi_b = 0.9$

F_y : Çelik karakteristik akma gerilmesi

M_{dx}, M_{dy} : Basınç bölgesinde burkulma dikkate alınarak hesaplanan geometrik eksenler (x ve/veya y) etrafındaki tasarım eğilme momenti dayanımı

S_{ft} : Kayıpsız enkesitte en dış lifte çekme durumuna karşı gelen elastik kesit modülü

T_d : Tasarım eksenel çekme kuvveti dayanımı

4.8.1.2 Eğilme Momenti ve Eksenel Basınç Kuvveti Etkisi

Geometrik eksenleri (x ve/veya y) etrafında eğilme etkisindeki elemanlarda *eğilme momenti ve eksenel basınç kuvveti etkileşimi* Denk. (4.8.4) ile sınırlandırılacaktır.

$$\frac{\bar{P}}{P_d} + \frac{\bar{M}_x}{M_{dx}} + \frac{\bar{M}_y}{M_{dy}} \leq 1.0 \tag{4.8.4}$$

Tek simetri eksenli rijitleştirilmemiş korniyer kesitlerinin F_y gerilme düzeyinde yerel burkulmaya maruz kalmaması durumunda, yalnızca $\bar{M}_y$ gerekli eğilme momenti dayanımı olarak alınacaktır. Ancak, diğer korniyer kesitleri veya tek simetri eksenli rijitleştirilmemiş korniyerler F_y gerilme düzeyinde yerel burkulmaya maruz kalıyorsa, $\bar{M}_y$ yalnızca artırılmış yükler nedeniyle oluşan gerekli eğilme momenti dayanımı veya artırılmış yükler nedeniyle oluşan gerekli eğilme momenti dayanımı + $\bar{P}L/1000$ olarak alınacaktır. Bu iki değerden daha düşük olan kullanılacaktır.

$\bar{P}$: Gerekli eksenel basınç kuvveti dayanımı,

P_d : Tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı,

$\bar{M}_x$, $\bar{M}_y$: Geometrik eksenler (x ve/veya y) etrafında gerekli eğilme momenti dayanımı.

4.8.2 Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti Etkisi

Eğilme momenti ve kesme kuvveti etkisindeki elemanlarda gerekli eğilme momenti dayanımı, $\bar{M}$, ve gerekli kesme kuvveti dayanımı, $\bar{V}$, sırasıyla M_d ve V_d değerlerini aşmamalıdır.

Kesme rijitleştiricileri bulunmayan kirişlerde ayrıca *eğilme momenti ve kesme kuvveti etkileşimi* Denk. (4.8.5) ile sınırlandırılacaktır

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{M_{dlo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{V_d}\right)^2} \leq 1.0 \qquad (4.8.5)$$

Kesme rijitleştiricileri bulunan kirişlerde $\bar{M}/M_{dlo} > 0.5$ ve $\bar{V}/V_d > 0.7$ olması durumunda ayrıca *eğilme momenti ve kesme kuvveti etkileşimi* Denk. (4.8.6) ile sınırlandırılacaktır.

$$0.6\left(\frac{\bar{M}}{M_{dlo}}\right) + \left(\frac{\bar{V}}{V_d}\right) \leq 1.3 \qquad (4.8.6)$$

$\bar{M}$: Gerekli eğilme momenti dayanımı,

$\bar{V}$: Gerekli kesme kuvveti dayanımı,

M_d : **Bölüm 4.6**'ya göre hesaplanan tasarım eğilme momenti dayanımı,

V_d : Tasarım kesme kuvveti dayanımı,

M_{dlo} : Tasarım eğilme momenti dayanımı, aşağıdaki şekilde belirlenmelidir

(a) Gövde rijitlik levhaları bulunmayan elemanlarda $F_n = F_y$ ve $M_{ne} = M_y$ dikkate alınarak **Bölüm 4.6.3**'e göre hesaplanan tasarım eğilme momenti dayanımı,

(b) Gövde rijitlik levhaları bulunan elemanlarda (1) ve (2) ile hesaplanan dayanımların küçüğü,

(1) $F_n = F_y$ ve $M_{ne} = M_y$ dikkate alınarak **Bölüm 4.6.3**'e göre hesaplanan tasarım eğilme momenti dayanımı

(2) **Bölüm 4.6.4**'e göre hesaplanan tasarım eğilme momenti dayanımı

F_n : Kritik eğilmeli burkulma gerilmesi,

F_y : Çelik karakteristik akma gerilmesi,

M_{ne} : **Bölüm 4.6.2**'de verilen karakteristik eğilme momenti dayanımı,

M_y : **Bölüm 4.6.2**'ye göre hesaplanan elastik eğilme momenti dayanımı.

4.8.3 Eğilme Momenti ve Gövdede Buruşma Etkisi

Eğilme momenti ve gövdede buruşma etkisindeki takviyesiz düz gövde enkesitine sahip elemanlarda gerekli eğilme momenti dayanımı, $\bar{M}$, ve tekil yük veya gerekli kesme mesnet tepkisi dayanımı, $\bar{P}$, sırasıyla $\bar{M} \leq M_{dlo}$ ve $\bar{P} \leq P_d$ koşullarını sağlamalıdır.

4.9 ELEMANLARIN ETKİN GENİŞLİKLERİ

Bu bölüm basınç etkisine maruz hafif çelik enkesit parçalarının etkin genişliklerini aşağıdaki üç durum için ele almaktadır.

4.9.1 Rijitleştirilmiş enkesit parçalarının etkin genişliği

4.9.2 Rijitleştirilmemiş enkesit parçalarının etkin genişliği

4.9.3 Kenar rijitleştiricisine (tırnak) sahip enkesit parçalarının etkin genişliği

4.9.1 Rijitleştirilmiş Enkesit Parçalarının Etkin Genişliği

4.9.1.1 Düzgün Basınç Etkisindeki Rijitleştirilmiş Enkesit Parçalarının Etkin Genişliği

Dayanım hesaplamalarında, *etkin genişlik*, b, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

$$b = \rho w \tag{4.9.1}$$

Burada;

w : Düz genişlik (**Şekil 4.3**)

ρ : Yerel azaltma katsayısı

$\lambda \leq 0.673$ için

$$\rho = 1$$

$\lambda > 0.673$ için

$$\rho = \frac{\left(1 - \frac{0.22}{\lambda}\right)}{\lambda} \tag{4.9.2}$$

λ : Narinlik katsayısı

$$\lambda = \sqrt{\frac{f}{F_{crl}}} \tag{4.9.3}$$

f : Enkesit parçasındaki basınç gerilmesi, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

Eğilme elemanları için basınç gerilmesi, f, en dış basınç lifinde F_n veya en dış çekme lifinde F_y dikkate alınarak hesaplanır.

Basınç elemanları için basınç gerilmesi, f, **Bölüm 4.5**'e göre hesaplanan F_n gerilmesine eşit olarak alınacaktır.

F_{crl} : Yerel elastik burkulma gerilmesi

$$F_{crl} = k\frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)}\left(\frac{t}{w}\right)^2 \tag{4.9.4}$$

Burada;

k : Plak burkulma katsayısı

= 4 (Her iki uzun kenarından rijitleştirilmiş enkesit parçaları için)

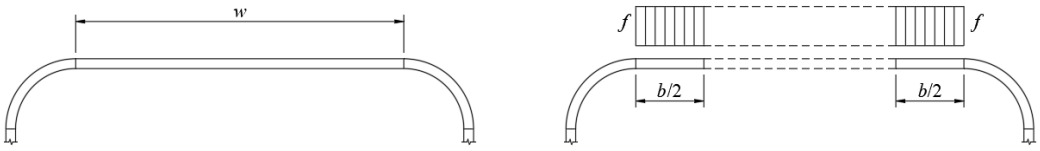
E : Çelik elastisite Modülü

t : Düzgün basınç etkisindeki rijitleştirilmiş enkesit parçasının et kalınlığı

Kullanılabilirlik sınır durumlarında etkin genişlik, b_d, güvenli tarafta kalan yaklaşımla dayanım hesaplamalarındaki f yerine f_d dikkate alınarak hesaplanacaktır.

$$b_d = \rho w \tag{4.9.5}$$

f_d : Dikkate alınan elemanda hesaplanan basınç gerilmesi



Şekil 4.3: Düzgün basınç gerilmesi etkisindeki rijitleştirilmiş enkesit parçası

4.9.1.2 Değişken Gerilme Etkisindeki Rijitleştirilmiş Enkesit Parçalarının Etkin Genişliği

Bu bölümde aşağıdaki tanımlamalar kullanılacaktır.

b_1 : **Şekil 4.4**'de tanımlanan etkin genişlik

b_2 : **Şekil 4.4**'de tanımlanan etkin genişlik

b_e : f yerine f_1 dikkate alınarak 4.9.1.1'e göre hesaplanan etkin genişlik

b_o : **Şekil 4.4**'de tanımlanan basınç başlığının dıştan dışa genişliği

f_1, f_2 : Etkin kesit dikkate alınarak hesaplanan gerilmeler (Şekil **Şekil 4.4**). f_1 ve f_2 nin basınç olması durumunda $f_1 \geq f_2$

h_o : **Şekil 4.4**'de tanımlanan gövdenin dıştan dışa yüksekliği

k : Plak burkulma katsayısı

ψ : $|f_2/f_1|$ (mutlak değer) (4.9.6)

Dayanım hesaplamalarında, *etkin genişlik*, b, (1) ve (2) durumları dikkate alınarak hesaplanacaktır,

(1) Değişken gerilme etkisindeki gövde enkesit parçalarında etkin genişlikler ve plak burkulma katsayısı, **Şekil 4.4(a)**'da gösterildiği üzere f_1 basınç, f_2 çekme gerilmesi olarak dikkate alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır,

$$k = 4 + 2(1 + \psi)^3 + 2(1 + \psi) \tag{4.9.7}$$

$h_o/b_o \leq 4 \quad için$

$$b_1 = \frac{b_e}{(3 + \psi)} \tag{4.9.8}$$

$$\psi > 0.236 \quad için \quad b_2 = \frac{b_e}{2} \tag{4.9.9}$$

$$\psi \leq 0.236 \quad için \quad b_2 = b_e - b_1 \tag{4.9.10}$$

Ayrıca b_1+b_2 etkin genişliğe göre hesaplanmış gövde enkesit parçası basınç bölgesi genişliğini aşmamalıdır.

$h_o/b_o > 4 \quad için$

$$b_1 = \frac{b_e}{(3 + \psi)} \tag{4.9.11}$$

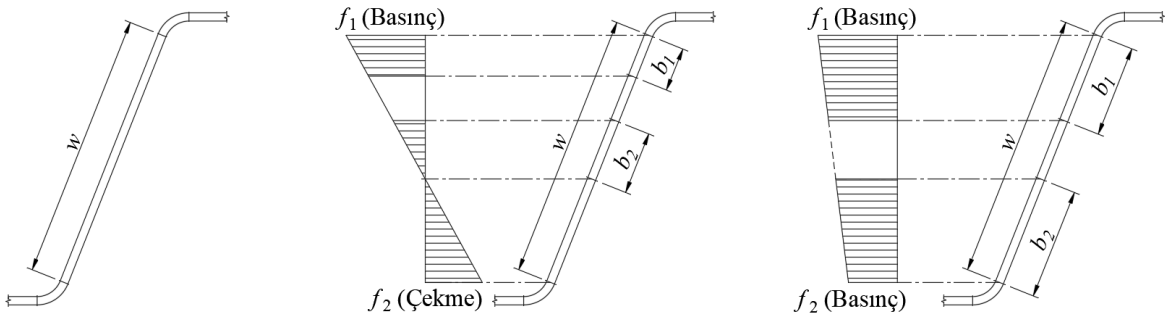
$$b_2 = \frac{b_e}{(1 + \psi)} - b_1 \tag{4.9.12}$$

(2) Değişken gerilme etkisindeki diğer rijitleştirilmiş enkesit parçalarında etkin genişlikler ve plak burkulma katsayısı, **Şekil 4.4(b)**'de gösterildiği üzere. f_1 ve f_2 basınç gerilmesi olarak dikkate alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır,

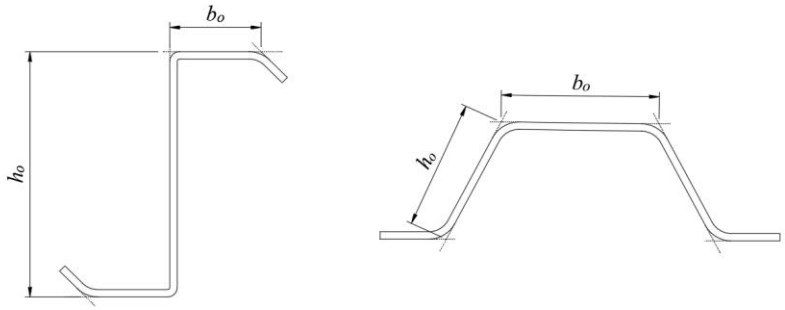
$$k = 4 + 2(1 - \psi)^3 + 2(1 - \psi) \tag{4.9.13}$$

$$b_1 = \frac{b_e}{(3 - \psi)} \tag{4.9.14}$$

$$b_2 = b_e - b_1 \tag{4.9.15}$$



Şekil 4.4: Değişken gerilme altındaki gövde ve diğer rijitleştirilmiş enkesit parçaları



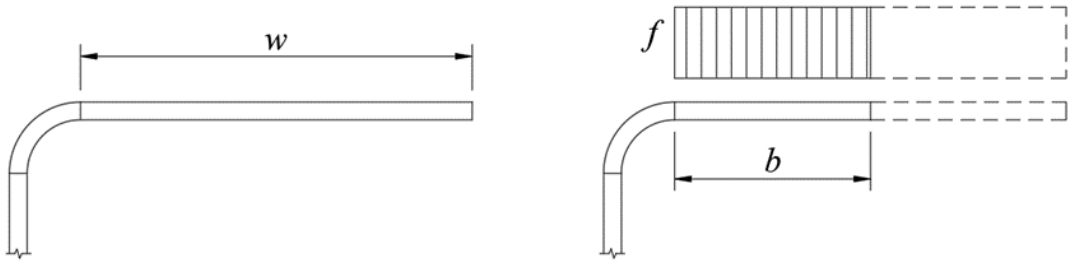
Şekil 4.5: Değişken gerilme altındaki gövde ve diğer rijitleştirilmiş enkesit parçalarının dıştan dışa genişlikleri

Kullanılabilirlik hesaplamalarında etkin genişlik f_1 ve f_2 yerine f_{d1} ve f_{d2} kullanılarak hesaplanacaktır, burada f_{d1} ve f_{d2}, kullanılabilirlik hesaplamalarında dikkate alınan yük etkisi altında hesaplanan f_1 ve f_2 gerilmeleridir.

4.9.2 Rijitleştirilmemiş Enkesit Parçalarının Etkin Genişliği

4.9.2.1 Düzgün Basınç Etkisindeki Rijitleştirilmemiş Enkesit Parçalarının Etkin Genişliği

Dayanım hesaplamalarında, *etkin genişlik, b,* **Bölüm 4.9.1.1** uyarınca hesaplanacaktır. Ancak burkulma katsayısı, *k*, 0.43 olarak dikkate alınacaktır ve enkesit parçasının karakteristik genişliği **Şekil 4.6** uyarınca dikkate alınacaktır.



Şekil 4.6: Düzgün basınç etkisindeki rijitleştirilmemiş enkesit parçaları

Kullanılabilirlik sınır durumlarında etkin genişlik, b_d, Bölüm 4.9.1.1 uyarınca hesaplanacaktır. Ancak burkulma katsayısı, *k,* 0.43 olarak dikkate alınacaktır ve *f* yerine f_d kullanılacaktır.

4.9.2.2 Değişken Gerilme Etkisindeki Rijitleştirilmemiş Enkesit Parçalarının ve Kenar Rijitleştiricilerin Etkin Genişliği

Bu bölümde aşağıdaki tanımlamalar kullanılacaktır.

b :Desteklenen kenardan itibaren ölçülen etkin genişlik. **Bölüm 4.9.1** uyarınca hesaplanacaktır. Ancak *f* etkin enkesit parçasındaki maksimum basınç gerilmesi olarak dikkate alınacak, *k* ve ρ bu bölüm uyarınca hesaplanacak ve dikkate alınacaktır.

b_o : Rijitleştirilmemiş enkesit parçasının dıştan dışa genişliği. (**Şekil 4.9**)

f_1, f_2 : Hesaplanan gerilmeler (**Şekil 4.7**, **Şekil 4.8** ve **Şekil 4.9**). f_1 ve f_2'nin basınç olması durumunda $f_1 \geq f_2$

h_o : Rijitleştirilmemiş enkesit parçasının dıştan dışa genişliği (**Şekil 4.9**)

k : Plak burkulma katsayısı

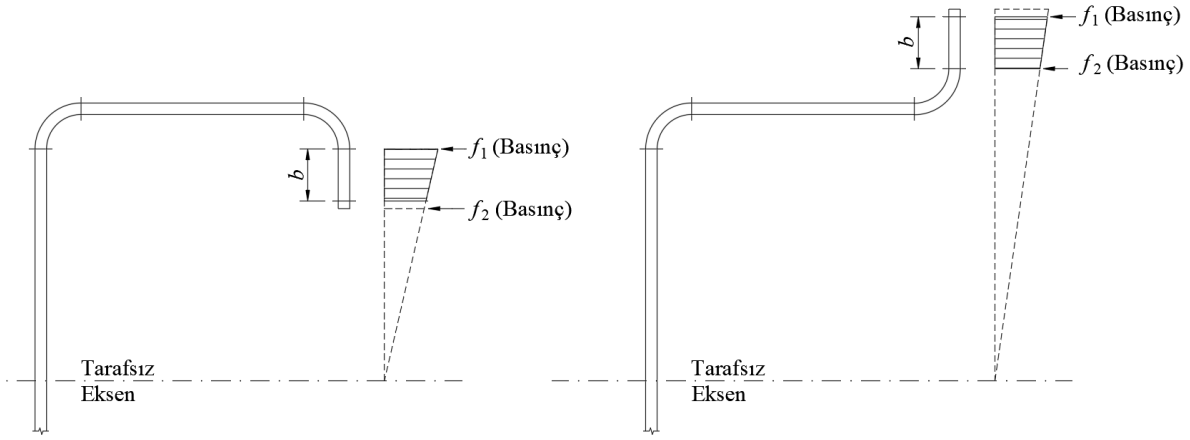
t : Et kalınlığı

w : Rijitleştirilmemiş enkesit parçasının düz genişliği, $w/t \leq 60$

ψ : $|f_2/f_1|$ (mutlak değer)

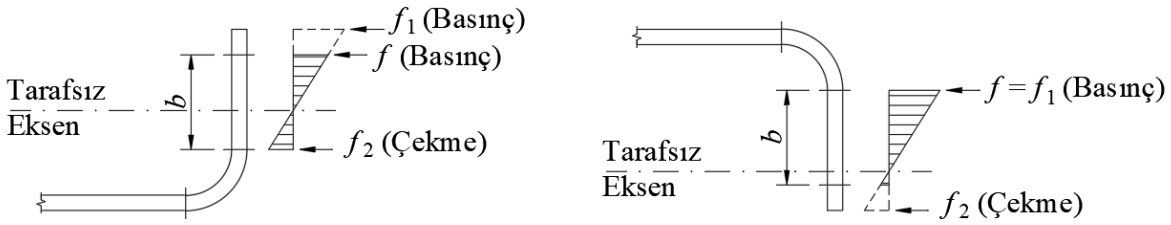
λ : **Bölüm 4.9.1**'de tanımlanan narinlik katsayısı, f etkin enkesit parçasındaki maksimum basınç gerilmesi olarak dikkate alınacaktır

ρ : Azaltma katsayısı, bu bölümde tanımlanmayan durumlar için **Bölüm 4.9.1**



(a) İç bükey kenar rijitleştirici (b) Dış bükey kenar rijitleştirici

Şekil 4.7: Değişken gerilme etkisindeki rijitleştirilmemiş enkesit parçaları



(a) Basınç etkisindeki desteklenmeyen kenar (b) basınç etkisindeki desteklenen kenar

Şekil 4.8: Uzun doğrultudaki bir kenarı çekme diğer kenarı basınç etkisinde değişken gerilme altındaki rijitleştirilmemiş enkesit parçaları

Dayanım hesaplamalarında, *etkin genişlik, b,* **Bölüm 4.9.1.1** uyarınca hesaplanacaktır. Ancak f etkin enkesit parçasındaki maksimum basınç gerilmesi olarak dikkate alınacaktır, plak burkulma katsayısı, k, aksi belirtilmedikçe bu bölüm uyarınca belirlenecektir. f_1 basınç, f_2 çekme durumunda **Bölüm 4.9.1.1**'deki ρ bu bölüm uyarınca belirlenecektir.

(1) f_1 ve f_2 gerilmelerinin her ikisinin de basınç olması durumunda (**Şekil 4.7**), plak burkulma katsayısı, *k*, Denk. (4.9.16) veya Denk. (4.9.17) ile hesaplanacaktır:

Gerilmenin desteklenmeyen kenara doğru azalması durumunda **(Şekil 4.7(a))**:

$$k = \frac{0.578}{\psi + 0.34} \tag{4.9.16}$$

Gerilmenin desteklenmeyen kenara doğru artması durumunda **(Şekil 4.7(b))**:

$$k = 0.57 - 0.21\psi + 0.07\psi^2 \tag{4.9.17}$$

(2) f_1 gerilmesinin basınç, f_2 gerilmesinin çekme olması durumunda **(Şekil 4.8)**, plak burkulma katsayısı, *k*, ve azaltma katsayısı, ρ, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

Basınç gerilmesinin desteklenmeyen kenarda olması durumunda **(Şekil 4.8(a))**:

$\lambda \leq 0.673(1 + \psi)$ için

$$\rho = 1$$

$\lambda > 0.673(1 + \psi)$

$$\rho = (1 + \psi)\frac{\left(1 - \frac{0.22(1 + \psi)}{\lambda}\right)}{\lambda} \tag{4.9.18}$$

$$k = 0.57 + 0.21\psi + 0.07\psi^2 \tag{4.9.19}$$

Basınç gerilmesinin desteklenen kenarda olması durumunda **(Şekil 4.8(b))**:

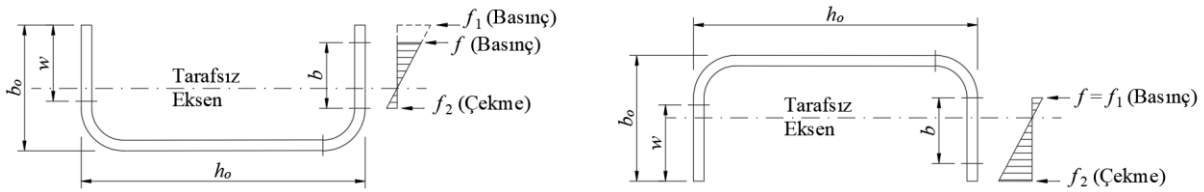
$\psi < 1 \quad için$

$$\begin{gathered} \lambda \leq 0.673 \ \rightarrow \rho = 1 \\ \lambda > 0.673 \rightarrow \rho = (1 - \psi)\frac{\left(1 - \frac{0.22}{\lambda}\right)}{\lambda} + \psi \end{gathered} \tag{4.9.20}$$

$$k = 1.7 + 5\psi + 17.1\psi^2 \tag{4.9.21}$$

$\psi \geq 1 \quad için$

$$\rho = 1$$



(a) Basınç etkisindeki desteklenmeyen kenar (b) basınç etkisindeki desteklenen kenar

Şekil 4.9: Değişken gerilme etkisindeki rijitleştirilmemiş enkesit parçaları

Rijitleştirilmemiş U-Enkesitli elemanların rijitleştirilmemiş enkesit parçalarında etkin genişlik, *b*, alternatif olarak aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

Desteklenmeyen kenarda basınç, desteklenen kenarda çekme olması durumunda **(Şekil 4.9(a))**;

$\lambda \leq 0.856 \quad için$

$$b = w \tag{4.9.22}$$

$\lambda > 0.856 \quad için$

$$b = \rho w \tag{4.9.23}$$

Burada

$$\rho = 0.925/\sqrt{\lambda} \tag{4.9.24}$$

$$k = 0.145(b_o/h_o) + 1.256 \tag{4.9.25}$$

$$0.1 \leq (b_o/h_o) \leq 1.0$$

Desteklenen kenarda basınç, desteklenmeyen kenarda çekme olması durumunda **(Şekil 4.9(b))** etkin genişlik, *b*, **Bölüm 4.9.1.2**'ye göre hesaplanacaktır.

