

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÜYÜK AÇIKLIKLI GERGİLİ BİR SERGİ BİNASININ
EC3' E GÖRE KARŞILAŞTIRMALI BOYUTLANDIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş Müh. Doğuş ASLAN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Güliz BAYRAMOĞLU

OCAK 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÜYÜK AÇIKLIKLI GERGİLİ BİR SERGİ BİNASININ
EC3' E GÖRE KARŞILAŞTIRMALI BOYUTLANDIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Doğuş ASLAN
(501051035