Kullanılabilirlik sınır durumlarında etkin genişlik, b_d, hesabında f_1 *ve* f_2 gerilmelerinin yerine f_{d1} *ve* f_{d2} gerilmeleri kullanılacaktır. f_{d1} *ve* f_{d2} gerilmeleri kullanılabilirlik sınır durumu hesaplamalarında dikkate alınan yükleme altında **Şekil 4.7**, **Şekil 4.8** ve **Şekil 4.9**'de hesaplanan f_1 *ve* f_2 gerilmeleridir.

4.9.3 Kenar Rijitleştiricilere (Tırnak) Sahip Enkesit Parçalarının Etkin Genişliği

Dayanım hesaplamalarında,

$w/t \leq 0.328S$ için

$$I_a = 0 \quad (Kenar\ rijitleştiriciye\ gerek\ yoktur)$$

$$b = w \tag{4.9.26}$$

$$b_1 = b_2 = \frac{w}{2} \quad (\textbf{Şekil 4.10}) \tag{4.9.27}$$

$$d_s = d_s' \tag{4.9.28}$$

$w/t > 0.328S$ için

$$b_1 = \left(\frac{b}{2}\right) R_I \quad (\textbf{Şekil 4.10}) \tag{4.9.29}$$

$$b_2 = b - b_1 \quad (\textbf{Şekil 4.10}) \tag{4.9.30}$$

$$d_s = d_s'\, R_I \tag{4.9.31}$$

Burada

$$S = 1.28\sqrt{\frac{E}{f}} \tag{4.9.32}$$

E : Çelik elastisite modülü

f : Basınç başlığındaki gerilme

w : Başlık parçasının düz genişliği (**Şekil 4.10**)

t : Et kalınlığı

I_a : Her bir enkesit parçasının rijitleştirilmiş bir eleman gibi davranmasını sağlayacak şekilde rijitlik elemanının yeterli atalet momenti

$$I_a = 399t^4\left(\frac{\frac{w}{t}}{S} - 0.328\right)^3 \leq\ t^4\left(115\frac{\frac{w}{t}}{S} + 5\right) \tag{4.9.33}$$

b : Etkin genişlik

b_1, b_2 : Etkin genişlik parçaları **(Şekil 4.10)**

d_s : Rijitleştiricinin azaltılmış etkin genişliği **(Şekil 4.10)**

d'_s : **Bölüm 4.9.2**'ye göre hesaplanan, kenar rijitleştiricinin etkin genişliği (**Şekil 4.10**)

$$R_I = \frac{I_s}{I_a} \leq 1 \tag{4.9.34}$$

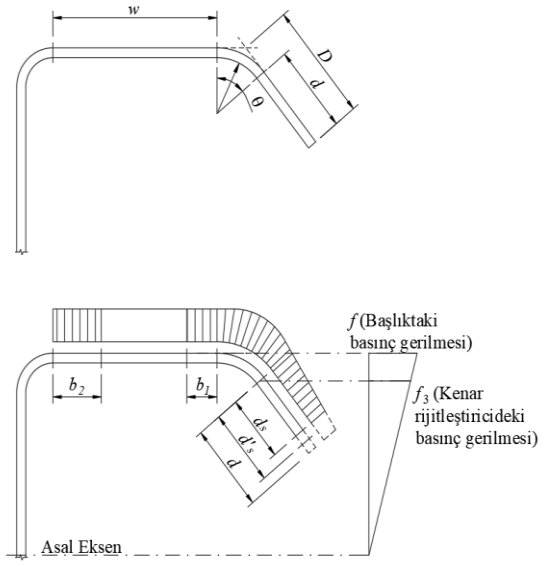
I_s : Rijitlik elemanının esas elemana paralel asal ekseni etrafındaki azaltılmamış atalet momenti.

$$I_s = \frac{(d^3 t \sin^2\theta\ )}{12} \tag{4.9.35}$$

Tablo 4.1: Kenar rijitleştiriciye sahip elemanlarda burkulma katsayısı, k

Basit kenar rijitleştirici ($140° \geq \theta \geq 40°$)	
$D/w \leq 0.25$	$0.25 < D/w \leq 0.8$
$3.57(R_I)^n + 0.43 \leq 4$	$(4.82 - 5D/w)\ (R_I)^n + 0.43 \leq 4$

$$n = \left(0.582 - \frac{\frac{w}{t}}{4S}\right) \geq \frac{1}{3} \tag{4.9.36}$$



Şekil 4.10: Kenar rijitleştiriciye sahip elemanlar

Kullanılabilirlik sınır durumlarında etkin genişlik, b_d, hesabında f gerilmesi yerine f_d gerilmesi kullanılacaktır.

4.10 ELEMANLARIN ELASTİK BURKULMA ANALİZİ

Eleman dayanımlarının belirlenmesinde kullanılan elastik burkulma gerilmeleri (kuvvetleri veya momentleri) uygun sınır durumlar dikkate alınarak bu bölüme göre hesaplanacaktır.

Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik elemanlarda, genel, yerel ve distorsiyonel elastik burkulma sınır durumları bulunmaktadır. Genel burkulma sınır durumu, eksenel yük etkisindeki elemanlar için eğilmeli, burulmalı veya eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumunu; eğilme momenti etkisindeki elemanlar için ise yanal burulmalı-burkulma sınır durumu içermektedir. Bu bölümde, tasarım sürecinde kullanılmak üzere söz konusu üç burkulma sınır durumu için elastik burkulma gerilmelerine ait ifadeler verilmektedir.

4.10.1 Genel Hükümler

Bölüm 4.5 - 4.8'de verilen tasarım esaslarında kullanılmak üzere gerekli olan elastik burkulma gerilmeleri veya elastik burkulma gerilmesi bileşenleri (kuvvet veya momentler), **Bölüm 4.10.2** uyarınca *Nümerik Çözümler* veya **Bölüm 4.10.3** uyarınca *Analitik Çözümler* kullanılarak hesaplanacaktır.

Basınç kuvveti etkisinde, genel, yerel ve distorsiyonel burkulma sınır durumu için kuvvet ve gerilme dönüşümü, Yönetmelikte açıkça etkin alan kullanılması gerektirmedikçe, kayıpsız alan esas alınarak hesaplanmalıdır.

$$P_{cr} = A_g F_{cr} \tag{4.10.1}$$

Bu denklemde,

P_{cr} : P_{cre}– genel (eğilme, burulma veya eğilmeli burulmalı) burkulma, $P_{crℓ}$– yerel burkulma veya P_{crd}– distorsiyonel burkulma sınır durumu için elastik burkulma kuvveti dayanımı (basınç etkisinde)

F_{cr} : F_{cre}– genel burkulma, $F_{crℓ}$– yerel burkulma veya F_{crd}– distorsiyonel burkulma için elastik burkulma gerilmesi (basınç etkisinde)

A_g : Kayıpsız enkesit alanı

Eğilme momenti etkisinde, genel, yerel ve distorsiyonel burkulma sınır durumu için moment ve gerilme dönüşümünde, Yönetmelikte açıkça etkin elastik kesit modülü kullanılması

gerektirmedikçe en dışta yer alan basınç lifine göre hesaplanan kayıpsız elastik kesit modülü esas alınarak hesaplanmalıdır.

$$M_{cr} = S_{fc} F_{cr} \tag{4.10.2}$$

Burada:

M_{cr} : M_{cre}– genel (yanal burulmalı) burkulma, $M_{crℓ}$– yerel burkulma veya M_{crd}– distorsiyonel burkulma sınır durumu için burkulma momenti dayanımı

F_{cr} : F_{cre}– genel burkulma, $F_{crℓ}$– yerel burkulma veya F_{crd} – distorsiyonel burkulma sınır durumu için en uç basınç lifi dikkate alınarak hesaplanan elastik burkulma gerilmesi

S_{fc} : En uç basınç lifi dikkate alınarak hesaplanan kayıpsız enkesitte elastik kesit modülü

Kesme kuvveti etkisinde, burkulma kuvveti ile gerilme arasındaki dönüşüm, Yönetmelikte açıkça etkin gövde alanı (net veya etkin alan) kullanılması gerektirmedikçe, kayıpsız gövde alanı kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$V_{cr} = A_w F_{cr} \tag{4.10.3}$$

Burada:

V_{cr} : Elastik kesme burkulması dayanımı

F_{cr} : Kesmede elastik burkulma gerilmesi

A_w : Kayıpsız gövde alanı

4.10.2 Nümerik Çözümler

Burkulma sınır durum hesaplamaları için uygun bir nümerik elastik burkulma çözümü kullanılacaktır. Bu çözüm yöntemleri arasında;

(a) Kesitin şeritlerle ayrıştırıldığı sonlu şerit yöntemi,

(b) Levha veya kabuk sonlu elemanlar ile kesitin ayrıştırıldığı sonlu elemanlar yöntemi,

(c) Genelleştirilmiş kiriş teorisi ile yerel ve distorsiyonel burkulma için uygun kesit modlarının eklendiği analizler yer alır.

Yerel burkulma için, plak eğilmesinin ve kesit şekil değiştirmesinin elastik burkulma üzerindeki etkisi dikkate alınmalıdır.

Distorsiyonel burkulma için, plak eğilmesi ve kesit şekil değiştirmesi ile birlikte, boyuna şekil değiştirmelerden kaynaklanan bozulmaların etkisi dikkate alınmalıdır.

Kesme burkulması (yerel veya distorsiyonel burkulmanın özel bir durumu ya da her ikisinin birleşimi), levhada kesme ve boyuna gerilmelerinin, plak eğilmesi ve kesit şekil değiştirmesi üzerindeki etkisi dikkate alınmalıdır.

Genel burkulma için, eğilme ve burulma etkileşimi (eğilmeli burulmalı burkulma veya yanal burulmalı burkulma), özellikle çift simetrik olmayan kesitler için dikkate alınmalıdır.

4.10.3 Analitik Çözümler

Bu bölümde açıklanan analitik çözümler, verilen sınır koşulları ve kesit geometrileri için kullanılmasına izin verilen çözümlerdir. Farklı sınır koşulları veya kesit geometrileri için, **Bölüm 4.10.2**'de belirtilen sayısal analiz yöntemleri kullanılmalıdır.

4.10.3.1 Genel Burkulma

Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik yapı elemanları için genel burkulma kuvvetleri ve momentleri, bu bölüme uygun olarak analitik şekilde hesaplanabilir. Bu bölüm ve alt bölümlerinde kullanılan değişkenler aşağıda belirtilmiştir:

P_{ex} : x-ekseni etrafında eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik eksenel basınç kuvveti dayanımı

$$P_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2} \tag{4.10.4}$$

P_{ey} : y-ekseni etrafında eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik eksenel basınç kuvveti dayanımı

$$P_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{\left(K_y L_y\right)^2} \tag{4.10.5}$$

P_{ez} : Burulmalı burkulma sınır durumunda elastik eksenel basınç kuvveti dayanımı

$$P_{ez} = \frac{1}{i_o^2}\left(GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2}\right) \quad (4.10.6)$$

β : x-ekseni etrafında eğilmeli-burulmalı burkulma için katsayı

$$\beta = 1 - \left(\frac{x_o}{i_o}\right)^2 \left(\frac{K_z L_z}{K_x L_x}\right)^2 \quad (4.10.7)$$

γ : y-ekseni etrafında eğilmeli-burulmalı burkulma için katsayı

$$\gamma = 1 - \left(\frac{y_o}{i_o}\right)^2 \left(\frac{K_z L_z}{K_y L_y}\right)^2 \quad (4.10.8)$$

j : Asimetri katsayısı

$$j = \frac{1}{2I_y}\left(\int_A x^3 dA + \int_A xy^2 dA\right) - x_o \quad (4.10.9)$$

E : Çelik elastisite modülü

G : Çelik kayma modülü

A : Kayıpsız enkesit alanı

C_w : Çarpılma katsayısı

I_x : x-eksenine göre atalet momenti

I_y : y-eksenine göre atalet momenti

J : Burulma sabiti

K_x : x-ekseni etrafında eğilmeli burkulma durumunda burkulma boyu katsayısı

K_y : y-ekseni etrafında eğilmeli burkulma durumunda burkulma boyu katsayısı

K_z : Burulmalı burkulma durumunda burkulma boyu katsayısı

L_x : x-ekseni etrafında burkulma durumunda tutulu olmayan boy

L_y : y-ekseni etrafında burkulma durumunda tutulu olmayan boy

L_z : Burulmalı burkulma durumunda tutulu olmayan boy

x_o, y_o : Kayma merkezinin ağırlık merkezine göre koordinatları

$\overline{i_o}$: Kayma merkezine göre hesaplanan polar atalet yarıçapı.

$$i_o = \sqrt{\frac{I_x}{A} + \frac{I_y}{A} + x_o^2 + y_o^2} \tag{4.10.10}$$

C_b : Moment düzeltme katsayısı (**ÇYTHYE Bölüm 9.1** uyarınca belirlenecektir)

4.10.3.1.1 Eksenel Basınç Kuvveti Etkisindeki Elemanlarda Genel Burkulma (Fcre, Pcre)

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki elemanlarda *elastik genel burkulma gerilmesi* aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$F_{cre} = \frac{P_{cre}}{A_g} \tag{4.10.11}$$

P_{cre} : **Bölüm 4.10.3.1.1.1 - 4.10.3.1.1.4**'e göre uygun sınır durumları dikkate alınarak hesaplanan genel burkulma durumunda elastik burkulma kuvveti dayanımlarının en küçüğü.

A_g : Kayıpsız enkesit alanı

4.10.3.1.1.1 Eğilmeli burkulma sınır durumu

Çift simetri eksenli enkesitler, kapalı enkesitler veya burulmalı ya da eğilmeli-burulmalı burkulmaya maruz kalmayan diğer enkesitler için, *elastik eğilme burkulma dayanımı*, P_{cre}, aşağıd aki şekilde hesaplanacaktır.

$$P_{cre} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \tag{4.10.12}$$

P_{cre} eleman için en küçük eğilmeli burkulma dayanımı olarak alınmalıdır. Mesnet yönlerinin elemanın asal eksenleri ile çakışmaması halinde, en büyük burkulma boyu dikkate alınarak zayıf asal eksen etrafında eğilmeli burkulma dayanımı ayrıca kontrol edilmelidir.

4.10.3.1.1.2 Eğilmeli-burulmalı burkulmaya maruz tek simetri eksenli enkesitler

Eğilme-burulmalı burkulmaya maruz kalan tek simetri eksenli kesitler için, *elastik burkulma dayanımı, P_{cre}*, **Bölüm 4.10.3.1.1.1**'e göre hesaplanan P_{cre} ile *x*-ekseni simetri ekseni olmak üzere aşağıdaki şekilde hesaplanan değerlerin küçüğü olarak alınmalıdır (x ekseni simetri eksenidir).

$$P_{cre} = \frac{1}{2\beta}\left[(P_{ex} + P_t) - \sqrt{(P_{ex} + P_t)^2 - 4\beta P_{ex} P_t}\right] \quad (4.10.13)$$

Yerel burkulmaya maruz olmayan tek simetri eksenli korniyer enkesitler için elastik burkulma dayanımı, P_{cre}, **Bölüm 4.10.3.1.1.1**uyarınca hesaplanacaktır.

4.10.3.1.1.3 Burulmalı burkulmaya maruz çift simetri eksenli ve noktasal simetri eksenli enkesitler

Burulmalı burkulmaya maruz olmayan uğrayan çift simetri eksenli ve noktasal simetri eksenli enkesitler için, P_{cre}, **Bölüm 4.10.3.1**'de tanımlanan P_{ez} ve **Bölüm 4.10.3.1.1.1** uyarınca hesaplanan P_{cre} değerlerinden küçüğü olarak alınacaktır.

4.10.3.1.1.4 Simetri eksenine sahip olmayan enkesitler

Simetri ekseni bulunmayan enkesitlerde genel burkulma sınır durumu için Denk (4.10.14), Denk (4.10.15) ile elde edilen P_{cre} ve Denk (4.10.16)'nın çözümünden elde edilecek en küçük pozitif P_{cre} değerlerinden en küçüğü, *elastik burkulma dayanımı*, P_{cre}, olarak alınacaktır. *x* ve *y* eksenleri birbirine dik merkez eksenlerdir.

$$P_{cre} = \frac{1}{2\beta}\left[(P_{ex} + P_{ez}) - \sqrt{(P_{ex} + P_{ez})^2 - 4\beta P_{ex} P_{ez}}\right] \quad (4.10.14)$$

$$P_{cre} = \frac{1}{2\gamma}\left[(P_{ey} + P_{ez}) - \sqrt{(P_{ey} + P_{ez})^2 - 4\gamma P_{ey} P_{ez}}\right] \quad (4.10.15)$$

$$\begin{aligned}(P_{cre} - P_{fx})(P_{cre} - P_{fy})(P_{cre} - P_{ez}) - {P_{cre}}^2(P_{cre} - P_{fy})\left(\frac{x_o}{i_o}\right)^2\left(\frac{K_z L_z}{K_f L_f}\right)^2 \\ -{P_{cre}}^2(P_{cre} - P_{fx})\left(\frac{y_o}{i_o}\right)^2\left(\frac{K_z L_z}{K_f L_f}\right)^2 + 2{P_{cre}}^2 P_{fxy}\left(\frac{x_o y_o}{i_o^2}\right)\left(\frac{K_z L_z}{K_f L_f}\right)^2 \\ -(P_{cre} - P_{ez})P_{fxy}^2 = 0\end{aligned} \quad (4.10.16)$$

Burada;

$$P_{fx} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_f L_f)^2} \quad (4.10.17)$$

$$P_{fy} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_f L_f)^2} \quad (4.10.18)$$

$$P_{fxy} = \frac{\pi^2 E I_{xy}}{\left(K_f L_f\right)^2} \tag{4.10.19}$$

K_fL_f : Bileşik eğilmeli burkulma için burkulma boyu, K_xL_x ve K_yL_y'den küçük olanı

4.10.3.1.2 Eğilme Momenti Etkisindeki Elemanlarda Genel Burkulma (F_{cre}, M_{cre})

Eğilme momenti etkisindeki elemanlarda elastik genel burkulma gerilmesi aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$F_{cre} = \frac{M_{cre}}{S_{fc}} \tag{4.10.20}$$

M_{cre} : **Bölüm 4.10.3.1.2.1 - 4.10.3.1.2.3**'e göre uygun sınır durumları dikkate alınarak hesaplanan genel burkulma durumunda elastik burkulma momenti dayanımlarının en küçüğü

S_{fc} : En uç basınç lifi dikkate alınarak hesaplanan kayıpsız enkesitte elastik kesit modülü

4.10.3.1.2.1 Simetri ekseni etrafında eğilme etkisindeki enkesitler

Simetri ekseni *x*-ekseni olmak üzere, *x*-ekseni etrafında eğilme momenti etkisindeki tek veya çift simetri eksenli enkesitler için *elastik genel(yanal-burulmalı) burkulma momenti dayanımı*, M_{cre}, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$M_{cre} = C_b i_o \sqrt{P_{ey} P_{ez}} \tag{4.10.21}$$

Çift simetri eksenli I-enkesitler için *x*-ekseni etrafında eğilme etkisinde aşağıdaki Denk. (4.10.22) kullanılacaktır.

$$M_{cre} = \frac{C_b \pi^2 E d I_y}{2\left(K_y L_y\right)^2} \tag{4.10.22}$$

d : Enkesit yüksekliği

4.10.3.1.2.2 Simetri ekseni olmayan asal ekseni etrafında eğilme etkisindeki enkesitler

Simetri ekseni *x*-ekseni olmak üzere, simetri eksenine dik olan *y*-ekseni etrafında eğilme momenti etkisindeki tek simetri eksenli enkesitler ve simetri ekseni olmayan asal ekseni(*y*-ekseni) etrafında

eğilme etkisindeki kesitler için elastik genel(yanal-burulmalı) burkulma momenti dayanımı, M_{cre}, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$M_{cre} = C_b P_{ex} \left(C_s |j| + \sqrt{j^2 + {i_o}^2 \frac{P_{ez}}{P_{ex}}} \right) \tag{4.10.23}$$

C_s = +1 (Eğilme momentinin, enkesitin ağırlık merkezine göre kayma merkezi tarafında basınç etkisi oluşturması durumunda)

= –1 (Eğilme momentinin, enkesitin ağırlık merkezine göre kayma merkezi tarafında çekme etkisi oluşturması durumunda)

4.10.3.1.2.3 Noktasal simetri eksenli enkesitler

Gövdeye dik ve ağırlık merkezi üzerinden geçen *x*-ekseni etrafında eğilen noktasal simetri eksenli Z-enkesitler için *elastik genel(yanal-burulmalı) burkulma momenti dayanımı*, M_{cre}, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$M_{cre} = \frac{C_b i_o}{2} \sqrt{P_{ey} P_{ez}} \tag{4.10.24}$$

veya

$$M_{cre} = \frac{C_b \pi^2 E d I_y}{4\left(K_y L_y\right)^2} \tag{4.10.25}$$

4.10.3.2 Yerel Burkulma Sınır Durumu

Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik yapı elemanları için yerel burkulma kuvvetleri ve momentleri, bu bölüme uygun olarak analitik şekilde hesaplanacaktır.

4.10.3.2.1 Eksenel Basınç Kuvveti Etkisindeki Elemanlarda Yerel Burkulma (Fcrl, Pcrl)

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki elemanlarda *elastik yerel burkulma kuvveti dayanımı*, P_{crl}, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$P_{crl} = F_{crl} A_g \tag{4.10.26}$$

A_g : Kayıpsız enkesit alanı

F_{crl} : Enkesit parçalarının elastik yerel burkulma gerilmelerinden en küçük olanı

$$F_{crl} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{w}\right)^2 \quad (4.10.27)$$

k : Plak burkulma katsayısı

E : Çelik elastisite modülü

t : Et kalınlığı

μ : Poisson oranı

w : Enkesit parçasının düz genişliği

4.10.3.2.2 Eğilme Momenti Etkisindeki Elemanlarda Yerel Burkulma (F_{crl}, M_{crl})

Eğilme momenti etkisindeki elemanlarda *elastik yerel burkulma momenti dayanımı*, M_{crl}, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$M_{crl} = S_{fc} F_{crl} \quad (4.10.28)$$

S_{fc} : En uç basınç lifi dikkate alınarak hesaplanan kayıpsız enkesitte elastik kesit modülü

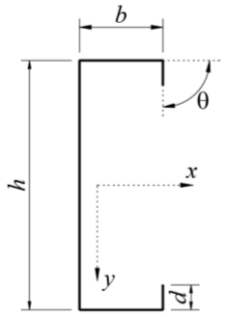
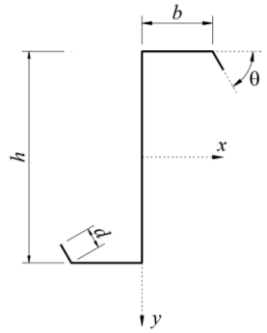
F_{crl} : Enkesit parçalarının elastik yerel burkulma gerilmelerinden en elverişsiz olanı (Denk. (4.10.27))

Yerel burkulma momenti dayanımının hesabında ilk adımda, tüm enkesit parçaları için (örneğin, başlık, gövde, tırnak vs.) yerel burkulma gerilmesi belirlenecektir. Ardından, enkesit parçalarında hesaplanan yerel burkulma gerilmeleri uç basınç lifine lineer olarak taşındığında en düşük gerilme düzeyini veren durum için enkesitin yerel burkulma momenti ya da gerilmesi, belirlenecektir

4.10.3.3 Distorsiyonel Burkulma Sınır Durumu

Soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik yapı elemanları için distorsiyonel burkulma kuvvetleri ve momentleri, bu bölüme uygun olarak analitik şekilde hesaplanabilir. Basit kenar rijitleştiricisine sahip enkesitler için geometrik özellikler **Tablo 4.2**'de verilmiştir. Rijitleştiricilerin farklı şekillerde teşkil edilmesine de izin verilir. Bu bölümde mevcut olmayan durumlar için *Nümerik Yöntem* kullanılmalıdır.

Tablo 4.2: Basit kenar rijitleştiricisine sahip enkesitler için geometrik özellikler.

	
$A_f = (b+d)t$ $J_f = \frac{1}{3}bt^3 + \frac{1}{3}dt^3$ $I_{xf} = \frac{t(t^2b^2 + 4bd^3 + t^2bd + d^4)}{12(b+d)}$ $I_{yf} = \frac{t(b^4 + 4db^3)}{12(b+d)}$ $I_{xyf} = \frac{tb^2d^2}{4(b+d)}$ $C_{wf} = 0$ $x_{of} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $x_{hf} = \frac{-(b^2+2db)}{2(b+d)}$ $y_{hf} = y_{of} = \frac{-d^2}{2(b+d)}$	$A_f = (b+d)t$ $J_f = \frac{1}{3}bt^3 + \frac{1}{3}dt^3$ $I_{xf} = \frac{t\left(t^2b^2 + 4bd^3 - 4bd^3cos^2(\theta) + t^2bd + d^4 - d^4cos^2(\theta)\right)}{12(b+d)}$ $I_{yf} = \frac{t\left(b^4 + 4db^3 + 6d^2b^2cos(\theta) + 4d^3bcos^2(\theta) + d^4cos^2(\theta)\right)}{12(b+d)}$ $I_{xyf} = \frac{tbd^2sin(\theta)\left(b + dcos(\theta)\right)}{4(b+d)}$ $C_{wf} = 0$ $x_{of} = \frac{b^2 - d^2cos(\theta)}{2(b+d)}$ $x_{hf} = \frac{-\left(b^2 + 2db + d^2cos(\theta)\right)}{2(b+d)}$ $y_{hf} = y_{of} = \frac{-d^2sin(\theta)}{2(b+d)}$

Verilen ölçüler enkesit parçalarının geometrik eksenlerinden geçen parça uzunluklarıdır. Köşe büküm çapları dikkate alınmamıştır. Büküm çapları dikkate alınarak daha hassas hesaplamalar yapılabilir.

A_f : Başlık enkesit alanı
t : Et kalınlığı
J_f : Başlık burulma sabiti
I_{xf} : Başlığın x-ekseni etrafındaki atalet momenti
I_{yf} : Başlığın y-ekseni etrafındaki atalet momenti
I_{xyf} : Başlığın atalet momentleri çarpımı
C_{wf} : Başlık çarpılma katsayısı
x_{of} : Başlığın ağırlık merkezinden başlığın kayma merkezine olan x-mesafesi
y_{of} : Başlığın ağırlık merkezinden başlığın merkezine olan y-mesafesi
x_{hf} : Başlığın ağırlık merkezinden başlık/gövde birleşim noktasına olan x-mesafesi
y_{hf} : Başlığın ağırlık merkezinden başlık/gövde birleşim noktasına olan y-mesafesi

4.10.3.3.1 Eksenel Basınç Kuvveti Etkisindeki Elemanlarda Distorsiyonel Burkulma (F_{crd}, P_{crd})

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki kenar rijitleştiricili ve eşit uzunluklu başlıklara sahip açık enkesitli elemanlarda *elastik distorsiyonel burkulma kuvveti dayanımı*, P_{crd}, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$P_{crd} = A_g F_{crd} \tag{4.10.29}$$

Burada;

A_g : Kayıpsız enkesit alanı

F_{crd} : Elastik distorsiyonel burkulma gerilmesi

Başlıkları dönmeye karşı tutulu olmayan C- ve Z- enkesitli elemanlarda (1)-(6)'da verilen şartların sağlanması durumunda, *distorsiyonel burkulma gerilmesi*, F_{crd}, güvenli tarafta kalan yaklaşımla Denk. (4.10.29) ile hesaplanacaktır.

(1) $50 \leq h_o/t \leq 200$

(2) $25 \leq b_o/t \leq 100$

(3) $6.25 < D/t \leq 50$

(4) $45° \leq \theta \leq 90°$

(5) $2 \leq h_o/b_o \leq 8$

(6) $0.04 \leq D\sin(\theta)/b_o \leq 0.5$

D : Dıştan dışa tırnak genişliği

b_o : Dıştan dışa başlık genişliği

h_o : Dıştan dışa gövde yüksekliği

t : Et kalınlığı

$$F_{crd} = \alpha k_d \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{b_o}\right)^2 \tag{4.10.30}$$

α : 1

$$k_d = 0.05 \le 0.1\left(\frac{b_o D \sin\theta}{h_o t}\right)^{1.4} \le 8 \qquad (4.10.31)$$

E : Elastisite modülü

μ : Poisson oranı

Alternatif olarak, *distorsiyonel burkulma gerilmesi*, F_{crd}, bütün kesitler için Denk 4.10.32 ile hesaplanabilir.

$$F_{crd} = \frac{\bar{k}_{\phi fe} + \bar{k}_{\phi we} + \bar{k}_{\phi}}{\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg}} \qquad (4.10.32)$$

$\overline{k}_{\varphi fe}$: Başlığın başlık/gövde birleşimine sağladığı elastik dönme rijitliği

$$\overline{k}_{\varphi fe} = \left(\frac{\pi}{L_d}\right)^4 \left[EC_{wf} + EI_{xf}\left(x_{of} - x_{hf}\right)^2 \left(1 - \frac{I_{xyf}^2}{I_{xf} I_{yf}}\right)\right] + \left(\frac{\pi}{L_d}\right)^2 GJ_f \qquad (4.10.33)$$

$\overline{k}_{\varphi we}$: Gövdenin başlık/gövde birleşimine sağladığı elastik dönme rijitliği

$$\overline{k}_{\varphi we} = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)}\left(\frac{2}{h_0}\right) \qquad (4.10.34)$$

h_o : Dıştan dışa gövde yüksekliği

t : Et kalınlığı

μ : Poisson oranı

$\bar{k}_{\varphi}$: Sürekli dönme rijitliği (kaplama, panel, rijitleştirici tarafından başlık/gövde birleşimine sağlanan dönme rijitliği). İki başlığın dönme rijitlikleri birbirinden farklı ise küçük olanı kullanılacaktır. Güvenli tarafta kalan yaklaşımla $\bar{k}_{\varphi} = 0$ alınabilir.

$\tilde{k}_{\varphi fg}$: Başlığın başlık / gövde birleşiminden talep ettiği geometrik dönme rijitliği

$$\tilde{k}_{\varphi fg} = \left(\frac{\pi}{L_d}\right)^2 \left\{ I_{xf} + I_{yf} + A_f \left[x_{hf}^2 + y_{of}^2 - 2y_{of}\left(x_{of} - x_{hf}\right)\left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}}\right) + \left(x_{of} - x_{hf}\right)^2 \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}}\right)^2 \right] \right\} \qquad (4.10.35)$$

$\tilde{k}_{\varphi wg}$: Gövdenin başlık / gövde birleşiminden talep ettiği geometrik dönme rijitliği

$$\tilde{k}_{\varphi wg} = \left(\frac{\pi}{L_d}\right)^2 \frac{t h_o^3}{60} \tag{4.10.36}$$

L_d : L_{crd} ve L_m den küçük olanı.

$$L_{crd} = \pi h_o \left\{\frac{6(1-\mu^2)}{t^3 h_o^3}\left[C_{wf} + I_{xf}\left(x_{of} - x_{hf}\right)^2\left(1 - \frac{I_{xyf}^2}{I_{xf} I_{yf}}\right)\right]\right\}^{1/4} \tag{4.10.37}$$

L_m : Distorsiyonel burkulmaya karşı tutulu olmayan boy. Başlığın sürekli tutulu olması halinde $L_m = L_{crd}$ alınabilir

4.10.3.3.2 Eğilme Momenti Etkisindeki Elemanlarda Distorsiyonel Burkulma (F_{crd}, M_{crd})

Eğilme momenti etkisindeki tek gövdeye sahip ve kenar rijitleştiricili başlıklara sahip açık enkesitli elemanlarda *elastik distorsiyonel burkulma momenti dayanımı*, M_{crd}, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$M_{crd} = S_{fc} F_{crd} \tag{4.10.38}$$

Basınç başlığı dönmeye karşı tutulu olmayan C- ve Z- enkesitli elemanlarda (1)-(6)'da verilen şartların sağlanması durumunda, Distorsiyonel Burkulma Gerilmesi, F_{crd}, güvenli tarafta kalan yaklaşımla Denk 4.10.39 ile hesaplanacaktır.

(1) $50 \le h_o/t \le 200$

(2) $25 \le b_o/t \le 100$

(3) $6.25 < D/t \le 50$

(4) $45° \le \theta < 90°$

(5) $2 \le h_o/b_o \le 8$

(6) $0.04 \le D\sin(\theta)/b_o \le 0.5$

D : Dıştan dışa tırnak genişliği

b_o : Dıştan dışa başlık genişliği

h_o : Dıştan dışa gövde yüksekliği

t : Et kalınlığı

$$F_{crd} = \beta k_d \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{b_o}\right)^2 \quad (4.10.39)$$

β : 1

$$k_d = 0.5 \leq 0.6 \left(\frac{b_o D \sin\theta}{h_o t}\right)^{0.7} \leq 8 \quad (4.10.40)$$

E : Elastisite modülü

μ : Poisson oranı

Alternatif olarak, distorsiyonel Burkulma Gerilmesi, F_{crd}, bütün kesitler için Denk. (4.10.41) ile hesaplanabilir.

Burada;

F_{crd} : Elastik distorsiyonel burkulma gerilmesi

$$F_{crd} = \beta \frac{\bar{k}_{\phi fe} + \bar{k}_{\phi we} + \bar{k}_{\phi}}{\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg}} \quad (4.10.41)$$

β : Moment dağılımını dikkate alan katsayı. Güvenli tarafta kalan yaklaşımla β = 1 alınabilir.

$$\beta = 1.0 \leq 1 + 0.4 \left(\frac{L_d}{L_m}\right)^{0.7} \left(1 + \frac{M_1}{M_2}\right)^{0.7} \leq 1.3 \quad (4.10.42)$$

L_d : L_{crd} ve L_m den küçük olanı.

L_{crd} : Denk. (4.10.43) veya Denk. (4.10.48) ile hesaplanan distorsiyonel burkulma için kritik tutulu olmayan boy

L_m : Distorsiyonel burkulmaya karşı tutulu olmayan boy. Başlığın sürekli tutulu olması halinde $L_m = L_{crd}$ alınabilir

M_1, M_2 : sırasıyla küçük ve büyük eğilme momentlerini göstermektedir. M_1/M_2 büyüklüğü çift eğrilikli eğilmede pozitif, tek eğrilikli eğilmede ise negatif olarak alınacaktır

$\bar{k}_{\varphi}$: Sürekli dönme rijitliği (kaplama, panel, rijitleştirici tarafından başlık/gövde birleşimine sağlanan dönme rijitliği). İki başlığın dönme rijitlikleri birbirinden

farklı ise küçük olanı kullanılacaktır. Güvenli tarafta kalan yaklaşımla $\bar{k}_{\varphi} = 0$ alınabilir.

(a) Gövdeye dik eksen etrafında eğilme durumu için;

S_{fc} : Başlık/gövde birleşimindeki (h_o'nun ölçüldüğü nokta) basınç lifi dikkate alınarak hesaplanan kayıpsız enkesitte elastik kesit modülü

$$L_{crd} = \pi h_o \left\{ \frac{4(1-\mu^2)}{t^3 h_o^3} \left[C_{wf} + I_{xf}\left(x_{of} - x_{hf}\right)^2 \left(1 - \frac{I_{xyf}^2}{I_{xf} I_{yf}}\right) \right] + \frac{1}{720} \right\}^{\frac{1}{4}} \qquad (4.10.43)$$

$\overline{k}_{\varphi fe}$: Denk. (4.10.33) ile hesaplanan başlığın başlık/gövde birleşimine sağladığı elastik dönme rijitliği

$\overline{k}_{\varphi we}$: Gövdenin başlık/gövde birleşimine sağladığı elastik dönme rijitliği

$$\overline{k}_{\varphi we} = \frac{E t^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{3}{h_0}\right) \left[1 + \frac{2}{15} \left(\frac{\pi h_o}{L_d}\right)^2 + \frac{1}{720} \left(\frac{\pi h_o}{L_d}\right)^4 \right] \qquad (4.10.44)$$

$\tilde{k}_{\varphi fg}$: Başlığın başlık / gövde birleşiminden talep ettiği geometrik dönme rijitliği

$$\tilde{k}_{\varphi fg} = \left(\frac{\pi}{L_d}\right)^2 \left\{ I_{xf} + I_{yf} + A_f \left[x_{hf}^2 + y_{of}^2 - 2 y_{of}\left(x_{of} - x_{hf}\right) \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}}\right) \right] \right\} \qquad (4.10.45)$$

$\tilde{k}_{\varphi wg}$: Gövdenin başlık / gövde birleşiminden talep ettiği geometrik dönme rijitliği

$$\tilde{k}_{\varphi wg} = \left(\frac{\pi}{L_d}\right)^2 \left(\frac{t h_o^3}{240}\right) \left[\frac{1110 + 810\left(1 - \xi_w\right) + 8\left(\frac{\pi h_o}{L_d}\right)^2 + \left(\frac{\pi h_o}{L_d}\right)^4}{420 + 28\left(\frac{\pi h_o}{L_d}\right)^2 + \left(\frac{\pi h_o}{L_d}\right)^4} \right] \qquad (4.10.46)$$

ξ_w : Gövde boyunca gerilme değişimi. f_1 ve f_2 gövdenin her iki ucundaki kayıpsız enkesit için hesaplanacak gerilme değerleridir. $f_1 > f_2$, basınçta pozitif, çekmede negatif olarak dikkate alınacaktır. (Örn: Tamamen simetrik eğilme etkisinde $f_2 = -f_1$, $\xi_w = 2$)

$$\xi_w = \frac{(f_1 - f_2)}{f_1} \qquad (4.10.47)$$

(b) Gövdenin çekme etkisinde olduğu gövdeye paralel eksen etrafında eğilme durumu için;

S_{fc} : Başlık ve rijitleştiricideki en uç basınç lifi dikkate alınarak hesaplanan kayıpsız enkesitte elastik kesit modülü

$$L_{crd} = \pi h_e \left\{ \frac{6(1-\mu^2)}{t^3 h_e^3} \left[C_{wf} + I_{xf}\left(x_{of} - x_{hf}\right)^2 \left(1 - \frac{I_{xyf}^2}{I_{xf} I_{yf}}\right) \right] + \frac{1}{120} \right\}^{\frac{1}{4}} \qquad (4.10.48)$$

$\overline{k}_{\varphi fe}$: Denk. (4.10.33) ile hesaplanan başlığın başlık/gövde birleşimine sağladığı elastik dönme rijitliği

$\overline{k}_{\varphi we}$: Gövdenin başlık/gövde birleşimine sağladığı elastik dönme rijitliği

$$\overline{k}_{\varphi we} = \frac{E t^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{2}{h_e}\right) \left[1 + \frac{1}{6}\left(\frac{\pi h_e}{L_d}\right)^2 + \frac{1}{120}\left(\frac{\pi h_e}{L_d}\right)^4 \right] \qquad (4.10.49)$$

$\tilde{k}_{\varphi fg}$: Başlığın başlık / gövde birleşiminden talep ettiği geometrik dönme rijitliği

$$\tilde{k}_{\varphi fg} = \left(\frac{\pi}{L_d}\right)^2 \left\{ I_{xf} + I_{yf} + A_f \left[x_{hf}^2 + y_{of}^2 - 2 y_{of}\left(x_{of} - x_{hf}\right)\left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}}\right) \right] \right\} \psi_f + \left(\frac{\pi}{L_d}\right)^2 I_{yf} \xi_f \qquad (4.10.50)$$

$\tilde{k}_{\varphi wg}$: Gövdenin başlık / gövde birleşiminden talep ettiği geometrik dönme rijitliği

$$\tilde{k}_{\varphi wg} = 0$$

$$h_e = 3.5 \sqrt{\frac{I_{yf}}{A_f} + x_{hf}^2} \qquad (4.10.51)$$

ξ_f : Başlık ve kenar rijitleştirici boyunca gerilme değişimi. f_1 başlık ve kenar rijitleştiricideki maksimum basınç gerilmesini, f_2 başlık/gövde birleşim noktasındaki gerilmeyi ifade etmektedir, basınçta pozitif, çekmede negatif olarak dikkate alınacaktır. Gerilmeler kayıpsız enkesit dikkate alınarak hesaplanacaktır.

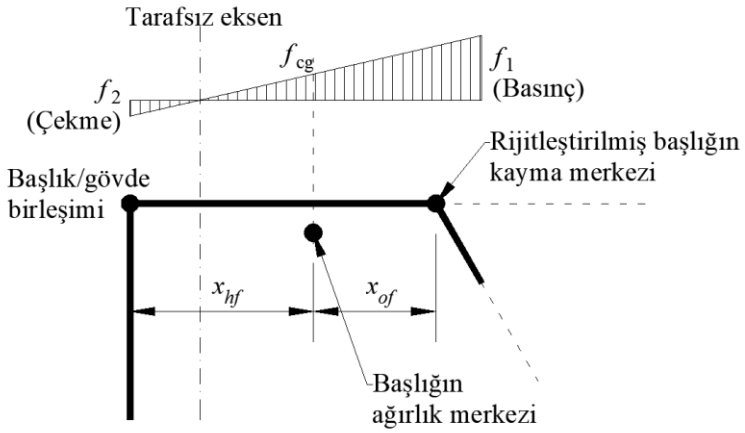
$$\xi_f = \frac{(f_1 - f_2)}{f_1} \qquad (4.10.52)$$

ψ_f : Başlık ve kenar rijitleştiricideki gerilme oranı. f_1 başlık ve kenar rijitleştiricideki maksimum basınç gerilmesini, f_{cg} başlığın ağırlık merkezindeki gerilmeyi ifade

etmektedir, basınçta pozitif, çekmede negatif olarak dikkate alınacaktır. Gerilmeler kayıpsız enkesit dikkate alınarak hesaplanacaktır.

$$\psi_f = \frac{f_{cg}}{f_1} \tag{4.10.53}$$

Şekil 4.11, gövdenin çekme etkisinde olduğu ve bu etki sonucu gövdeye paralel eksen etrafında oluşan eğilme durumunda, başlıktaki gerilme dağılımını göstermektedir. Başlık/gövde birleşim noktasında çekme (f_2) gerilmesi ve rijitleştirilmiş başlık uç noktasında basınç (f_1) gerilmesi etkisiyle doğrusal bir gerilme dağılımı gösterilmektedir. Başlığın rijitleştirilmiş kısmının kayma merkezi ile başlık ağırlık merkezi arasındaki mesafe (x_{of}) ve başlık/gövde birleşimi ile kayma merkezi arasındaki mesafe (x_{hf}) kullanılarak, rijitleştirici boyunca gerilme karakteristiği olan ξ_f ve ψ_f oranları tanımlanmaktadır.

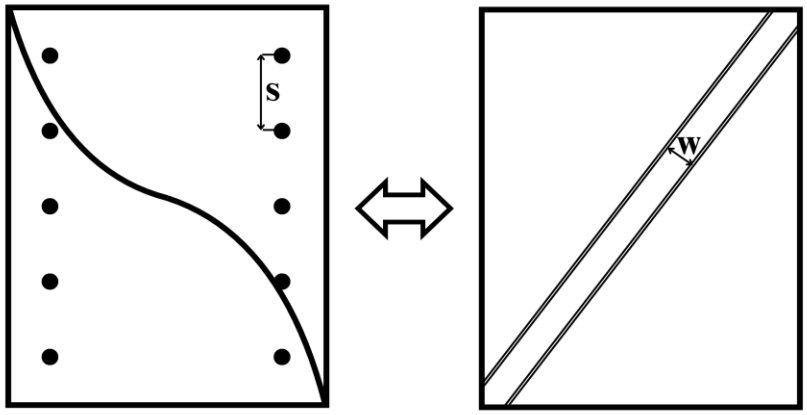


Şekil 4.11: Gövdenin çekme etkisinde olduğu gövdeye paralel eksen etrafında eğilme durumu için başlıktaki gerilme dağılımı

4.11 DİYAFRAM ETKİSİNİN ÇERÇEVE ANALİZİNDE MODELLEMESİ

Kaplama panelleri, aynı esneklik katsayısına sahip çekme veya basınç altında moment almayan eşdeğer bir çekme çubuk elemanı ile temsil edilebilir. **Şekil 4.12**'de gösterildiği gibi kaplama panellerinin etkisi, çapraz bir elemanla eşdeğer çubuk olarak modellenebilmektedir. Bu eşdeğer çubuk, sistemin yatay yük altındaki deformasyonuna karşılık gelen rijitliği sağlar. Bu yaklaşım kapsamında, panelin yatay rijitliğe katkısı ve temsil eden eşdeğer çubuğun genişliği deneysel bulgulara ve parametrik modellere dayanarak belirlenmektedir. Eşdeğer çubuk genişliği; panelin

çelik kalınlığı, vidalama aralığı ve boyut oranı gibi parametrelere bağlıdır. Yapılan deneysel çalışmalar, özellikle vida aralığının yatay rijitlik üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.12: Paneller için çekme veya basınç altında moment almayan eşdeğer bir çekme çubuk elemanı

Bu doğrultuda, eşdeğer çubuğun genişliği aşağıdaki bağıntı ile tanımlanmaktadır:

$$w = 25000 \frac{{t_s}^2}{s} \tag{4.10.54}$$

Burada:

w : Eşdeğer çubuğun genişliği (mm),

t_s : Kaplama panelinin çelik kalınlığı (mm),

s : Dış bağlantı elemanlarının (vida) aralığı (mm)'dir.

Eşdeğer çubuğun modellenmesinde panel bağlantı elemanının elastisite modülü ve kaplama panelinin kalınlığı doğrudan kullanılacaktır.

5 STABİLİTE TASARIMI

Sistem stabilitesi, yapının bütünü ve onu oluşturan her bir yapısal eleman için ayrı ayrı sağlanacaktır.

Yapının ve elemanlarının stabilitesi değerlendirilirken aşağıdaki etkiler göz önünde bulundurulacaktır:

(a) Eğilme, kesme ve eksenel kuvvet etkileriyle oluşan eleman deformasyonları ile birlikte yapı yer değiştirmelerine katkı sağlayan tüm eleman ve bağlantı deformasyonları,

(b) İkinci mertebe etkiler (P–Δ ve P–δ etkileri dahil),

(c) Geometrik başlangıç kusurları,

(d) Artık gerilmeler ve kesit içerisindeki kısmi akma etkileri dahil olmak üzere elastik olmayan davranışlara bağlı rijitlik azalmaları,

(e) Kesit şekil değiştirmeleri ile yerel ve distorsiyonel burkulma kaynaklı rijitlik azalmaları,

(f) Sistem, eleman ve bağlantıların rijitlik ve dayanım değerlerindeki belirsizlikler.

Yukarıda belirtilen tüm yüke bağlı etkiler, YDKT esas alınarak değerlendirilecektir.

Alternatif olarak, C kesitleri ve Z kesitleri, gövdede düzlem içinde yüklenmiş kirişler olarak kullanıldığında burulmalarını sınırlamak amacıyla yalnızca şu durumlarda uygulanmalıdır:

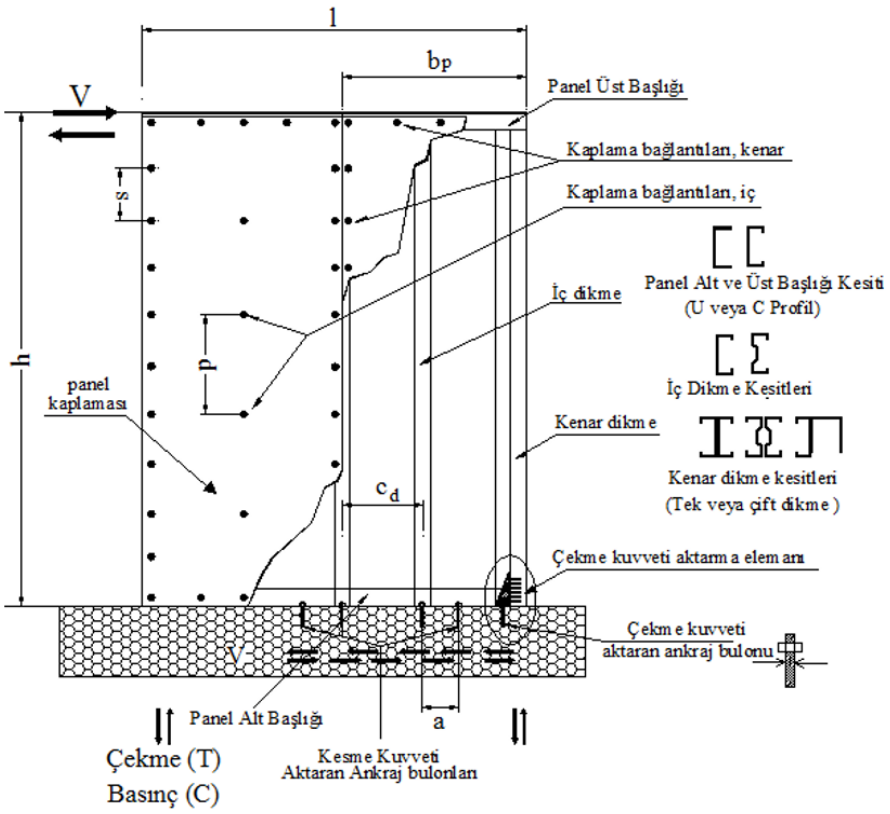
(1) Bağlı başlığın yanal ötelenmesini etkili bir şekilde sınırlayacak şekilde hiçbir başlığın döşeme veya kaplama malzemesine bağlanmamış olması durumunda,

(2) Sadece üst başlık böyle bir bağlantıya sahipse, her iki başlık, döşeme veya kaplama malzemelerine bağlı ve bu bağlantılar bağlı başlığın yanal ötelenmesini etkili bir şekilde sınırlıyorsa,

ek stabilite bağlantısı gerekli değildir.

6 PANELLERİN TASARIMI

Tipik bir panel **Şekil 6.1**'de verilmiştir.



Şekil 6.1: Kaplamalı Panel Sistemleri

Kaplamanın taşıyıcı olarak kabul edilebilmesi için, en büyük dikme aralığı "c_d" 625 mm olacaktır **(Şekil 6.1)**.

Hafif çelik panel sistemlerinin tasarımı; Yönetmelik **Bölüm 4 - YAPISAL ELEMANLARIN TASARIM ESASLARI** ve **Bölüm 8 - BİRLEŞİM TASARIMI** bölümleri uyarınca yapılacaktır. Hesaplamalarda basınç, eğilme, kesme ve birleşim elemanlarının dayanımı ilgili bölümler uyarınca değerlendirilecektir. Panellerin yatay yük taşıma kapasitesi **TBDY 2018 Bölüm 10** hükümlerine göre yapılacaktır.

Taşıyıcı dikmeler, et kalınlığı en az 0.9 mm, gövde yüksekliği en az 70 mm olan **C**-veya **Σ**-enkesitli elemanlardan oluşacaktır ve bu elemanların kenar rijitleştirici genişliği en az 9 mm olacaktır.

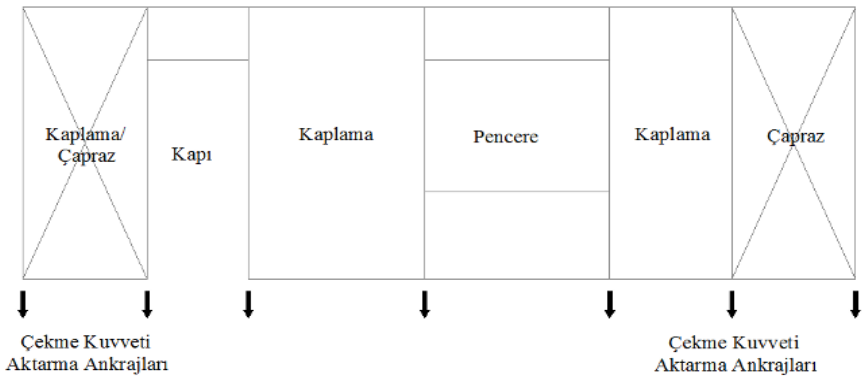
Bina yüksekliği 10.5 m üzerinde olduğunda tüm taşıyıcı dikmelerin minimum et kalınlığı 2 mm olacaktır.

Prefabrik panel sistemlerde yer alan ara dikmeler taşıyıcı nitelikte olmadığı durumda, bu sistemler sınırlı sünek sistem olarak değerlendirilmelidir.

Panel alt ve üst başlığı, et kalınlığı en az 0.8 mm olan **U**- veya **C**-enkesitli elemanlardan oluşacaktır **(Şekil 6.1)**.

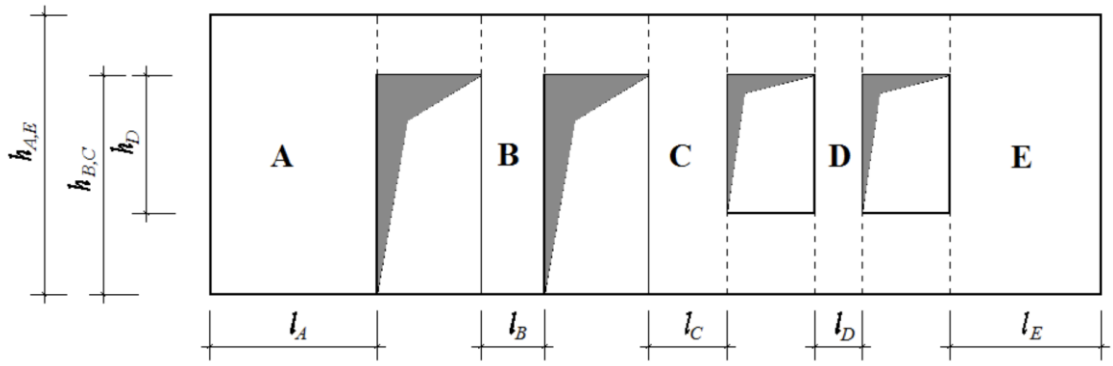
Yukarıda belirtilen enkesitler dışındaki enkesitlerle üretilen taşıyıcı dikme ve başlık elemanlarının hesap yükünü güvenli olarak taşıdığının deneysel veya analitik olarak gösterilmesi gerekmektedir.

Yalnızca tam kat yüksekliğindeki taşıyıcı panel bölümlerinin kesme kuvveti karşılama kapasitesine sahip olduğu kabul edilir. Her taşıyıcı panel bölümü için, kenar dikmelerde çekme kuvveti aktarma ankrajları kullanılacaktır. **(Şekil 6.2)**.



Şekil 6.2: Panellerin Ankrajlanması

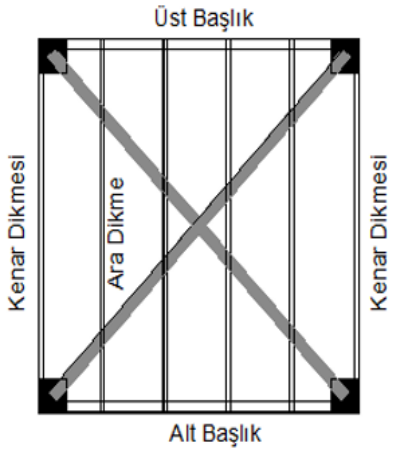
Toplam taşıma kapasitesinde genişliği $l \geq 30$ cm olan ve *yükseklik/genişlik* oranı $h/l \leq 4$ koşulunu sağlayan panellerin katkısı dikkate alınacaktır. *Yükseklik/genişlik* oranı $2 \leq h/l \leq 4$ aralığında olan panellerin birim boya ait kayma dayanımı $2l/h$ oranı ile çarpılarak elde edilecektir. **(Şekil 6.3)**



Şekil 6.3: Taşıyıcı Paneller

Panellerin yatay yükler altında taşıyıcı özellikte olması için; (a) yönlendirilmiş yonga levha (OSB), kontrplak (plywood), alçı levha ve çelik sac gibi kaplamalar (b) çapraz elemanlar kullanılmalıdır.

Çapraz elemanlar panel üst ve alt başlık elemanları arasında sürekli ve tek eleman olarak yerleştirilecektir. Çapraz elemanların uçları başlık elemanları ile birlikte dikme elemanlarına da bağlanacaktır (**Şekil 6.4**).



Şekil 6.4: Çaprazlı Paneller

Panellerin yatay yük taşıma kapasiteleri **TBDY (2018)** uyarınca yapılacaktır. Bu kapsamda, her iki doğrultuda her kata etki eden yatay yük, o kattaki panel açıklığına bölünerek **TBDY Bölüm 10**'da tanımlanan birim yatay yük taşıma kapasitesine göre tasarlanmalıdır. Bununla birlikte, panel sistemleri **Bölüm 4.11 – DİYAFRAM ETKİSİNİN ÇERÇEVE ANALİZİNDE MODELLEMESİ** esasına göre tasarlanıyorsa, çapraz elemanlardan elde edilen eksenel kuvvetler

kullanılarak yatay yük hesaplanabilir ve birim metredeki taşıma kapasitesi bu değerlere göre kontrol edilmelidir.

Dikme elemanlarının burkulma boyunun kısaltılması için kuşak kullanılacaktır. Hafif çelik duvar taşıyıcı sistemlerinde, dikmelerin stabilitesini sağlamak amacıyla kuşakların uygun şekilde bağlanması esastır. **Şekil 6.5**'te gösterildiği üzere, kuşaklar duvar dikmeleri ile iki farklı yöntemle birleştirilebilir. Birinci yöntemde, kuşak uçları dikmeye doğru bükülerek kesit başlığı içine vidalanır. Bağlantı uygun vidalarla sağlanır; kuşağın uç kısmı kesilerek dikmeye döndürülüp sabitlenir **(Şekil 6.5(a))**. İkinci yöntemde ise, kuşağın gövdesi genişliğinde kesilir ve kesit başlığına doğru kıvrılan kulakçıklar, dikmenin kesit başlıklarına vidalanır **(Şekil 6.5(b))**. Her iki yöntemde de bağlantı noktalarının doğru yerleştirilmesi ve kuşakların taşıyıcı sistemle bütünleşmesi, sistemin yatay rijitliğini ve burkulma güvenliğini artırır. Kuşak uygulamalarında aşağıdaki geometrik ve yapısal kriterlere uyulması zorunludur.

(a) Dikme elemanının *yükseklik/derinlik* oranının 50'den büyük olması durumunda, burkulma güvenliğinin sağlanması amacıyla profil yüksekliğinin ortasında bir adet kuşak uygulanacaktır.

(b) Kuşak bağlantılarında kullanılan kulakçık boyu, kullanılan vidanın karakteristik çapı d olmak üzere en az $6d$ olacaktır.

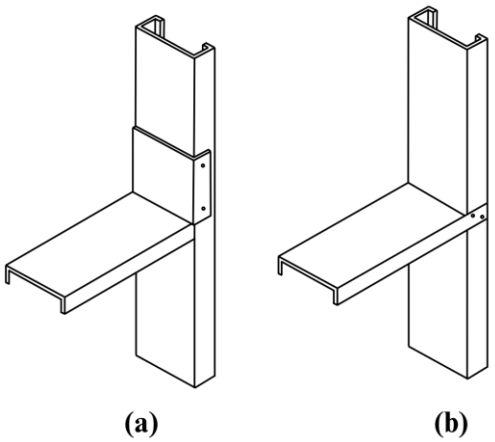
(c) Bağlantı bölgelerinde kenar mesafesi en az $1.5d$, vida aralığı ise en az $3d$ olarak düzenlenecektir.

(d) Kuşak elemanlarının gövde stabilitesini sağlayabilmesi için malzeme et kalınlığı 0.8 mm'den az olmayacaktır.

(e) Bağlantının güvenli olarak yapılabilmesi için kuşağın bağlandığı başlık genişliği en az $3d$ olacaktır.

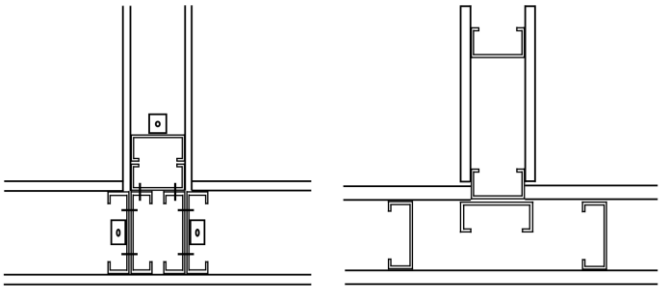
(f) Her bir bağlantı noktasında en az iki adet No. 8 veya üst sınıf vida kullanılması zorunludur.

Bu kapsamda d, kullanılan vidanın karakteristik çapını ifade etmekte olup, tüm kenar mesafesi ve vidalama kriterleri bu çap esas alınarak belirlenecektir.



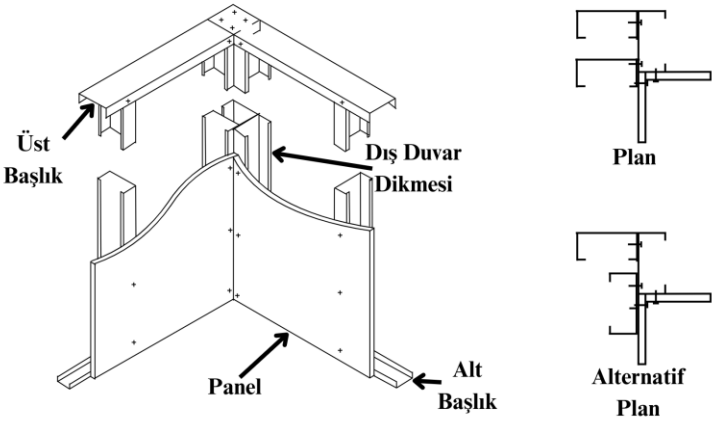
Şekil 6.5: Dikmelerin kuşaklarla birleştirilmesi

Birbirine dik iki taşıyıcı duvarın tipik bağlantı detayı **Şekil 6.6**'da verilmiştir. Bu birleşim örnek olarak verilmiştir. Alternatif kesit geometrilerine sahip profillerin kullanımı mümkündür.



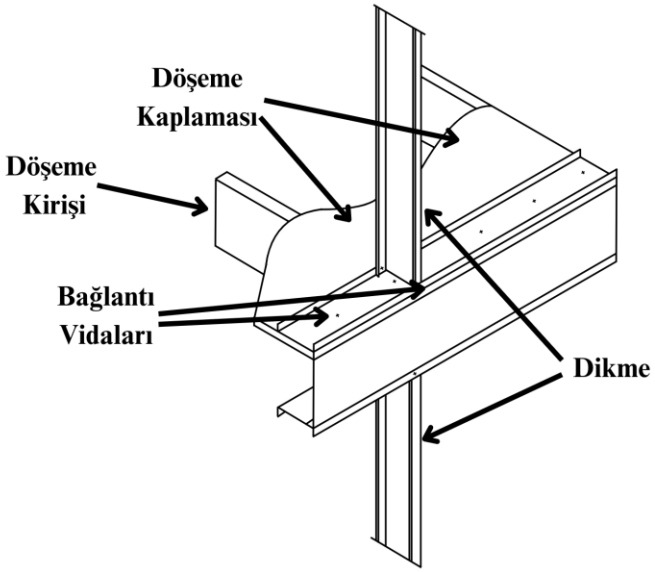
Şekil 6.6: Dış duvara dik duvar birleşimi

Taşıyıcı duvarların tipik köşe bağlantı detayı **Şekil 6.7**'de verilmiştir.



Şekil 6.7: Köşe bağlantı detayı

Taşıyıcı duvarların tipik döşeme bağlantı detayı **Şekil 6.8**'de verilmiştir.



Şekil 6.8: Taşıyıcı duvar bağlantısı

Ayrıca, hafif çelik duvar panellerine sabitlenecek, mutfak dolabı, vestiyer vb. donatıların yüklerini taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır. Dolap hizalarında "güçlendirilmiş duvar şeridi" için ek çelik profil, ahşap/OSB takviye levhası veya benzeri taşıyıcı düzenleme yapılmalıdır. Duvara asılı dolap yükleri en az 0,5 kN/m yatay çizgisel yük olarak dikkate alınmalıdır.

7 DÖŞEME TASARIMI

7.1 GENEL İLKELER

Döşemeler, kullanım amacı, taşıyacağı yük sınıfı ve maruz kalacağı çevresel koşullar dikkate alınarak taşıma kapasitesi ve servis performansı yönünden yeterli olacak şekilde tasarlanmalıdır. Yapının genel stabilitesini sağlamak adına, yatay yüklerin (rüzgâr, deprem vb.) döşemeler üzerinden rijit diyafram etkisi ile aktarılması hedeflenmelidir.

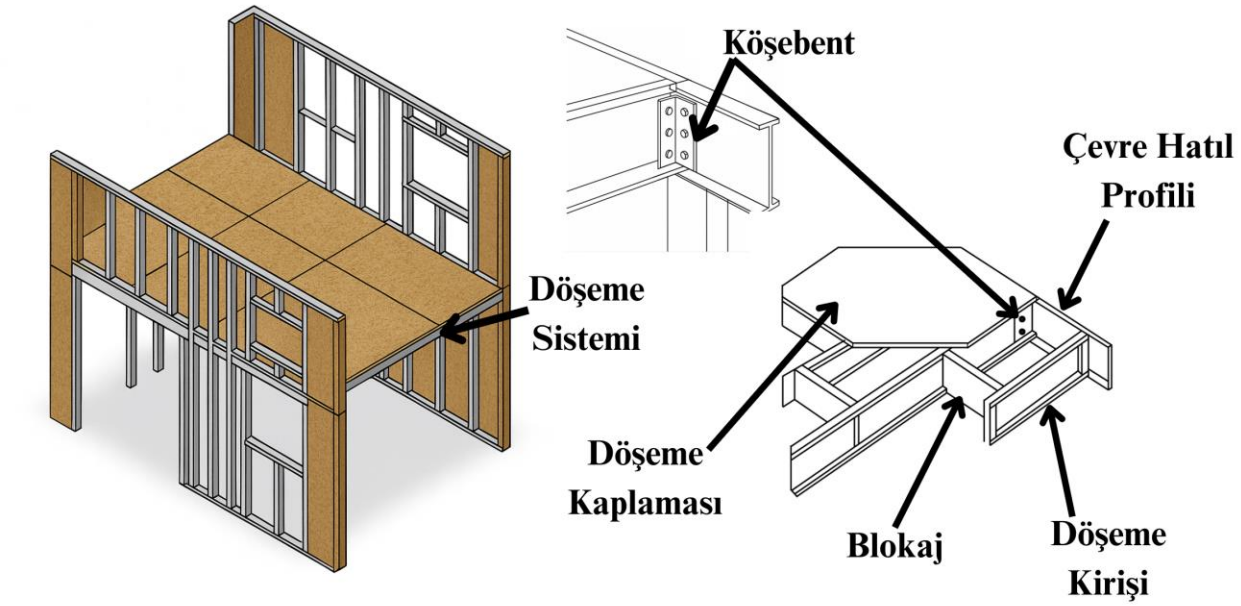
Soğuk şekillendirilmiş çelik döşeme sistemleri **Şekil 7.1**'de gösterildiği gibi genellikle aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

(a) Eşit aralıklarla yerleştirilmiş C veya Z kesitli soğuk şekillendirilmiş döşeme kirişleri

(b) Taşıyıcı döşeme kaplamaları (trapez sac, OSB, kontrplak, çimento levha vb.)

(c) Enine rijitlik ve yanal burkulma önleme işlevi gören blokaj elemanları

(d) Çevre ve uç çerçeve elemanları



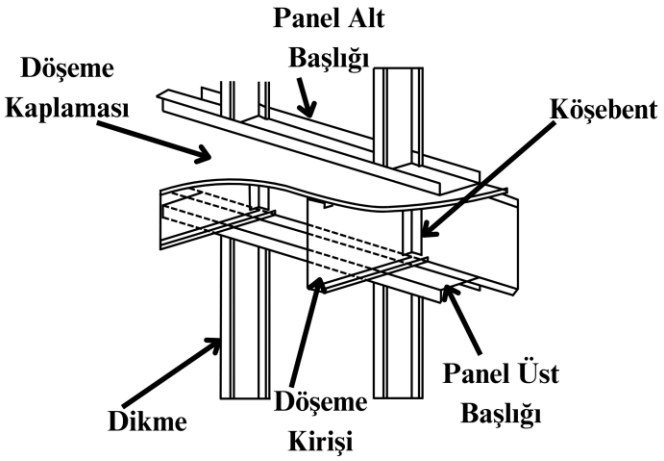
Şekil 7.1: Döşeme sistemi (Örnek)

Bu yapı elemanları birlikte çalışarak döşeme sistemine hem düşey yük taşıma kapasitesi hem de rijit diyafram davranışı sayesinde yatay yük transferi kazandırır. Taşıyıcı döşeme elemanlarının seçimi ve tasarımı **Bölüm 4.5 ve Bölüm 4.8** arasındaki yük aktarım kapasitesi (eğilme ve kesme) performans kriterlerine göre yapılmalıdır. Ayrıca, sehim, yangın dayanımı, korozyon dayanımı, bağlantı bütünlüğü ve montaj kolaylığı kriterleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

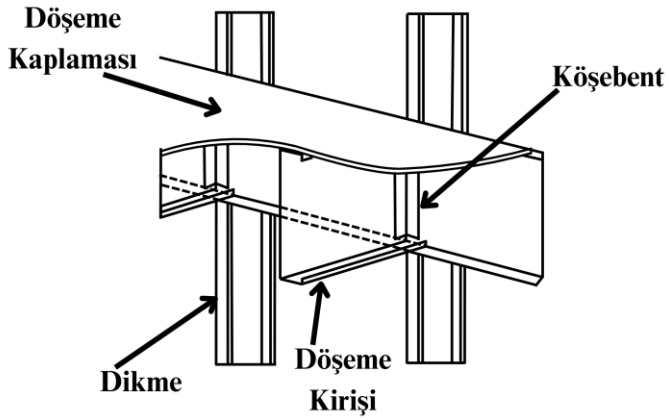
Döşeme sisteminin duvarlarla birleşiminde iki farklı iskelet sistemi kullanılabilir.

(1) **Platform İskelet:** Her katın döşemesi, alttaki duvarların üzerine oturtulur. Kat döşemesi, üst kat duvarlarına yatay bir platform oluşturur. Enyaygın kullanılan iskelet sistemdir. **Şekil 7.2**'de detaylı olarak açıklanmıştır.

(2) **Balon İskelet:** Duvar dikmeleri, zemin katından çatıya kadar devam eder. Kat döşemesi bu uzun dikmelere kenardan bağlanır. **Şekil 7.3**'te detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 7.2: Platform iskelet



Şekil 7.3: Balon iskelet

7.2 YÜKLER VE YÜK BİRLEŞİMLERİ

Döşeme sistemleri **Bölüm 4.3**'te belirtilen yükler ve yük birleşimlerine uygun şekilde boyutlandırılmalıdır. Ayrıca, deprem etkisi altında diyafram davranışları için yatay yük bileşenleri analiz edilmelidir.

7.3 MALZEME ÖZELLİKLERİ

Döşeme sistemlerinde kullanılan soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin **Bölüm 2**'deki minimum kriterleri sağlaması gerekmektedir. Kullanılan bu profillerin malzeme dayanımı (F_y, F_u), elastisite modülü (E), kayma modülü (G) üretici tarafından belgelenmeli ve bu Yönetmelikte belirtilen kriterlere uygun olmalıdır. Ayrıca, **Bölüm 2**'de belirtilen yüzey koruması (galvaniz, boya, epoksi) çevre koşullarına ve korozyon riskine uygun seçilmelidir.

7.4 TAŞIMA KAPASİTESİ VE EĞİLME TASARIMI

Döşeme elemanlarının taşıma kapasitesi hesaplanırken Eğilme momenti (M_n), kesme kuvveti (V_n) ve yerel burkulma kapasiteleri hesaplanmalıdır. Geniş açıklıklarda sehim ve titreşim açısından ara destek veya burkulma önleyici elemanlar kullanılmalıdır. Panellerle kompozit davranış hedefleniyorsa, kayma bağlantıları detaylandırılmalıdır. **Şekil 7.4**'te gösterildiği üzere, döşeme kirişlerinin uç bölgelerinde oluşabilecek yerel gövde buruşması karşı mukavemeti artırmak amacıyla, gövde ara rijitleştirici levhalar kullanılmalıdır. Bu gövde ara rijitleştirici levhalar, gövdede oluşabilecek yerel burkulmayı önlemek, kesme dayanımını artırmak ve sisteme ilave rijitlik kazandırmak amacıyla kullanılmalıdır. Gövde yüksekliği fazla olan veya kesme gerilmesinin yüksek olduğu elemanlarda uygulanmalıdır. Gövde ara rijitleştirici levhaların kullanımına ilişkin minimum kriterler aşağıda verilmiştir:

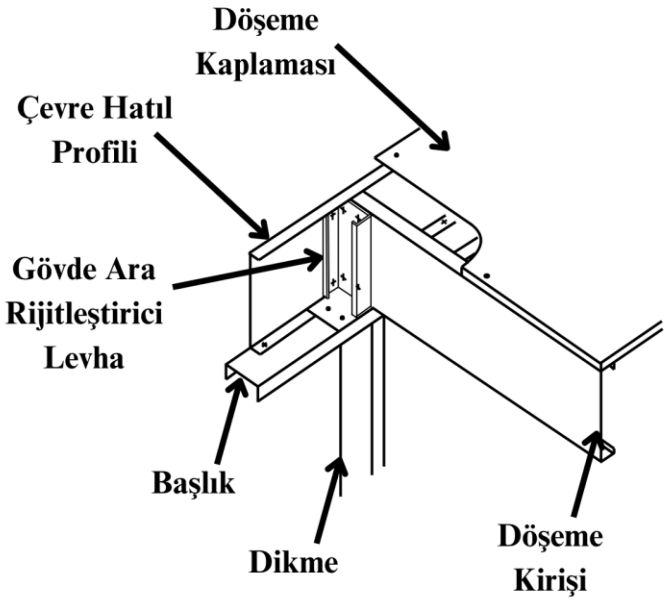
(1) Gövde yüksekliği/kalınlığı oranı (h/t)>180 olan elemanlarda gövde ara rijitleştirici bulunmalıdır.

(2) Elemanda oluşan kesme gerilmesi, gövdenin tasarım kesme dayanımının %80'ini aşıyorsa, gövde ara rijitleştirici kullanımı zorunludur.

Gövde ara rijitleştirici levhaların et kalınlığı, en az gövde elemanının kalınlığı kadar olmalıdır. Bu levhalar, gövdeye cıvata bağlantısı ile monte edilmelidir. Rijitleştiriciler arası mesafe, aşağıdaki değerlerden hangisi küçükse o esas alınarak belirlenmelidir:

$$s \leq 4h \text{ veya } s \leq 500 \text{ mm}$$

Ayrıca, gövde ara rijitleştiricinin minimum genişliği 2 cm olmalıdır.



Şekil 7.4: Gövde ara rijitleştirici levha

Döşemeler, depremden dolayı kendi düzlemlerinde oluşan kuvvetleri yatay yük taşıyıcı (YYT) panellere güvenli olarak aktaracak şekilde hesaplanacaktır **(Şekil 7.5)**. Hafif çelik yapılarda döşeme sistemi, kirişler ve şekillendirilmiş çelik sac (trapez), ahşap veya çimento esaslı elemanlar ile oluşturulabilir. Döşemelerin deprem kuvvetlerinin yatay yük taşıyıcı sisteme güvenle aktarılmasını sağlayacak düzeyde rijit olması için gerekli önlemler alınacaktır.

Döşeme kaplamasının diyafram görevini yerine getirebilmesi için gerekli koşullar aşağıda verilmiştir.

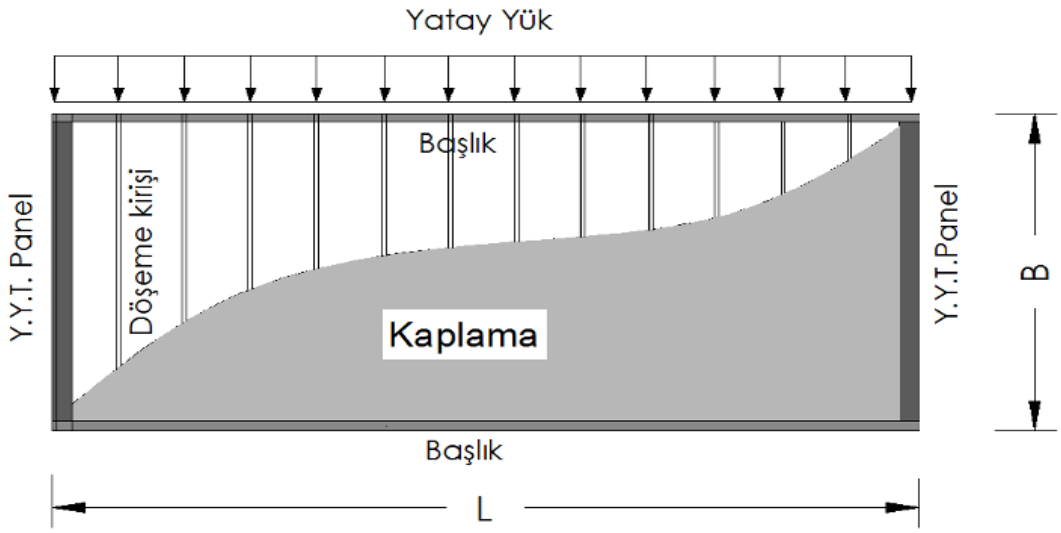
(a) Döşemelerin deprem etkileri altında boyutlandırılmasında, **Tablo 1.2**'de verilen *D* dayanım fazlalığı katsayısı uygulanacaktır.

(b) Diyafram kuvvetlerinin, uygun bağlantılarla (vida, bulon) yatay yük taşıyıcı düşey panellere, döşeme kirişlerine ve başlık elemanlarına güvenle aktarıldığı hesapla gösterilecektir.

(c) Diyafram davranışından dolayı oluşan başlık kuvvetlerinin taşınabilmesi için, gerekli olan durumlarda boyuna aktarma elemanları kullanılacaktır.

(d) Döşemelerde açılacak boşluklar için, boşluk alanı döşeme alanının %3'ünü aşmadığı sürece, ayrıca bir hesap yapılmasına gerek yoktur. %3 sınırının aşılması durumunda, döşeme elemanı kabuk eleman olarak modellenmelidir. Bu durumda yük aktarım mekanizmasının gösterilmesi gerekmektedir.

(e) Döşeme kirişlerinin mesnetlendirilmesinde, minimum oturma mesafesi 40 mm olacaktır.



Şekil 7.5: Yük aktarım mekanizması

7.5 SEHİM SINIRLARI VE TİTREŞİM

Kısa ve uzun vadeli sehimler, kullanım amacına uygun olarak **Tablo 7.1**'e göre kontrol edilmelidir:

Tablo 7.1: Maksimum sehim sınırları

Eleman / Kullanım Durumu	Maksimum Sehim Sınırı
Genel kullanım (döşeme, kiriş vb.)	*L*/200
Sadece hareketli yük altında	*L*/250
Dolgu duvarları veya kırılgan kaplama taşıyan	*L*/300
Süneklik göstermeyen elemanlara oturan döşeme	*L*/360
Tek katlı yapılarda kolon başı yatay ötelenme	*H*/300
Çok katlı yapılarda her kat yüksekliği için	Kat yüksekliği / 300
Çatı kirişleri (yalıtımsız, kırılgan olmayan)	*L*/250
Çatı kirişleri (kırılgan kaplama taşıyan)	*L*/300

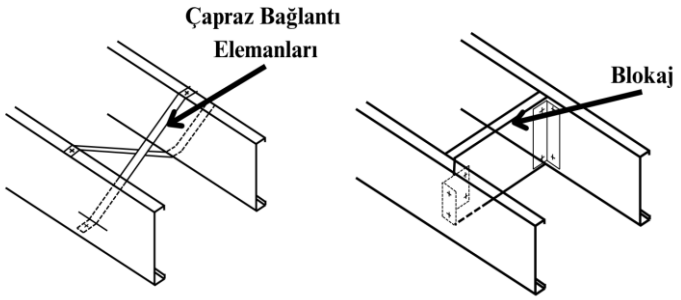
Uzun vadeli sapmalar için rötre, sünme, zamanla oturma gibi etkiler dikkate alınmalıdır.

Bina kullanım amacına bağlı olarak döşemelerde oluşabilecek titreşimlerin kullanıcı konforunu olumsuz etkilememesi amacıyla gerekli titreşim performans koşullarının sağlanması esastır. Bu kapsamda, döşeme sistemi sonlu eleman modeli ile analiz edilecek ve döşeme doğal titreşim frekansının en az 8 Hz olması sağlanacaktır. Ayrıca, döşemeyi taşıyan kirişlerin açıklık/derinlik oranı 18'den büyük olmayacaktır. Bu koşulların sağlanamadığı durumlarda, titreşimin sınırlandırılması amacıyla kiriş aralıkları 40 cm'den az olacak şekilde düzenlenecek ve kirişler arasında en az iki adet köprü elemanı kullanılacaktır. Trapez sac kaplamanın kullanıldığı döşeme sistemlerinde ise, trapez sac en fazla 15 cm aralıklarla kirişlere vidalanacaktır.

Döşeme titreşimlerinin sınırlandırılması amacıyla, döşeme kaplaması altına akustik yalıtım keçesi, kauçuk levha veya viskoelastik tabaka yerleştirilebilir ve ara rijitleştirici levhalar kullanılabilir.

7.6 BAĞLANTILAR VE KESME TRANSFERİ

Döşeme elemanlarının birbiriyle ve ana taşıyıcılarla olan bağlantıları (vida, bulon) yeterli kesme ve moment aktarımını sağlamalıdır. Bu bölümlerin tasarımı **Bölüm 8**'e göre tasarlanmalıdır. Kaplama elemanları (trapez sac, OSB, kontrplak) ile çelik profiller arasındaki bağlantı detayları, özellikle kesme kuvveti aktarımı açısından detaylandırılmalıdır. Blokaj ve çapraz bağlama elemanları, **Şekil 7.6**'da gösterildiği üzere döşeme sistemine rijitlik kazandırmalıdır. Ek olarak, en üst kaplamada çatı altı stabilitenin sağlanması için gerekli rijitliğin; çapraz elemanlar veya ilave kirişler kullanılarak sağlanması zorunludur.



Şekil 7.6: Çapraz bağlantı elemanları ve blokaj elemanı

Ayrıca, çatı tasarımına bağlı olarak çatı aralarında kar birikmesi ve erimeyen karların donması sonucu ilave buz yükü oluştuğu, bu durumun özellikle rakımı 400 metreden yüksek yerlerde sehimin artmasına ve çatı elemanlarının zorlanmasına neden olmaktadır. Bu sebeple çatı yükü hesabı yapılırken TS 498 standardında yer alan kar yüklerine ilaveten buz yüklerinin de dikkate alınması gerekmektedir.

8 BİRLEŞİM TASARIMI

Soğuk şekillendirilmiş çelik elemanların birleşimlerinde birleşim araçları ve birleştirilen elemanların tasarımı birleşim bölgeleri dikkate alınarak bu bölümde belirtilen kurallara göre vidalı ve/veya bulonlu birleşimlerle yapılacaktır.

8.1 GENEL ESASLAR

Birleşimlerin *tasarım dayanımı,* ϕP_n, bu bölümde tanımlanan kurallara uygun olarak hesaplanacaktır.

ϕ : Dayanım katsayısı

P_n : Gerekli sınır durumlar dikkate alınarak hesaplanan karakteristik dayanım

Eksenel yüklü elemanların eksenlerinin ortak bir noktada kesişmemesi halinde, dışmerkezlik etkisi göz önüne alınacaktır.

8.2 VİDALI BİRLEŞİMLER

Vidalı birleşimlerin *tasarım dayanımı,* ϕP_n,

$\phi = 0.55$

olmak üzere, bu bölümde tanımlanan kurallara uygun olarak hesaplanacaktır.

Kaplamalı Panel Sistemler'in birleşimlerinde aşağıdaki sınırlamalara uyulacaktır:

(a) Kenar dikmelerde vida aralığı en çok $s = 200$ mm olacaktır.

(b) İç dikmelerde vida aralığı en çok $p = 300$ mm olacaktır.

(c) Kayma panelinin kenarları boyunca vidaların kenar mesafesi en az 10 mm olacaktır.

(d) Paneli oluşturan sac elemanların birleşiminde kullanılacak vidanın boyu en az $2t_{dikme} + 10$ mm olacaktır. Ayrıca vidalar, vida başının temas etmediği sacın içine en az 3 vida adımı girecektir.

(e) Kaplama malzemesinin panele birleşiminde kullanılacak vidanın boyu en az $t_{kaplama} + 2t_{dikme} + 10$ mm olacaktır. Ayrıca vidalar, vida başının temas etmediği sacın içine en az 3 vida adımı girecektir.

8.2.1 Minimum Vida Aralığı ve Eleman Kenarına Minimum Uzaklık

Vidaların merkezleri arasındaki mesafe, *s*, vida çapının 3 katından az olmamalıdır ($s > 3d_v$).

Eleman kenarına olan mesafe l_e, vida çapının 1.5 katından az olmamalıdır. $l_e > 1.5d_v$

8.2.2 Kesme Kuvveti Etkisi

Vida için *karakteristik kesme kuvveti dayanımı,* P_{ns}, aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır,

$t_2/t_1 \leq 1.0\ için$

$$P_{ns} = \min(P_{ns1} \quad P_{ns2} \quad P_{ns3}) \tag{8.2.1}$$

$t_2/t_1 \geq 2.5\ için$

$$P_{ns} = \min(P_{ns2} \quad P_{ns3}) \tag{8.2.2}$$

$1.0 \leq t_2/t_1 \leq 2.5\ için$

doğrusal enterpolasyon yapılacaktır.

P_{ns1} : Yan yatma sınır durumu için karakteristik dayanım

$$P_{ns1} = 4.2\sqrt{t_2^3 d_v F_{u2}} \tag{8.2.3}$$

P_{ns2} ve P_{ns3} : Ezilme sınır durumu için karakteristik dayanım

$$P_{ns2} = 2.7 t_1 d_v F_{u1} \tag{8.2.4}$$

$$P_{ns3} = 2.7 t_2 d_v F_{u2} \tag{8.2.5}$$

t_1 : Vida başı ile temas eden elemanın et kalınlığı

t_2 : Vida başı ile temas etmeyen elemanın et kalınlığı

d_v : Karakteristik vida çapı

F_{u1} : Vida başı ile temas eden elemanın karakteristik çekme dayanımı

F_{u2} : Vida başı ile temas etmeyen elemanın karakteristik çekme dayanımı

Vidanın yan yatma durumunun engellendiği çift kayma düzlemine sahip birleşimlerde yan yatma sınır durumu ihmal edilebilir.

Vida gövdesinde kesme kırılması için karakteristik kesme kuvveti dayanımı, P_{nvs}, üretici tarafından belirtilen dayanım olarak dikkate alınacaktır. Bu sınır durum için dayanım katsayısı, ϕ, 0.5 olarak dikkate alınacaktır.

P_{nvs} : Üretici tarafından yayınlanan vida gövdesinde kesme kırılması için karakteristik kesme kuvveti dayanımı

8.2.3 Çekme Kuvveti Etkisi

Sacdan vida başını karakteristik çekip-çıkarma dayanımı Denk. (8.2.6) ile hesaplanacaktır:

$$P_{nov} = 1.5 t_1 d_w F_{u1} \tag{8.2.6}$$

Sacdan vida ucunu karakteristik çekip-çıkarma dayanımı Denk. (8.2.7) ile hesaplanacaktır:

$$P_{not} = 0.77 {t_2}^{1,18} d_v F_{u2} \tag{8.2.7}$$

d_w : Pul veya vida başı çapının büyük olanı

Burada, d_w, 13 mm'den büyük, kullanılan pul kalınlığı 1.3 mm'den küçük olmayacaktır.

Vidada çekme sınır durumu için karakteristik çekme kuvveti dayanımı, P_{nts}, üretici tarafından belirtilen dayanım olarak dikkate alınacaktır. Bu sınır durum için dayanım katsayısı, ϕ, 0.5 olarak dikkate alınacaktır.

P_{nts} : Üretici tarafından yayınlanan vidada çekme sınır durumu için karakteristik çekme kuvveti dayanımı

8.3 BULONLU BİRLEŞİMLER

Bu bölümde verilen tasarım esasları, birleştirilen ince parça kalınlığının 4 mm'den daha ince olduğu soğuk şekillendirilmiş çelik yapısal elemanlar için kullanılan çelik-çelik bulonlu bağlantılar için geçerlidir. Birleştirilen ince parçanın kalınlığı 4 mm veya daha kalın olan bulonlu bağlantılar için **ÇYTHYE-2018** kullanılacaktır.

Bu Yönetmelikte belirtilen esaslar **Tablo 8.4**'te verilen bulon sınıfları için geçerlidir.

Bağlantı türüne ve kullanılan bulonlara uygun somunlar ve pullar kullanılacaktır. Bulonun her iki tarafında (baş ve somun altında) pul kullanılacaktır.

Tablo 8.1: Karakteristik Bulon Deliği Boyutları

Karakteristik Bulon Çapı, d [mm]	**Standart Dairesel Delik Çapı, d_h [mm]**	**Büyük Dairesel Delik Çapı, d_h [mm]**	**Kısa Oval Delik (Genişlik × Uzunluk) [mm]**	**Uzun Oval Delik (Genişlik × Uzunluk) [mm]**
$d < 12$	$d + 1$	$d + 2$	$(d + 1) \times (d + 6)$	$(d + 1) \times (2.5d)$
$12 \le d \le 20$	$d + 2$	$d + 4$	$(d + 2) \times (d + 6)$	$(d + 2) \times (2.5d)$
$20 < d \le 24$	$d + 2$	$d + 6$	$(d + 2) \times (d + 8)$	$(d + 2) \times (2.5d)$
$d = 24$	27	30	27 × 32	27 × 60
$d > 24$	$d + 3$	$d + 8$	$(d + 3) \times (d + 10)$	$(d + 3) \times (2.5d)$

Bulonlar için maksimum delik boyutları **Tablo 8.1**'de verilmiştir. Kısa oval deliklerin kullanılması halinde yük doğrultusuna dik şekilde konumlandırılacaktır. Montaj amaçlı uzun oval delikler kullanılabilir, ancak bu bulonlar dayanım hesaplarında dikkate alınmayacaktır.

Kolon ayakları taban levhalarının temele ankrajı için daha büyük bulon deliklerinin kullanılmasına izin verilir. Ancak bu durumda, büyük delik bölgelerini tam olarak kaplayan boyutlarda levha pulların kullanılması ve bunların taban levhasına kaynaklanarak teşkil edilmesi sağlanacaktır.

Bulonlu birleşimlerin *tasarım dayanımı*, ϕP_n, bu bölümde tanımlanan kurallara uygun olarak hesaplanacaktır.

8.3.1 Minimum Bulon Aralığı ve Eleman Kenarına Minimum Uzaklık

Bulonların merkezleri arasındaki mesafe, s, vida çapının 3 katından az olmamalıdır ($s > 3d$).

Eleman kenarına olan mesafe l_e, bulon çapının 1.5 katından az olmamalıdır. $l_e > 1.5d$

Büyük dairesel delik veya oval delik kullanılması durumunda, delik kenarı ile en yakın diğer delik kenarı arasındaki mesafe bulon çapının 2 katından az olmamalıdır, delik kenarı ile eleman kenarı arasındaki mesafe bulon çapından az olmamalıdır.

8.3.2 Bulon Deliği Ezilme Dayanımı

Bulon deliğinin karakteristik ezilme dayanımı, P_{nb}, Denk (8.3.1) ile hesaplanacaktır. Bu bölümde verilmeyen durumlar için dayanım deneysel çalışma ile belirlenecektir.

$$P_{nb} = Cm_f dtF_u \tag{8.3.1}$$

ϕ = 0.60

C : Ezilme katsayısı, **Tablo 8.2**'den alınacaktır.

m_f : Düzeltme katsayısı, **Tablo 8.3**'ten alınacaktır.

d : Karakteristik bulon çapı

t : Levha kalınlığı

F_u : Birleştirilen eleman malzemesinin karakteristik çekme dayanımı

Tablo 8.2: Ezilme Katsayısı, *C*

	Standart Dairesel Delik Çapına Sahip Birleşimlerde		**Büyük Dairesel Delik veya Kısa Oval Deliğe Sahip Birleşimlerde**	
Birleştirilen Parçanın Kalınlığı, *t* [mm]	**Bulon Çapının Birleştirilen Elemanın Kalınlığına Oranı, *d / t***	***C***	**Bulon Çapının Birleştirilen Elemanın Kalınlığına Oranı, *d / t***	***C***
$0.6 \le t < 5$	$d / t < 10$	3	$d / t < 7$	3
	$10 \le d / t \le 22$	$4 - 0.1(d / t)$	$7 \le d / t \le 18$	$1 + 14(d / t)$
	$d / t > 22$	1.8	$d / t > 18$	1.8

Tablo 8.3: Düzeltme Katsayısı, m_f

Birleşim Tipi	m_f
Standart dairesel bulon deliği kullanılarak oluşturulan tek kayma düzlemine sahip birleşimlerde ve çift kayma düzlemine sahip birleşimlerin dış levhalarında.	1.00
Yük doğrultusuna dik kısa oval delik kullanılarak oluşturulan tek kayma düzlemine sahip birleşimlerde ve çift kayma düzlemine sahip birleşimlerin dış levhalarında.	0.55
Standart dairesel bulon deliği kullanılarak oluşturulan çift kayma düzlemine sahip birleşimlerin iç levhasında	1.33
Yük doğrultusuna dik kısa oval delik kullanılarak oluşturulan çift kayma düzlemine sahip birleşimlerin iç levhasında	0.90

8.3.3 Bulonda Çekme ve Kesme Kuvveti Dayanımı

Kesme kuvveti etkisindeki bulonun *karakteristik kesme kuvveti dayanımı*, P_{nv}, Denk. (8.3.2) ile hesaplanacaktır.

$$P_{nv} = n_{sp} F_{nv} A_b \tag{8.3.2}$$

ϕ = 0.75

A_b : Diş açılmamış bulon gövdesi karakteristik enkesit alanı

F_{nv} : Tablo 8.4'te verilen bulonun karakteristik kayma gerilmesi dayanımı

n_{sp} : Kayma düzlemi sayısı

Çekme kuvveti etkisindeki bulonun *karakteristik çekme kuvveti dayanımı*, P_{nt}, Denk. (8.3.3) ile hesaplanacaktır.

$$P_{nt} = F_{nt} A_b \tag{8.3.3}$$

ϕ = 0.75

A_b : Diş açılmamış bulon gövdesi karakteristik enkesit alanı

F_{nt} : Tablo 8.4'te verilen bulonun karakteristik çekme gerilmesi dayanımı

Çekme ve kesme kuvveti etkisindeki bulonun *karakteristik çekme kuvveti dayanımı*, P'_{nt}, Denk. (8.3.4) ile hesaplanacaktır.

$$P'_{nt} = F'_{nt} A_b \tag{8.3.4}$$

F'_{nt} : Kesme kuvveti etkisi dikkate alınarak elde edilen azaltılmış karakteristik çekme gerilmesi

$$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt} \tag{8.3.5}$$

F_{nt} : Tablo 8.4'te verilen bulonun karakteristik çekme gerilmesi dayanımı

F_{nv} : Tablo 8.4'te verilen bulonun karakteristik kayma gerilmesi dayanımı

f_{rv} : YDKT yük birleşimleri altında bulonun karakteristik gövde alanındaki en büyük kayma gerilmesi

Tablo 8.4: Bulon Malzemesi Karakteristik Gerilme Dayanımları

Bulon Sınıfı	**Karakteristik Çekme Gerilmesi Dayanımı, F_{nt} [MPa]**	**Karakteristik Kayma Gerilmesi Dayanımı, F_{nv} [MPa]**
4.6	300	180
4.8	300	180
5.6	375	225
5.8	375	225
6.8	450	270
8.8	600	360
10.9	750	450

Birleşimdeki her bir bulon için karakteristik gövde alanı göz önüne alınarak hesaplanan en büyük kayma gerilmesi, f_{rv}, değeri, tasarım kayma gerilmesi (ϕF_{nv}) değerine eşit veya daha küçük olmalıdır.

8.4 KIRILMA SINIR DURUMLARI

Bu bölümde verilen tasarım esasları, birleştirilen ince parça kalınlığının 4 mm'den daha ince olduğu soğuk şekillendirilmiş çelik yapısal elemanlar için kullanılan çelik-çelik vidalı veya bulonlu bağlantılar için geçerlidir. Birleştirilen ince parçanın kalınlığı 4 mm veya daha kalın olan bağlantılar için **ÇYTHYE-2018** kullanılacaktır.

Birleştirilen elemanlarda dayanım **Bölüm 8.4.1, 8.4.2** ve **8.4.3** uyarınca hesaplanan dayanımların en küçüğü olarak dikkate alınacaktır. Dayanım katsayısı, ϕ bulonlu birleşimlerde 0.75, vidalı birleşimlerde 0.5 olarak dikkate alınacaktır.

8.4.1 Kesme Kırılması Sınır Durumu

Her bir birleşim elemanı için *karakteristik kesme kırılması dayanımı*, P_{nbv}, Denk. (8.4.1) ile hesaplanacaktır.

$$P_{nbv} = 0.6F_u A_{nv} \tag{8.4.1}$$

A_{nv} : Kesme kırılması için net alan (yük doğrultusunda)

t : Levha kalınlığı

F_u : Birleştirilen eleman malzemesinin karakteristik çekme dayanımı

8.4.2 Çekme Kırılması Sınır Durumu

Çekme elemanında *karakteristik çekme kırılması dayanımı*, P_{nbt}, Denk. (8.4.2) ile hesaplanacaktır.

$$P_{nbt} = F_u A_e \tag{8.4.2}$$

A_e : Etkin net enkesit alanı,

$$A_e = U_{sl} A_n \tag{8.4.3}$$

U_{sl} : Gerilme düzensizliği etki katsayısı, **Tablo 8.5**'te verilmektedir

A_n : Kırılma çizgisi boyunca net enkesit alanı

Şaşırtmalı veya şaşırtmalı olmayan delikler için, kırılma çizgisi boyunca net enkesit alanı Denk. (8.4.4) ile belirlenecektir.

$$A_n = A_g - n_b d_h t + \sum \frac{s^2}{4g + 2d_h} t \qquad (8.4.4)$$

d_h : Delik çapı

s : Ardışık iki deliğin merkezleri arasında, kuvvet doğrultusundaki aralık

g : Ardışık iki deliğin merkezleri arasında, kuvvete dik doğrultudaki aralık

Tablo 8.5: Gerilme düzensizliği etki katsayısı

Durum	**U_{sl}**
Çekme elemanlarının birleşim bölgesine tüm enkesit parçalarıyla bağlanması durumu	$U_{sl} = 1.0$
L- enkesitli elemanlarının tüm enkesit parçalarıyla bağlanmaması durumu	$U_{sl} = \dfrac{1}{1.1 + \dfrac{0.5 b_1}{b_2 + b_1} + \dfrac{2\bar{x}}{l}}$
U- ve C- enkesitli elemanlarının tüm enkesit parçalarıyla bağlanmaması durumu	$U_{sl} = \dfrac{1}{1.1 + \dfrac{b_f}{b_w + 2b_f} + \dfrac{\bar{x}}{l}}$
b_1 : Korniyerin bağlanmayan kolunun dıştan dışa genişliği b_2 : Korniyerin bağlanan kolunun dıştan dışa genişliği b_f : Dıştan dışa başlık genişliği b_w : Dıştan dışa gövde yüksekliği l : Yük doğrultusundaki etkin birleşim uzunluğu $\bar{x}$: Birleşim etki alanı ağırlık merkezinin birleşim düzlemine dik uzaklığı (dışmerkezlik etkisi)	

8.4.3 Blok Kesme Yırtılması Sınır Durumu

Blok kesme yırtılması (blok kırılma) sınır durumu **Bölüm 8.4**'te verilen dayanım katsayıları kullanılarak **ÇYTHYE-2018 Bölüm 13.4.3** uyarınca kontrol edilecektir.

8.5 VİDA UÇ TİPLERİ

Soğuk şekillendirilmiş çelik yapı sistemlerinde, bağlantıların güvenliği ve montaj kolaylığı büyük ölçüde kullanılan vida türlerine bağlıdır. **Şekil 8.1**'de gösterildiği gibi, özellikle uç geometrisine

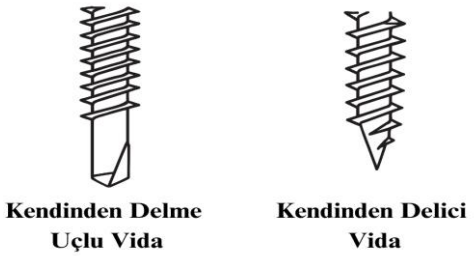
göre seçilen bağlantı elemanları, çelik kalınlığına ve birleşim tipine göre doğru performansın sağlanmasında belirleyicidir. TS EN 14566+A1 standardına göre sınıflandırılmalıdır. Aşırı sıkma durumunda diş deformasyonu ve vida başı kırılması gibi durumlar oluşacağından standartlara göre uygulanmalıdır.

8.5.1 Kendinden Delme Uçlu Vida

Bu vida tipi, kendi deliğini ön delmeye gerek olmadan açabilme ve aynı anda diş açabilme özelliğine sahiptir. Montaj sırasında dişleri deforme olmadan kendi yolunu açar ve kırılmadan sabitleme işlemini tamamlar. 0.8 mm veya daha kalın çelik elemanlar için kullanılmalıdır. Profil birleşimleri, bağlantı elemanı plakaları, sac-sandviç panellerin taşıyıcıya montajında kullanılmaktadır.

8.5.2 Kendinden Delici Vida

Daha ince kesitli çelik malzemelerde delme işlemi yapabilen, sivri ve konik uçlu bir vida tipidir. Alçı levha, OSB, ince galvanizli saclar gibi rijit kaplama elemanlarını 0.8 mm veya daha ince çelik yüzeylere sabitlemekte kullanılmaktadır. Ön delik gerektirmeden kendi yolunu açarken belirli bir delinme kuvveti uygular. Bu vida tipi, deformasyona hassas elemanlarla yapılan bağlantılarda avantaj sağlar.



Şekil 8.1: Yaygın Kullanılan Vida Uç Tipleri

8.6 VİDA BAŞLIK TİPLERİ VE UYGULAMA ALANLARI

Soğuk şekillendirilmiş çelik yapı sistemlerinde kullanılan vidalar başlık tipleriyle farklılık gösterir. Vida başlığı, hem mekanik işlev (taşıma, oturma, yüzeyle temas) hem de estetik görünüm açısından kritik rol oynar. Kullanılan vida başlığı; bağlantının şekline, malzeme tipine, vida

torkuna ve kaplama detaylarına göre belirlenmelidir. **Şekil 8.2**'de yaygın olarak kullanılan vida başlığı tipleri gösterilmiştir. Her bir başlık tipi, belirli uygulamalar için uygundur.

Yuvarlak bombeli başlık: Geniş oturma yüzeyine sahip, çok yönlü bir başlık tipidir. Dikmelerin kanallara veya kaplama profillerine bağlantısında kullanılır. (Alçıpan profilleri, çelik kapı çerçeveleri vb.)

Değiştirilmiş rondela başlık: Değiştirilmiş rondela başlık geniş çaplı ancak düşük profilli yapısıyla bağlantı yüzeyinde minimal çıkıntı oluşturan vida başlığı türüdür. Özellikle metal file, ince levha veya hafif kaplama elemanlarının çelik taşıyıcılara sabitlenmesinde tercih edilir.

Pul tabanlı altıgen başlık: Altıgen başlıklı, yıkanmış yüzeyli bu tip, daha kalın çelik elemanlarda daha fazla tork ile çalışmak için uygundur.

Oval başlık: Aksesuarların sabitlendiği ve vida başının görünmeyeceği durumlarda tercih edilir. Geniş deliklere veya düşük profil gerektiren uygulamalarda kullanılır.

Düz başlık: Malzeme içine gömülebilen, pürüzsüz yüzey sağlayan başlık tipidir. Özellikle ahşap zemin ve bitirme malzemelerinde tercih edilir.

Dekoratif başlık: Kalın ahşap süpürgeliklerin veya sert kaplama elemanlarının çelik taşıyıcılara sabitlenmesinde kullanılır.

Yayvan kavisli başlık: Alçı levha veya kaplama paneli gibi yüzeylerin zarar görmeden sabitlenmesi için konik şekilde içe gömülür. Malzemeyi ezmeden yüzeye oturur.

Düşük profilli başlık: Vida başlığının üzeri kaplanacaksa veya dıştan görünmesi istenmiyorsa tercih edilir. Rijit kaplamaların altına gizli kalacak şekilde uygulanır.

Yayvan başlık: Geniş yüzeyli başlığı sayesinde yumuşak malzemeleri sabitlerken bastırma yüzeyi sağlar. Temiz ve düz görünüm istenen yerlerde uygulanır.

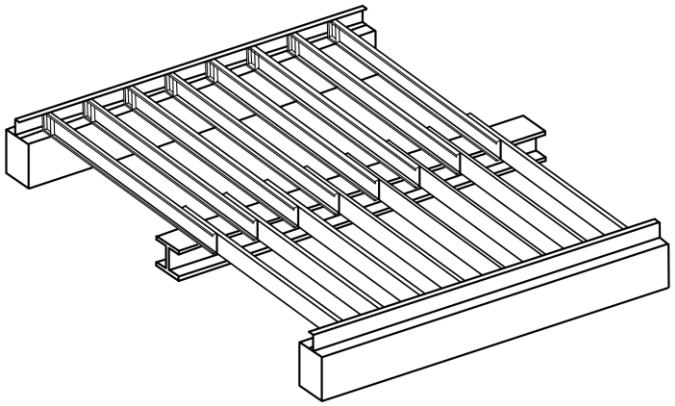
Şekil 8.2: Vida Başlığı Tipleri

9 TEMEL VE ANKRAJ TASARIMI

9.1 TEMEL TASARIMI

Hafif çelik taşıyıcı sistemlerle inşa edilen yapıların temelleri, binanın yükünü güvenli şekilde zemine aktarmak üzere tasarlanmalıdır. Temel tasarımında, yapının ağırlığı ve soğuk şekillendirilmiş çelik elemanların rijitlik özellikleri dikkate alınmalıdır.

Temel türü seçiminde yapının oturacağı zemin koşulları (zemin taşıma kapasitesi, oturma miktarları vb.) belirleyici olacaktır. Yapının taşıyıcı sistem özelliği, yük dağılımı ve oturma hassasiyetleri dikkate alınarak radye temel veya sürekli temel sistemlerinden biri tercih edilmelidir. Sürekli temel kullanılması durumunda ise, zemin kaynaklı olumsuz etkileri (rutubet, zemin hareketleri, farklı oturmalar vb.) minimize etmek için **Şekil 9.1**'de belirtildiği gibi temellerin birbirine bağlanması zorunludur. Nem ve sudan korunması amacıyla gerekli izolasyon tedbirleri alınmalıdır ve uygun yalıtım uygulamaları yapılmalıdır.



Şekil 9.1: Temel Sistemi (Örnek)

Sürekli temelin görevi, zemin ile yapı taşıyıcı sistemi arasındaki doğrudan etkileşimi kesmek, zemin hareketlerinden oluşabilecek yapısal deformasyonları en aza indirgemektir.

Hafif çelik taşıyıcı sistem elemanları, temel betonu veya temel kirişi üzerine **Bölüm 9.2**'de belirtildiği gibi güvenli şekilde ankrajlanmalıdır. Temel-çelik taşıyıcı sistem bağlantılarında, Yönetmeliklerde belirtilen korozyona dayanıklı bağlantı elemanları kullanılmalıdır.

9.2 ANKRAJ TASARIMI

Kayma ve bağlantı ankrajları TS EN ISO 898-1 standardına uygun çelik elemanlardan imal edilmeli ve seçilecek ankraj tipi; çekme kuvveti, kesme kuvveti, beton dayanımı, yapının sismik tasarım sınıfı, korozyon riski, sıcaklık koşulları, montaj kolaylığı ve yangın dayanımı gibi kriterler dikkate alınarak belirlenmelidir.

Kayma ankrajı, oluşan kesme kuvvetini aktaracak sayıda yerleştirilecektir.

Şekil 9.2'de çekme kuvveti aktarma elemanı gösterilmiştir. Çekme kuvveti aktarma elemanı, düşey taşıyıcı elemanların (uç dikme, köşe dikme vs.) temele veya döşemeye rijit şekilde sabitlenmesini sağlayan, çekmeye karşı çalışan özel bağlantı elemanlarıdır. Bu sistemler, çerçeve elemanlarının devrilmesini veya yukarı çekilmesini önlemek, köşe panellerde veya yatay yük etkisindeki duvarlarda rijitlik sağlamak amacıyla kullanılır.

Çekme kuvveti aktarma elemanları; hafif çelik çerçeve sistemlerinde düşey duvar panellerinin temele bağlantısı, kesme duvarı uçlarında oluşan çekme kuvvetlerinin aktarımı, deprem etkisindeki çerçeve sistemlerinin yukarı yönlü kuvvetlere karşı korunması ve üst kat kolonlarının alt kata rijit bağlanması gereken durumlarda uygulanmalıdır. Vida, bulon, kaynak veya ankraj saplaması ile betonarme temele sabitlenir. Uç dikmelerde ya da köşe profillerine hizalanarak monte edilir. İki taraflı bağlantı olarak kullanılmalıdır.

Çekme kuvveti aktarma elemanları bağlantılar aşağıdaki kriterlere göre boyutlandırılmalıdır:

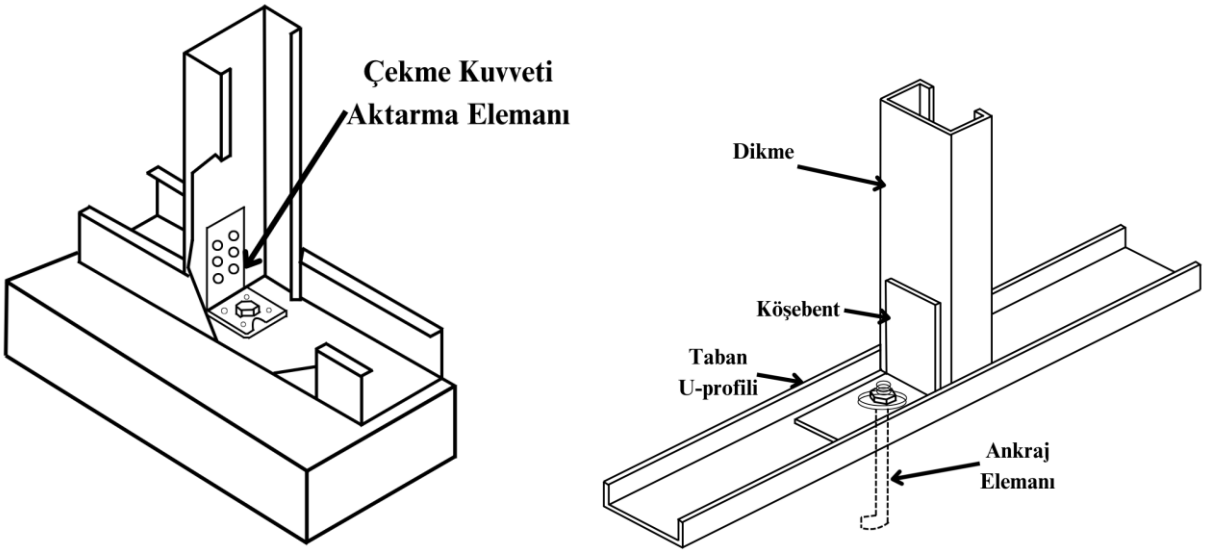
(a) Çekme kuvveti kapasitesi, hesaplanan çekme kuvvetinden büyük olmalıdır.

(b) Yatay yüklerin neden olduğu moment/çekme etkisi altında ankraj kuvveti kontrolü yapılmalıdır.

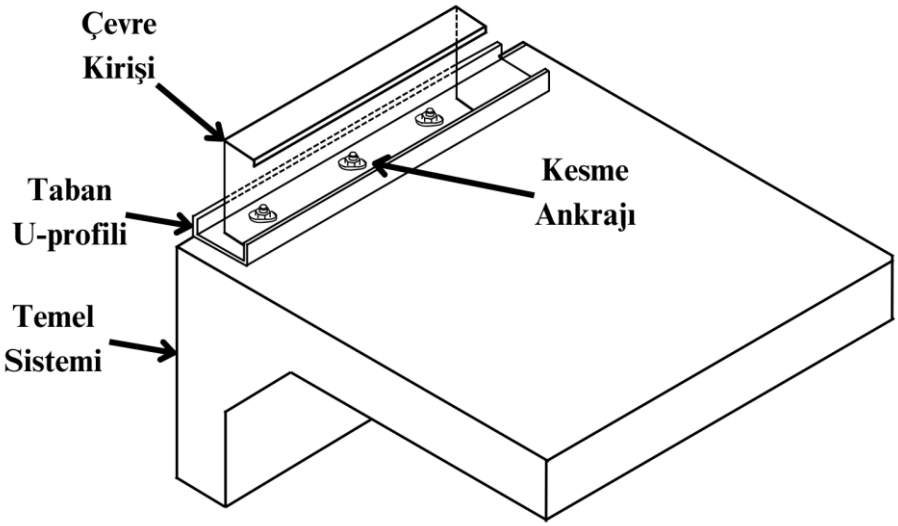
(c) Betonarme temele gömülü ankrajların çekme ve sıyrılma dayanımı TS EN 1992-4 uyarınca kontrol edilmelidir.

(d) Bağlantı elemanlarının (bulon, vida) kayma ve çekme dayanımı elemana etki eden kuvvetlerden büyük olmalıdır.

Alt ankrajlar betonarme döşeme plakası içine gömülü kimyasal veya mekanik dübellerle sabitlenir. Üst bağlantı ise çelik profildeki deliklere geçirilmiş yüksek dayanımlı bulonlarla yapılır. Bağlantının rijitliği için araya ek levha veya şekil verici şablonlar konulması gerekmektedir.



Şekil 9.2: Çekme kuvveti aktarma elemanı



Şekil 9.3: Kesme ankrajı

9.2.1 Betonarme içine gömülü ankrajlar ve çekme kuvveti aktarma elemanları bağlantıları

Deprem etkisindeki yapı sistemlerinde düşey taşıyıcı elemanların temel bağlantıları kritik öneme sahiptir. **Şekil 9.4**'te betonarme döşemeye veya temel plakaya gömülü olarak kullanılan çeşitli mekanik ankraj tipleri gösterilmektedir. Bu bağlantı türleri, çekme kuvveti aktarma elemanları emniyetli bir şekilde sabitlenmesinde kullanılmaktadır.

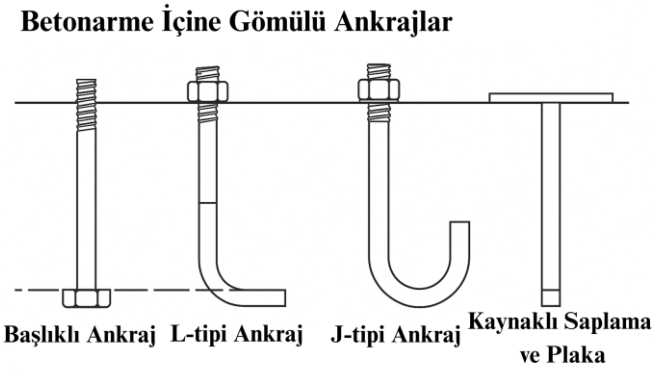
Başlıklı Ankraj: Üst kısmı somunla sabitlenen, alt kısmı doğrudan beton içine gömülen düz ankraj çubuğudur. Yüksek çekme dayanımı sağlar, ancak zayıf yapışma nedeniyle yalnızca sınırlı çekme yükleri için uygundur.

L-Tipi Ankraj: Alt kısmı L-şekline bükülerek betona gömülür. Betonla mekanik kilit oluşturduğundan çekme yüklerine karşı daha güvenlidir.

J-Tipi Ankraj: L-tipi cıvatanın muadili olarak kullanılmaktadır. Uç kısmına J-şekli vererek daha iyi gömme derinliği ve yük dağılımı sağlar. Daha büyük çekme yükleri altında L-şekli cıvataya alternatif olarak kullanılmalıdır.

Kaynaklı Saplama ve Plaka: Düz ankraj çubuğu bir çelik taban plakaya kaynaklanarak kullanılabilir. Bu sistem, yükün geniş bir alana yayılmasını sağlar ve yüksek performanslı bağlantılar için tercih edilmelidir.

Seçilecek ankraj tipi, çekme yükü, beton dayanımı, montaj kolaylığı ve yangın dayanımı gibi kriterlere göre belirlenmelidir. Tüm ankraj sistemleri, betonarme yüzeye tasarım gömme derinliği ve gerekli kenar uzaklıkları sağlanarak uygulanmalıdır. Kimyasal dübeller yerine kullanılan mekanik dübeller, montaj öncesi yerleştirildiğinden dolayı yapının inşası başlamadan önce planlanmalıdır.



Şekil 9.4: Betonarme içine gömülü ankraj çeşitleri

9.2.2 Sonradan yerleştirilen mekanik ankraj sistemleri

Özellikle güçlendirme uygulamalarında veya beton dökümünden sonra yapılan montaj işlemlerinde kullanılan mekanik ankraj sistemleri, yapı elemanlarının mevcut beton yüzeylere sabitlenmesini sağlar.

Şekil 9.5'de en yaygın kullanılan sonradan yerleştirilen mekanik ankraj türleri gösterilmiştir. Bu sistemler, darbe, burulma, çekme ve kesme kuvvetlerine karşı farklı çalışma prensiplerine sahiptir.

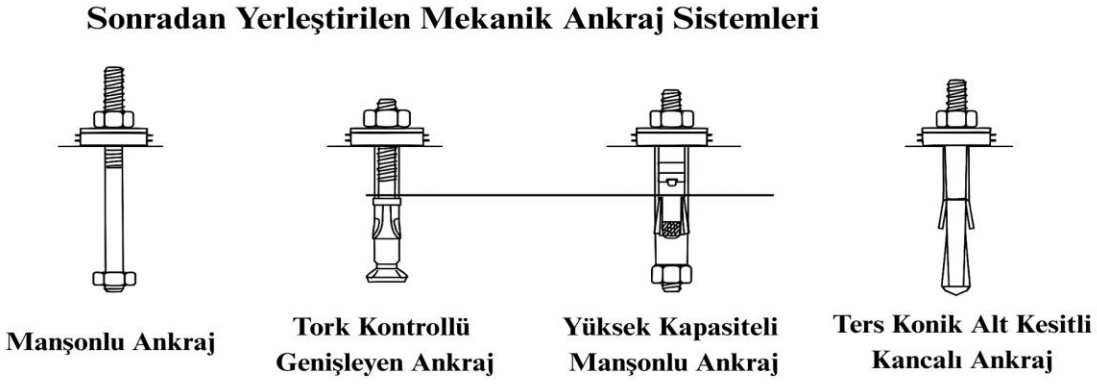
Manşonlu Ankraj: Gövde üzerindeki manşon yardımıyla, sıkıldıkça beton yüzeye oturan bir tür "yayılma tipi" ankrajdır. Genellikle hafif bağlantılar veya sınırlı çekme kuvvetleri için uygundur.

Tork Kontrollü Genişleyen Ankraj: Ankrajın ucundaki konik eleman, somun sıkıldıkça dış kılıfı genişleterek betonla mekanik kilit oluşturur. Orta-yüksek çekme ve kesme dayanımı sağlar. Montajda kullanılan ankraj tipine uygun tork değerinde sıkılmalıdır.

Yüksek Kapasiteli Manşonlu Ankraj: İçerdiği genişleme sistemi sayesinde yüksek çekme ve kesme yükleri için kullanılmalıdır. Genellikle deprem yükü taşıyan elemanlarda tercih edilmelidir.

Ters Konik Alt Kesitli Kancalı Ankraj: Ankraj ucundaki özel kesitli kanca beton içinde ters konik bir alana oturtularak sabitlenir. Kesme kuvvetine karşı yüksek performansa sahiptir. Kimyasal sistemlere alternatif olarak kullanılır.

Beton dayanımı, çatlak durumu ve kenar mesafeleri dikkate alınarak ankraj yerleşimi yapılmalıdır. Üretici teknik dokümantasyonu uyarınca minimum gömme derinliği, kenar mesafesi ve sıkma torku sağlanmalıdır. Yangın ve sismik performans gerektiren sistemlerde özel sertifikalı ankraj sistemleri tercih edilmelidir.



Şekil 9.5: Sonradan yerleştirilen mekanik ankraj çeşitleri

9.2.3 Sonradan Yerleştirilen Yapıştırma (Kimyasal) Ankraj Sistemleri

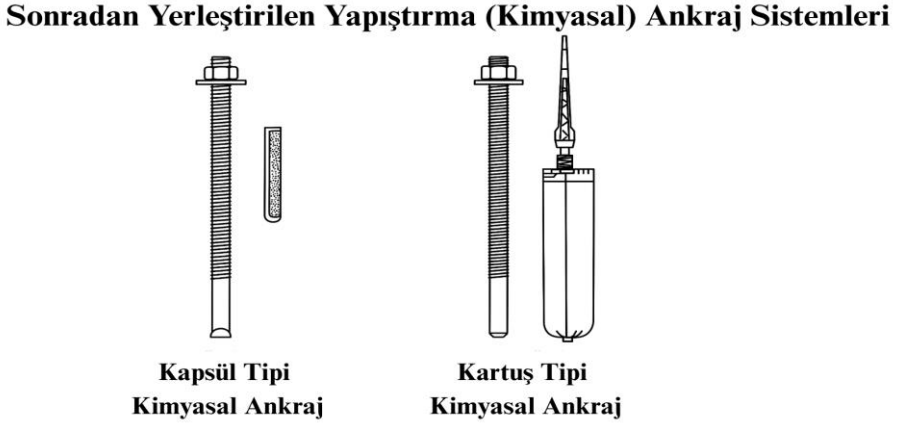
Sonradan yerleştirilen kimyasal ankraj sistemleri, çelik ankraj çubuklarının veya saplamaların delme işlemi sonrası beton yüzeye yapıştırıcı ile sabitlenmesi esasına dayanır. Bu sistemler,

Bölüm 9.2.2'de belirtilen sonradan yerleştirilen mekanik ankraj sistemler gibi, yüksek çekme ve kesme dayanımı gerektiren uygulamalarda, özellikle çekme kuvveti aktarma elemanları, çerçeve montajı ve güçlendirme çalışmaları gibi durumlarda tercih edilebilir. Bu sistemler, sismik performansı yüksek bağlantı sağlar. Ayrıca, kenar mesafesi düşük uygulamalarda çatlama riskini azaltır. Mekanik ankraja göre daha esnek şekilde yerleştirilebilir. **Şekil 9.6**'da uygulama pratiğinde kullanılabilecek iki temel sistem gösterilmektedir.

Kapsül Tipi Kimyasal Ankraj: Ankraj deliği içerisine yerleştirilen cam kapsül, çelik saplamanın döndürülmesiyle kırılarak yerleştirilir. Kapsül içinde reçine ve sertleştirici birlikte bulunmaktadır. Bu kimyasallar, çubuğun döndürülmesiyle karışarak kürlenme başlar. Montaj süresi sınırlıdır ve kontrollü uygulama gerektirir.

Kartuş Tipi Kimyasal Ankraj: Kartuş sistemi ile özel bir karıştırıcı uç aracılığıyla reçine ve sertleştirici eş zamanlı olarak deliğe enjekte edilir. Uygulama kolaylığının, dozaj kontrolünün ve büyük çaplı çubukların gerekli olduğu durumlarda kullanılabilir. Geniş gömme derinliği ve yüksek yük taşıma kapasitesi sağlamaktadır.

Uygulama sırasında, deliğin toz, nem ve yağdan tamamen arındırılması gerekir. Temizlik basınçlı hava ve fırça ile yapılmalıdır. Kürlenme süresi, ortam sıcaklığına bağlı olarak üretici tarafından belirtilen değerlere göre beklenmelidir. Gömme derinliği, kenar mesafesi ve eksenler arası mesafe, TS EN 1992-4 ve ETAG 001 standartlarına uygun olmalıdır. Uygulama sonrası ankrajın eksenel doğrultuda yük taşıyabileceğinden emin olmak için gerektiğinde çekme testi yapılmalıdır.



Şekil 9.6: Sonradan yerleştirilen kimyasal ankraj çeşitleri

9.3 BAĞLANTI GÖÇME MEKANİZMALARI

Bağlantı elemanlarının beton içerisindeki performansı, **Şekil 9.7**'de gösterildiği gibi çeşitli göçme mekanizmalarına maruz kalabilir. Bu bölümde bu göçme mekanizmaları tanımlanmıştır. Nedenleri, tasarımda dikkat edilmesi gereken durumlar ve tasarım parametreleri belirtilmiştir.

Çelik Elemanın Akması veya Kopması: Çelik ankraj elemanının malzeme dayanımının aşılması sonucu oluşan akma veya kopma durumudur. Ankrajın taşıma kapasitesinin üzerinde yüklenmesi ve malzeme kalitesinin veya ankraj türünün yük koşullarına uygun olmamasından ortaya çıkmaktadır.

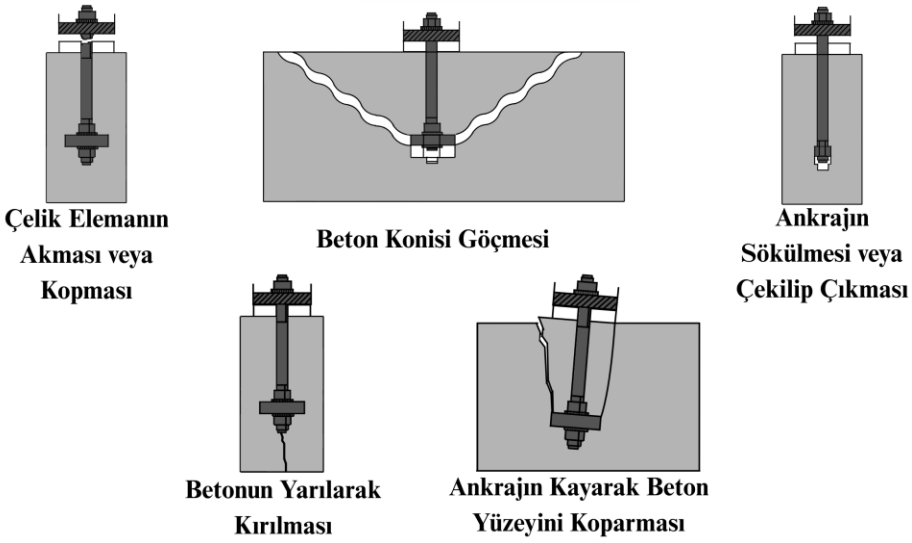
Beton Konisi Göçmesi: Ankraj elemanının çevresinde betonun konik şekilli olarak çatlayıp kırılmasıdır. Ankrajın gömülme derinliği, betonun basınç dayanımı, ankrajlar arası mesafe, beton kenarına olan mesafe bu durumun asıl sebebidir. Beton konisi göçmesinin önlenmesi için ankraj derinliği, beton kalitesi ve ankrajların yerleşimi TS EN 1992-4 ve EOTA teknik dökümanlarına uygun olmalıdır.

Ankrajın Sökülmesi veya Çekilip Çıkması: Ankraj elemanının beton içinde yeterli tutunmayı sağlayamayarak doğrudan çekilerek çıkması durumudur. Bu durumda beton kırılması genellikle azdır veya hiç görülmez. Yetersiz ankraj derinliği ve hatalı montaj bu göçme türünün başlıca nedenleridir.

Betonun Yarılarak Kırılması: Ankrajların beton kenarına çok yakın veya birbirine yakın yerleştirilmesi sebebiyle betonun çatlayarak yarılmasıdır. Bu göçme mekanizmasının önlenmesi için minimum kenar mesafeleri ve ankrajlar arası açıklıklar TS EN 1992-4 ve EOTA teknik dökümanlarına uygun olmalıdır.

Ankrajın Kayarak Beton Yüzeyini Koparması: Ankrajların kesme yüklerine maruz kalması sonucu beton yüzeyinin sığ ve yüzeye paralel bir şekilde kopması durumudur. Beton kenarına yakın ankraj düzenlemeleri bu göçme türüne sebep olabilir. Kenar mesafesi ve ankraj dizilimleri uygun şekilde tasarlanmalıdır.

Bileşik Göçme Türleri: Ankraj elemanlarının aynı anda hem çekme hem de kesme kuvvetlerine maruz kalması durumudur. Bileşik yükler altındaki ankrajlarda göçme riski daha yüksektir ve bu nedenle tasarımda birleşik gerilme etkileri dikkate alınmalıdır.



Şekil 9.7: Bağlantı göçme mekanizmaları

10 İMALAT VE MONTAJ

10.1 ELEMANLARDA AÇILACAK DELİKLER İÇİN KURALLAR

Bu bölümde, mekanik ve elektrik tesisatları için veya diğer nedenlerle taşıyıcı elemanlarda açılacak deliklerle ilgili olarak, uyulması gereken koşullar verilmiştir.

Profil gövdelerine delik açılması gerektiğinde, aşağıdaki kurallara uyulacaktır.

(a) Profillerin gövdelerinde açılacak delikler mutlaka gövdenin düşey eksenini ortalayacaktır.

(b) Profildeki dairesel delik çapı, d_h ve profilin düz olan gövde yüksekliği, h olmak üzere $d_h/h < 0.40$ olacaktır.

(c) Delik açılması durumunda $h/t < 200$ enkesit koşulu sağlanacaktır.

(d) Delikler arasındaki uzaklık merkezden merkeze en az 600 mm olacaktır.

(e) Delikler arası net uzaklık en az 450 mm olacaktır.

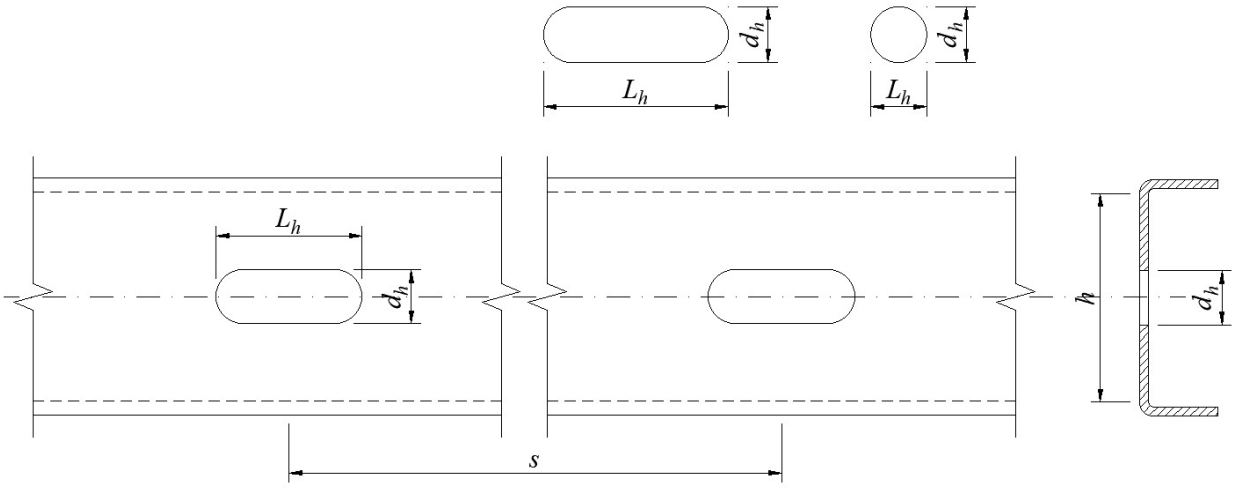
(f) Dairesel deliklerin çapı en çok 150 mm olacaktır.

(g) Delikler profillerin ucundan en az 300 mm net uzaklıkta açılacaktır.

(h) Dairesel olmayan deliklerde, delik yüksekliği en fazla 65 mm, delik boyu ise en fazla 115 mm olacaktır.

(i) Dairesel olmayan deliklerde köşelerin iç büküm yarı çapları $r_d > 2t$ koşulunu sağlayacaktır.

(j) Rijitleştirilmiş gövde kesiti için $1 \leq a/h \leq 2$,



Şekil 10.1: Boşluk geometrisi

Burada,

d_h : Boşluk yüksekliği

L_h : Boşluk genişliği

h : Düz gövde yüksekliği

t : Gövde kalınlığı

a : **Şekil 4.2**'de belirtilen enine rijitleştirilmiş gövde kesitine sahip elemanlarda rijitlik elemanları arası mesafe veya enine rijitleştirilmemiş gövde kesitine sahip elemanlarda kesitin sonundan boşluğun merkezine kadar olan mesafenin iki katı

10.2 İMALAT VE MONTAJ KONTROL LİSTESİ

Sahadaki imalat ve montajın hem statik projeye uygun hem de malzeme özelliklerine göre kontrol edilmesi adına **Tablo 10.1** kullanılmalıdır.

Tablo 10.1: İmalat ve Montaj Kontrol Listesi

	Kontrol Maddesi	Kontrol Detayı	Uygun ✓	Uygun Değil	Açıklama
1	Malzeme Kontrolü				
1.1	Çelik Kalitesi	Kullanılan çelik, TS EN 10346 ve TS EN ISO 1461 standartlarına uygun			
1.2	Galvaniz Kaplama	Galvaniz kaplama kalınlığı ≥275 g/m² mi?			
1.3	Vida ve Bağlantılar	Vidalar ASTM C1513 standardına uygun mu?			
1.4	Sahada Açılan Delikler	Sahada açılan delikler ve kesimler, çinko esaslı boya ile tamir edildi mi?			
2	Enkesit Koşulları Kontrolü				
2.1	Profil Ölçüleri	Başlık, gövde ve rijitleştirici boyutları sınır değerleri sağlıyor mu?			
2.2	Profil Büküm Yarıçapları	İç büküm yarıçapları Yönetmelikte belirtilen sınır değerleri sağlıyor mu?			
2.3	Başlık Genişliği	Başlık genişliği minimum sınır değerleri sağlıyor mu?			
3	Yapısal Elemanların Projeye Uygunluk Kontrolü				
3.1	Profillerin Üretimi	Profillerin projeye doğruluğu ve uygunluğu kontrol edildi mi?			
3.2	Kesitlerin Kontrolü	Profillerin şekil, boyut ve yüzey düzgünlüğü projeyle karşılaştırıldı ve			
3.3	Vida Delikleri	Vida deliklerinin çapları, konumları ve sıklıkları projeye uygun mu?			
4	Montaj Kontrolleri				
4.1	Elemanların Yerleşimi	Elemanların konumlandırılması ve hizalanması doğru mu?			
4.2	Birleşimler	Elemanların birleşim yerlerinde belirtilen sayıda vida kullanıldı mı?			
4.3	Ankraj Uygulaması	Ankrajlar, belirtilen çap ve aralıklarda yerleştirildi mi?			
4.4	Bağlantı Köşebentleri	Köşebentler, belirtilen sayı ve ölçülerde vidalarla bağlandı mı?			
5	Panel Sistemleri Kontrolü				
5.1	Kaplama Paneli Yerleşimi	Dikme aralığı en çok. 625 mm ve dikmeler ≥0.9 mm kalınlığında mı?			
5.2	Panel Çerçevesi	Üst ve alt başlıklar ≥0.8 mm kalınlığında profillerden oluşuyor mu?			
5.3	Vida Bağlantıları	Kaplama panelleri dört kenarından yeterli sıklıkta vidalanmış mı?			
5.4	Yatay Kuşaklar	Panel yüksekliğinin yarısını geçmeyecek şekilde kuşaklar yerleştirilmiş			
6	Döşeme Sistemi Kontrolü				
6.1	Döşeme Kirişleri	Eleman seçim tablolarına uygun döşeme kirişleri yerleştirilmiş mi?			
6.2	Gövde Takviyeleri	Gövde takviyeleri ve bağlantı elemanları doğru şekilde yeterli oranda			
6.3	Döşeme Bağlantıları	Döşeme kirişlerinin gövdeleri ve birleşimleri projeye uygun vidalarla			
7	Yangın Tasarımı Kontrolü				
7.1	Pasif Yangın Koruma	Yönetmeliğe uygun pasif yangın koruma malzemeleri uygulandı mı?			
7.2	Aktif Yangın Koruma	Yangın koruma sistemleri yönetmeliğe göre eksiksiz ve çalışır durumda			

11 YANGIN TASARIMI

11.1 GEREKLİLİKLER

Bu bölüm hafif çelik bina elemanlarının (kirişler/kolonlar veya döşemeler/yük taşıyıcı duvarlar) Yangına Dayanım Seviyesi (YDS) tasarımını açıklamaktadır. Yangına karşı tasarım için bu bölümde verilen esaslara ve Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik esaslarına uyulmalıdır. Ayrıca bu esaslarda yer alan yangın ile ilgili terimler için Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'ten yararlanılmalıdır.

Hafif çelik bina elemanlarının yüzey alanı/kütle oranı yüksek olduğundan, bu elemanlarda sıcaklık artışı genellikle hızlı ve yüksek seviyelerde gerçekleşir. Bu nedenle, yangına dayanım seviyesi (YDS) gereken durumlarda, bu elemanlar sıklıkla yangına dayanıklı bariyerlerle kaplanmalıdır veya bu bariyerlerin içinde yer almalıdır. Bu bölüm, bu şekilde korunmuş hafif çelik yapısal elemanlara uygulanması için oluşturulmuştur.

Bağlantılar, **Bölüm 11.4**'e uygun olarak tasarlanmalı ve yangından sonra yeterli dayanımı sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir.

Hafif çelik yapı elemanlarının yangın altındaki performansının değerlendirilmesi için iki yöntemden biri uygulanmalıdır.

i.) Malzemelere uygun yangın testlerine (EN 1365-1 (taşıyıcı duvarlar), EN 1364-1 (taşıyıcı olmayan bölme duvarlar) veya ASTM E119) göre test edilmiş olması gereklidir. Belirli bir yangın senaryosu altında yapı elemanları yükleme altına alınarak deneyler yapılır ve bu testler sonucunda elemanların performansı ile uygunluğu değerlendirilir. Deney süresince sıcaklık artışı ile taşıma kapasitesinin zamana bağlı değişimi kaydedilir ve ilgili standartlarda tanımlanan sınır değerlerin sağlandığı belgelenir.

ii.) Deney yapılmayan durumlarda, yangın etkisi altındaki taşıyıcı elemanların dayanımının hesaplanması için 3 farklı yöntem tercih edilebilir.

a) Detaylı ısı iletim analizleri kullanılarak yangın senaryoları oluşturulur ve yapı elemanlarının yangın altındaki davranışı sayısal olarak simüle edilir. Öncelikle sıcaklık dağılımı belirlenir; ardından bu sıcaklık değerleri altında elemanların taşıma kapasitesi hesaplanarak performans değerlendirmesi yapılır.

b) Yangının süresine bağlı olarak değişen ortam sıcaklığı hesaplanılarak malzeme katsayılarındaki değişim hesaplanır. Yangın hesabında kullanılacak sıcaklıklar, aşağıdaki sıcaklık–zaman eğrisi ile belirlenir:

$$T_{ortam(gaz)} = 2 + 345\log_{10}(8t + 1)\ [^0C] \tag{11.1.1}$$

Bu ifade, yangına maruz kalan ortamın (gaz) sıcaklık değerini verir. t, yangının toplam süresini ifade etmektedir. Bu değer, güncel Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'te belirtilen esaslar çerçevesinde kullanılmalıdır. Eleman sıcaklığı (T_{eleman}) ise, kesit faktörü, malzemenin ısı kapasitesi, dış yüzeydeki ısı geçiş katsayısı ve varsa koruyucu kaplama ısıl direnci dikkate alınarak hesaplanır. Korumasız sistemlerde taşıyıcı eleman sıcaklığı gaz sıcaklığıyla aynı kabul edilmektedir. Kaplama ile taşıyıcı elemanların korunduğu sistemlerde ise, gaz ile çelik arasında ısı geçişi hem konveksiyon hem de radyasyon yoluyla gerçekleşir. Bu iki etki birleştirilerek eşdeğer ısı geçiş katsayısı hesaplanır:

$$h_{eq} = h_c + h_r \tag{11.1.2}$$

$$h_r \cong 4\varepsilon\sigma T_m^3 \tag{11.1.3}$$

Burada:

h_c : Konveksiyon katsayısı (W/m²K)

ε : Yayınım katsayısı

σ : Stefan–Boltzmann sabiti

T_m : Ortam–çelik arasındaki ortalama mutlak sıcaklık

Kaplama var ise, eklenen ısıl direnç dikkate alınır. Bu durumda etkin ısı geçiş katsayısı:

$$h_{eff} = \frac{1}{\frac{1}{h_{eq}} + R_{prot}} \tag{11.1.4}$$

Burada, $R_{prot} = d/k$ koruyucu tabakanın ısıl direncidir (kalınlık/ısıl iletkenlik). Yığılmış kapasite modeline göre diferansiyel denklem:

$$\frac{d\theta_a}{dt} = \frac{A_m}{V}\frac{h_{eff}\left[T_g(t) - \theta_a\right]}{\rho c} \tag{11.1.5}$$

Burada:

θ_a : $T_{eleman}(t)$ çeliğin sıcaklığı

A_m/V : Kesit faktörü (m^{-1})

ρ : Çeliğin yoğunluğu (kg/m^3)

c : Özgül ısı kapasitesi (J/kgK)

Bu denklem zaman adımlarıyla çözülerek çeliğin sıcaklık–zaman eğrisi elde edilir. Çelik sıcaklığı $T_{eleman}(t)$ belirlendikten sonra, **Tablo 11.1**'de belirtilen ilgili sıcaklıktaki indirgeme katsayılarıyla malzeme özellikleri azaltılarak tasarıma devam edilebilir.

c) Malzeme dayanım özellikleri, yangın etkisi altındaki sıcaklıklar dikkate alınarak, **Tablo 11.1**'de belirtilen 400 °C'deki dayanım katsayıları ile çarpılarak indirgenmiş olarak kabul edilmelidir. Bu indirgenmiş malzeme özellikleri kullanılarak yalnızca ölü ve hareketli yükler altında analiz yapılmalı ve yeterli yük/kapasite oranının sağlandığı kontrol edilmelidir.

11.2 YAPISAL DAYANIMIN BELİRLENMESİ VE PERFORMANS ANALİZİ

Yapısal analizler, koruyucu sistemlerle sınırlandırılmış hafif çelik elemanın burkulma davranışlarını simüle etmek için kullanılmaktadır. Yangından sonra binanın yapısal performansının değerlendirilmesi ve yeterli mekanik özellikleri sağlayıp sağlamadığının belirlenmesinde **Bölüm 11.3**'te belirtilen azaltılmış malzeme özellikleri kullanılmalı ve performans analizi yürütülmelidir.

11.3 YÜKSEK SICAKLIKTA MEKANİK VE TERMAL ÖZELLİKLER

11.3.1 Genel

Hafif çelik elemanların yüksek sıcaklıktaki mekanik özellikleri, kimyasal bileşime, soğuk şekillendirme seviyesine ve üretim sürecine bağlıdır. Akma dayanımı, elastisite modülü, özgül ısı, ısı iletkenliği ve göreli termal uzamanın sıcaklıkla değişimi **Tablo 11.1**'de verilmiştir. Aradaki değerler için lineer interpolasyon kullanılabilir.

Tablo 11.1: Sıcaklığa bağlı mekanik özelliklerin değişimi

T	**Akma Dayanımı Azaltma Katsayısı**	**Kopma Dayanımı Azaltma Katsayısı**	**Elastisite Modülü Azaltma Katsayısı**	**Özgül Isının Sıcaklıkla Değişimi**	**Isı İletkenliğinin Sıcaklıkla Değişimi**	**Göreli Termal Uzamanın Sıcaklıkla Değişimi**
50	1.00	1.00	1.00	460	52.34	0.0004
100	1.00	1.00	1.00	488	50.67	0.0010
150	0.99	1.00	0.98	510	49.01	0.0016
200	0.98	1.00	0.95	530	47.34	0.0023
250	0.94	0.99	0.90	547	45.68	0.0030
300	0.88	0.97	0.83	565	44.01	0.0037
350	0.79	0.92	0.75	584	42.35	0.0044
400	0.68	0.81	0.66	606	40.68	0.0052
450	0.57	0.65	0.56	633	39.02	0.0060
500	0.45	0.46	0.48	667	37.35	0.0068
550	0.36	0.31	0.40	708	35.69	0.0076
600	0.28	0.20	0.33	760	34.02	0.0084
650	0.21	0.14	0.27	814	32.36	0.0092
700	0.16	0.10	0.21	1008	30.69	0.0101
750	0.12	0.07	0.17	1483	29.03	0.0110
800	0.09	0.06	0.13	803	27.30	0.0110
850	0.07	0.05	0.10	695	27.30	0.0110
900	0.05	0.05	0.08	650	27.30	0.0118
950	0.04	0.04	0.06	650	27.30	0.0128
1000	0.03	0.04	0.04	650	27.30	0.0138

11.3.2 Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisinin Sıcaklıkla Değişimi

Sıcaklığın hafif çelik elemanlarda gerilme-şekil değiştirme ilişkisi üzerindeki etkisi aşağıda verilmiştir.

$$\varepsilon_T = \frac{f_T}{E_T} + \beta \left(\frac{f_{y,T}}{E_T}\right)\left(\frac{f_T}{f_{y,T}}\right)^{\eta_T} \qquad (11.3.1)$$

Burada:

ε_T : T sıcaklığındaki verilen gerilme (f_T)'ye karşılık gelen şekil değiştirme

E_T : T sıcaklığındaki elastisite modülü

$f_{y,T}$: T sıcaklığındaki akma gerilmesi

β = 0.86

$$\eta_T = -3.05x10^{-7}T^3 + 0.0005T^2 - 0.2615T + 62.653 \qquad (11.3.2)$$

11.4 BİRLEŞİM ELEMANLARI

Bağlantı noktaları, kendisine bağlanan herhangi bir elemanın gerekli yangına dayanım seviyesi (YDS) değerini sağlayabilmesi için ihtiyaç duyduğu yangın koruma malzemesinin maksimum kalınlığıyla korunmalıdır. Bu kalınlık tüm birleşimler boyunca muhafaza edilmelidir. Yangından sonra birleşim elemanlarının kontrolünde, çekme ve kesmedeki mukavemet katsayısının sıcaklıkla değişimi **Tablo 11.2**'de verilmiştir. Aradaki değerler için lineer interpolasyon kullanılabilir.

Tablo 11.2: Birleşimler için bağlantı elemanı dayanım azaltma katsayısı

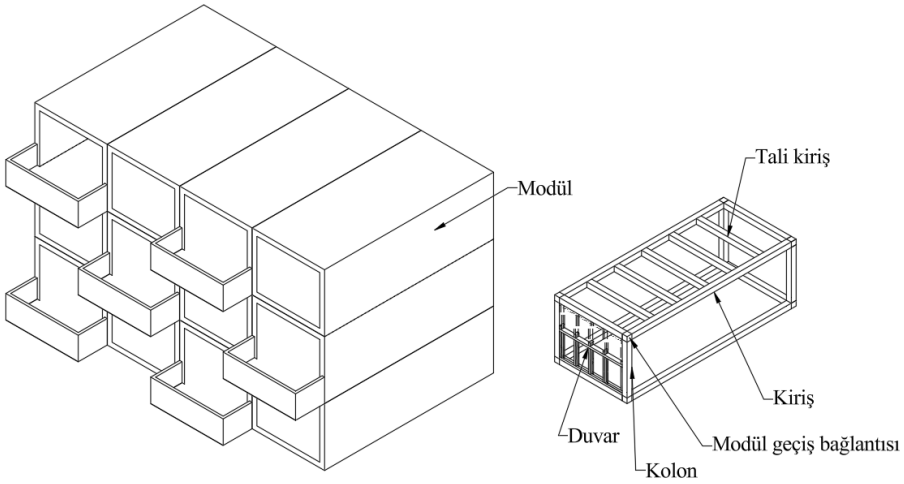
Sıcaklık (°C)	Birleşimler için Mukavemet Koruma Katsayısı (Çekme ve kesme)
20	1
100	0.97
150	0.95
200	0.94
300	0.90
400	0.78
500	0.55
600	0.22
700	0.10
800	0.07
900	0.03
1000	0

12 MODÜLER VE HİBRİT SİSTEMLER

12.1 MODÜLER YAPILAR

12.1.1 Kapsam ve Tanımlar

Modüler yapılar, fabrikada ön üretimi yapılmış, hacimsel ünitelerin şantiye ortamında birleştirilmesiyle oluşan, yapının bütünü ya da belirli bir kısmını teşkil eden sistemlerdir.



Şekil 12.1: Modüler yapı. (Örnek)

Şekil 12.2'de verilen detaylar dışında farklı bağlantı türleri de kullanılabilir. Modül elemanlarının dıştan bağlandığı durumlarda, birleşim tasarımı **Bölüm 8.3 – BULONLU BİRLEŞİMLER** hükümlerine uygun olarak yapılacaktır. Denk. 12.1.1 uyarınca yeterli dayanım için gerekli bulon sayısı elde edilecektir. **Şekil 12.2**'de verilen dört adet bulon örnek olarak verilmiştir. Bu kapsamda her bir birleşime etki eden kesme kuvveti, ilgili katta oluşan toplam kesme kuvvetinin birleşim sayısına bölünmesiyle hesaplanacak olup;

$$V_{birleşim} = \frac{V_{kat}}{Kattaki\ birleşim\ sayısı} \tag{12.1.1}$$

esas alınacaktır.

Tasarım kesme kuvveti dayanımı, $\phi_{birleşim} V_{d,birleşim}$,

$\phi_{birleşim} = 0.50$

Burada:

$V_{birleşim}$: Birleşime etki eden kesme kuvveti

V_{kat} : Kata etki eden toplam kesme kuvveti

Birleşimlerin tasarım yükleri altında elastik sınırlar içinde kaldığı doğrulanmalıdır. Birleşimlerin içten bağlantı mekanizması kullanılarak gerçekleştirildiği durumlarda, birleşimin kapasitesi ayrıntılı bir sonlu eleman modeli oluşturularak belirlenmeli ve bu analiz sonucuna göre birleşimin güvenliği sağlanmalıdır. Sonlu eleman modellemesinin yapılamadığı durumlarda, bağlantının talep seviyelerinin (eksenel yük ve kesme) deneysel yöntemlerle doğrulanması zorunludur. Deneysel kontroller, FEMA/SAC yükleme protokolü ve ANSI/AISC 341–22 uyarınca yürütülmelidir.

12.1.2 Yapısal Sistem Gereklilikleri

Modül içi taşıyıcı sistem, **Bölüm 3**'te verilen en kesit koşullarına uygun olarak C, Z, U kesitli soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlar ile yapısal çelik elemanlardan oluşabilir.

Modüller arası yatay ve düşey yük aktarımı için yapısal olarak sürekli ve emniyetli bağlantı sistemleri (bulonlu, kaynaklı, plaka) ile birleştirilmelidir.

12.1.3 Stabilite ve Yanal Yük Taşıma

Bütün modüler sistem, yanal yüklere karşı içten ya da modül grubu bazında birleştirilerek stabil (kararlı) hale getirilmelidir.

Eleman şekildeğiştirmesine ait (P – δ) ve sistem yerdeğiştirmesine ait (P – Δ) ikinci mertebe etkileri için TBDY 2018 dikkate alınacaktır.

12.1.4 Kat Adedi ve Kullanım Sınırları

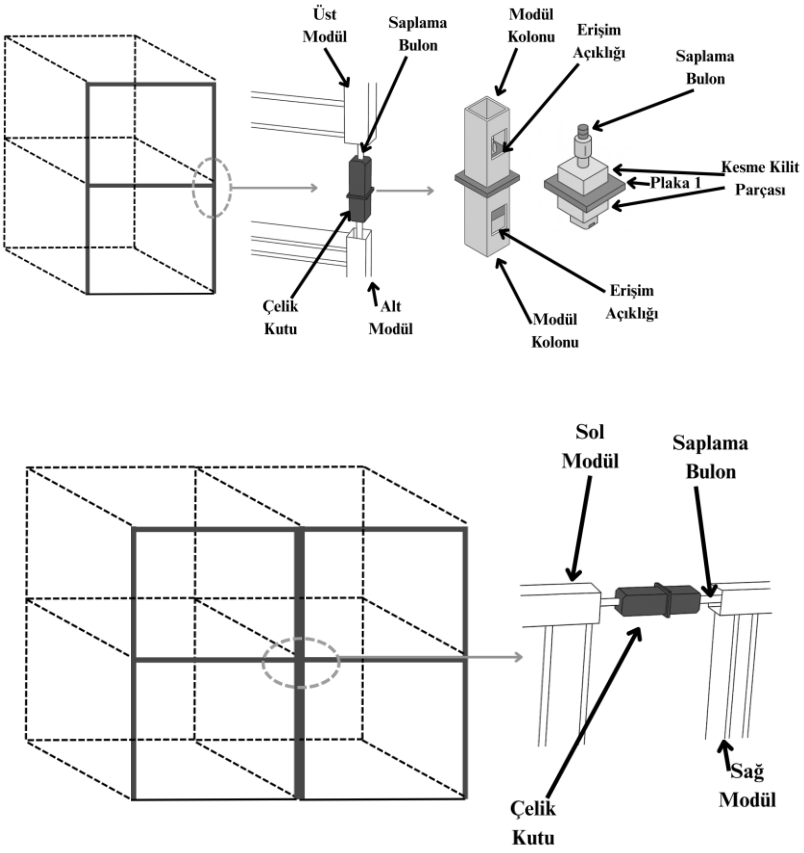
Sadece modülerle taşınan sistemlerde yükseklik en fazla 14 metreye kadar izin verilir. Daha yüksek yapılar için rijit bir çekirdek (betonarme veya çelik) zorunludur.

Modüler sistem, tasarım yüklerini Yönetmelik'e uygun şekilde temele aktaracak şekilde tasarlanmalıdır.

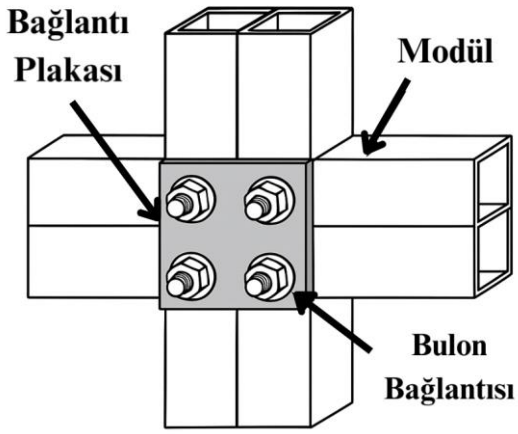
12.1.5 Yangın, Ses ve Isı Yalıtımı

Her modülde, yangına dayanım **Bölüm 11**'de verilen esaslar çerçevesinde belirlenmelidir. Modül birleşim yüzeylerinde yangın ve duman geçişini engellemek amacıyla, uygun

standartlara göre test edilmiş yangına dayanıklı contalar ve yalıtım malzemeleri katmanlı (çok tabakalı) olarak uygulanmalıdır.



(a) İçten bağlantı



(b) Dıştan bağlantı

Şekil 12.2: Modüler Sistem Detayları (Örnek)

12.1.6 Fabrika Üretimi ve Kalite Kontrol

Modüler sistem, ISO 9001 kalite güvence sistemine sahip tesislerde üretilmelidir.

EN 1090'a uygun şekilde CE işareti ve performans beyanı belgeleri ile etiketlenmelidir.

Kaynak, vida, kaplama ve geometri kontrolleri fabrika çıkışında yapılmalı ve belgelenmelidir.

12.1.7 Taşıma ve Yerinde Montaj

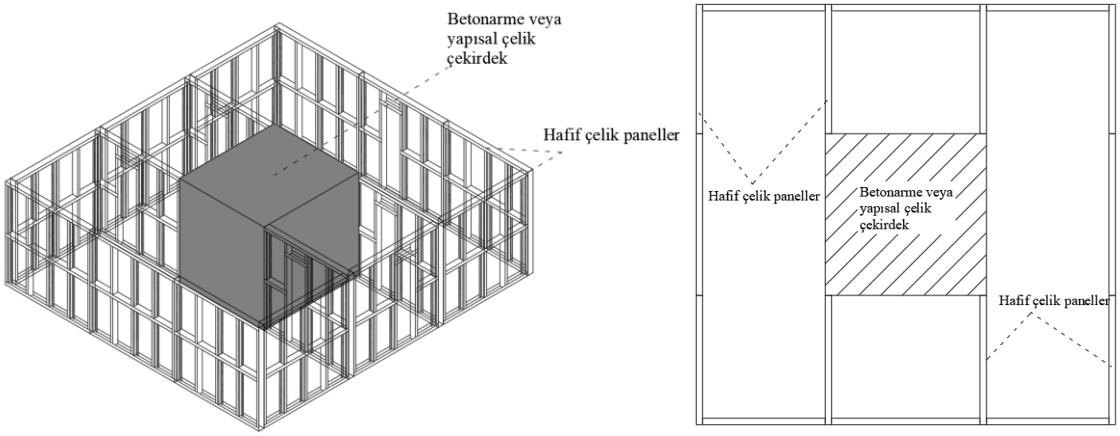
Modüler sistemlerin taşınabilirlik sınırlarına (genişlik: maks. 4.0 m, yükseklik: maks. 4.2 m) uygun üretilmesi gerekir. Özel üretimler için taşıma şartları irdelenmelidir.

Modüler sistemlerin taşıma noktaları, önceden hesaplanmış olmalı ve şantiye planında belirtilmelidir.

12.2 HİBRİT YAPILAR

12.2.1 Kapsam ve Tanımlar

Hibrit yapılar; soğuk şekillendirilmiş çelik elemanların, betonarme, sıcak haddelenmiş çelik ya da ahşap sistemlerle birlikte entegre çalıştığı, birden fazla yapı teknolojisinin yapısal olarak kullanıldığı sistemlerdir.



Şekil 12.3: Hibrit yapı. (Örnek)

12.2.2 Yapısal Uyumluluk ve Etkileşim

Taşıyıcı sistemler arayüzlerinde rijitlik farklarından doğan şekil değiştirme, yer değiştirme ve çatlama riski hesaplara dâhil edilmelidir.

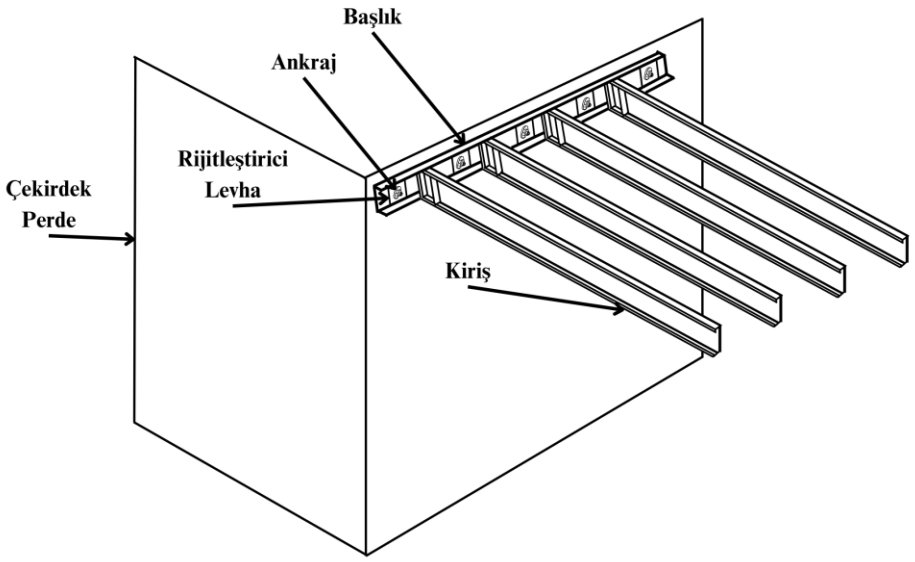
Ayrıca, hafif çelik sistem deprem yükünün en az %25'ini taşıyacak şekilde boyutlandırılacaktır.

Yük akışı hesaplarda gösterilmeli ve oluşan kuvvetler yatay yük taşıyıcı sisteme aktarılmalıdır.

Betonarme–çelik veya çelik–çelik geçiş bölgelerinde yer alan birleşim elemanları, yapıdaki yük aktarım yolunun sürekliliğini sağlayacak şekilde tasarlanmalı ve uygulanmalıdır. Kayma vidaları, bulonlar, ankraj elemanları, kaynaklı birleşimler, bağlantı levhaları ile (kullanılması durumunda) donatı elemanları; birleşimden geçen yatay kuvvetler, eksenel yükler, eğilme momentleri ve diğer bileşenlerin birleşik etkisi altında yeterli taşıma kapasitesine sahip olmalı, bu kapasite hesaplarla gösterilmelidir.

Panellerin diyafram etkisi ile rijitlik katkısı hesaplara dâhil edilmelidir.

Tüm detaylar, mimari ve statik projelerde açık şekilde gösterilmelidir. Hibrit yapılarda betonarme çekirdek elemanı bulunması durumunda, hafif çelik başlık elemanının **Şekil 12.4**'te gösterildiği gibi betonarme çekirdek perdeye uygun şekilde ankrajlanması zorunludur. Döşeme veya çerçeve kirişleri, ankrajlanan bu başlık elemanına bağlanacak şekilde tasarlanacaktır. Çelik ile hafif çelik elemanlar arasındaki tüm birleşimler ise **Bölüm 8 – BİRLEŞİM TASARIMI** hükümlerine uygun olarak gerçekleştirilecektir.



Şekil 12.4: Hibrit yapı (Örnek)

13 YALITIM UYGULAMA ESASLARI

Bu bölüm hafif çelik binaların tasarımında; Isı, su, nem ve gürültü etkilerinin düzenlenmesi hakkındadır. Yalıtım tasarımı, yapı konforunun, enerji verimliliğinin ve malzeme ömrünün korunması açısından yapısal tasarımı etkileyen faktörlerdir. Bu kapsamda, aşağıda belirtilen Yönetmelik, standart ve teknik esaslar ile birlikte yürürlükteki meri mevzuatlar esas alınır:

(1) TS 825 – Binalarda Isı Yalıtım Kuralları,

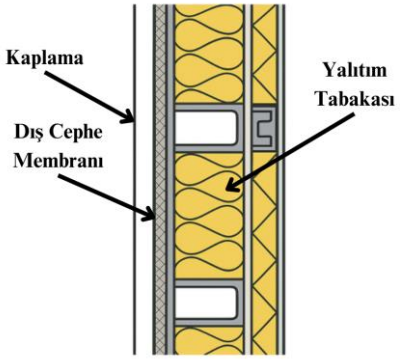
(2) "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" (05.12.2008 tarihli, 27075 sayılı Resmî Gazete),

(3) "Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği" (27.10.2017 tarihli, 30223 sayılı Resmî Gazete),

(4) "Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik" (31.05.2017 tarihli, 30082 sayılı Resmî Gazete).

Bu Yönetmelikler, hafif çelik yapıların ısı, su ve ses performansına ilişkin sınır değerlerin belirlenmesinde ve uygun yalıtım detaylarının tasarımında esas alınır.

Şekil 13.1'de soğuk şekillendirilmiş çelik taşıyıcılı dış duvar sisteminin tipik kesiti gösterilmektedir. Sistem; dış cephe kaplaması, su buharı geçirgenliği kontrollü bir dış cephe membranı, taşıyıcı amaçlı dış cephe levhası, C-profilden oluşan hafif çelik taşıyıcı iskelet ve bu iskelet boşluğuna yerleştirilen mineral yün ısı yalıtım tabakasından meydana gelmektedir. İç yüzeyde ise tesisat geçişlerini ve akustik performansı iyileştiren bir servis kanalı ile bunu kapatan alçı levha kaplama bulunmaktadır. Bu çok katmanlı yapı, TS 825'e göre gerekli ısı geçiş direncinin sağlanmasına, yoğuşma riskinin azaltılmasına ve yangın–akustik performansın iyileştirilmesine yönelik örnek olarak verilmiştir.



Şekil 13.1: Soğuk şekillendirilmiş çelik taşıyıcı sistemde ısı yalıtımının tipik duvar kesiti

13.1 ISI YALITIM ESASLARI

Hafif çelik yapılarda ısı yalıtımı, yapı kabuğunda (dış duvar, çatı, döşeme) ısı köprülerinin minimize eder, yoğuşma riskinin ortadan kaldırır ve enerji performansının artırılmasını hedefler. Isı yalıtımı tasarımı yapılırken aşağıdaki esaslara uyulmalıdır:

(i) Isı yalıtımı hesapları TS 825 ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'ne uygun olarak yapılmalıdır.

(ii) Çelik profillerin yüksek ısıl iletkenliği nedeniyle, duvar ve çatı panellerinde ısıl kesinti sağlayan malzemeler kullanılmalıdır.

13.2 SU YALITIM ESASLARI

Su yalıtımı; çatılar, dış duvarlar, döşemeler ve ıslak hacimlerde suyun yapı elemanlarına zarar vermesini önlemek amacıyla kullanılmalıdır. Bu kapsamda:

(i) Su yalıtımı tasarımı ve uygulaması, Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği hükümlerine uygun olarak yapılmalıdır.

(ii) Temel ve döşeme birleşimlerinde kapiler su geçişini engelleyecek detaylar (ör. su yalıtım membranları, drenaj levhaları) kullanılmalıdır.

13.3 SES YALITIM ESASLARI

Ses yalıtımı, yapı içinde yaşam konforunun korunması ve dış ortam gürültüsünün azaltılması amacıyla kullanılmalıdır.

(i) Ses geçiş kaybı, Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik hükümlerine göre uygulanmalıdır.

(ii) Duvar ve döşeme panellerinde, yalıtım dolgusu olarak taş yünü veya camyünü gibi yüksek ses soğurma katsayısına sahip malzemeler kullanılmalıdır.

(iii) Zemin kaplamalarında darbe sesinin ve titreşimin yalıtımı artırmak amacıyla akustik keçeler, kauçuk levhalar veya viskoelastik tabakalar uygulanmalıdır.

13.4 TESİSAT VE ELEKTRİK DONATILARI İLE İLİŞKİLİ YALITIM KURALLARI

Tesisat elemanlarının yapı elemanlarıyla etkileşiminde ısı, ses ve yangın güvenliği açısından aşağıdaki esaslara uyulmalıdır:

(i) Tesisat boruları, elektrik kabloları ve benzeri ekipmanlar, taşıyıcı çelik elemanlara doğrudan temas etmeyecek şekilde yerleştirilmelidir.

(ii) Bakır veya bakır alaşımlı malzemeler, galvanik korozyonu önlemek amacıyla çelikle doğrudan temas ettirilmemelidir. Gerekli durumlarda yalıtkan ara parçalar kullanılmalıdır.

(iii) Tesisatlar, yangın dayanımı, ses yalıtımı ve ısı yalıtımı gerekliliklerine uygun olarak monte edilmelidir.

(iv) Elektrik kabloları ve boru geçişleri, yangın kesici malzeme veya ses bariyerleri ile birlikte, yürürlükteki ilgili Yönetmelik hükümlerine uygun biçimde yalıtılmalıdır.

GENEL GEREKÇE (Hafif Çelik Yapılar)

Ülkemizin büyük bir bölümünün yüksek deprem riski altında bulunması, yapı sistemlerinin deprem etkileri altındaki davranışlarının doğru şekilde tanımlanmasını ve güvenli tasarım esaslarının açık biçimde ortaya konulmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çerçevede son yıllarda; başta konut yapıları olmak üzere, hızlı üretim imkânı, hafiflik, yüksek taşıma kapasitesi/ağırlık oranı ve endüstriyel üretime uygunluğu gibi üstün özellikleri nedeniyle hafif çelik yapı sistemlerinin (soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlar) kullanımında önemli bir artış gözlenmektedir.

Hafif çelik yapı sistemleri; düşük ağırlıkları sayesinde deprem etkisi altında yapıya etkiyen kuvvetleri azaltmaları, uygun detaylandırma ile güvenli ve kontrollü davranış göstermeleri ve fabrika ortamında üretime elverişli olmaları gibi özellikleriyle deprem güvenliği açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte, bu yapı sistemleri kendine özgü tasarım ve uygulama özellikleri içermekte olup, geleneksel çelik ve betonarme yapı sistemlerinden farklı mühendislik yaklaşımları gerektirmektedir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde hafif çelik yapı sistemlerine ilişkin bazı genel ilke ve kabullere yer verilmekle birlikte; bu düzenlemeler, hafif çelik elemanların hesap, tasarım, yapım ve uygulama esaslarını bütüncül ve ayrıntılı şekilde ele almak açısından yeterli değildir. Uygulamada çoğunlukla yabancı standartlara atıf yapılmakta, ancak bu standartların ülkemizde yeknesak ve denetlenebilir biçimde uygulanmasını sağlayan müstakil bir ulusal düzenleyici mevzuat bulunmamaktadır. Bu durum, tasarım yaklaşımlarında farklılıklara, uygulama hatalarına ve denetimde belirsizliklere yol açabilmektedir.

Hafif çelik yapı sistemlerinin avantajlarının etkin, güvenli ve sürdürülebilir biçimde kullanılabilmesi; tasarım mühendislerinin belirli temel kurallara uygun hareket etmesi, fabrika üretiminin standardize edilmesi ve şantiye uygulamalarının etkin şekilde denetlenmesi ile mümkündür. Bu bağlamda, hafif çelik yapıların tasarımında deprem, rüzgâr, kar ve diğer etkiler altındaki davranışlarının; kesit, eleman, birleşim ve sistem düzeyinde açıkça tanımlanması büyük önem taşımaktadır.

1 sayılı Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesinin 97 nci ve 107 nci maddelerinde Bakanlığa verilen; yerleşmeye, çevreye ve yapılaşmaya ilişkin mevzuatı hazırlamak, geliştirmek, uygulamaları izlemek ve denetlemek ile yapı ve yapım işlerine ilişkin norm ve standartları belirlemek görevleri kapsamında, hafif çelik yapı sistemlerinin tasarım, hesap ve yapım esaslarını bütüncül ve sistematik biçimde düzenleyen müstakil bir mevzuatın hazırlanması ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Bu kapsamda hazırlanacak **"**Hafif Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik" ile; hafif çelik yapı elemanları ve birleşimlerinin güvenli tasarımına ilişkin esasların açık ve anlaşılır biçimde tanımlanması, uluslararası kabul görmüş standartlarla uyumlu olmakla birlikte ülkemizin mühendislik bilgi birikimi ve uygulama pratiğini dikkate alan ortak bir tasarım yaklaşımının benimsenmesi ve bu sayede uygulamaların denetlenebilir ve kontrol edilebilir hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, deprem güvenliği yüksek, hızlı üretime elverişli, kaynakların etkin kullanımını sağlayan ve sürdürülebilir yapılaşmayı destekleyen hafif çelik yapı sistemlerinin yaygınlaştırılması hedeflenmektedir.

HAFİF ÇELİK BİNALARIN TASARIM, HESAP VE YAPIM ESASLARINA DAİR YÖNETMELİK TASLAĞI

Amaç

MADDE 1 – (1) Bu Yönetmeliğin amacı; çelik sac, şerit veya plakadan soğuk şekillendirilmiş yapı elemanlarının ve yapı sistemlerinin, kullanım amaçlarına uygun olarak, yeterli güvenlikle tasarımına ve yapımına ilişkin yöntem, kural ve koşullara dair usul ve esasları düzenlemektir.

Kapsam

MADDE 2 – (1) Bu Yönetmelik, ön üretimli (prefabrik), hibrit (karma), modüler ve profille yerinde yapım hafif çelik binaların tasarımını kapsar.

Dayanak

MADDE 3 – (1) Bu Yönetmelik, 1 sayılı Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesinin 97 nci ve 107 nci maddelerine dayanılarak hazırlanmıştır.

Uygulanacak esaslar

MADDE 4 – (1) Hafif çelik yapıların tasarım, hesap ve yapımı hakkında bu Yönetmeliğin ekinde yer alan esaslar uygulanır.

Yürürlük

MADDE 5 – (1) Bu Yönetmelik 01/06/2026 tarihinde yürürlüğe girer.

Yürütme

MADDE 6 – (1) Bu Yönetmelik hükümlerini Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanı yürütür.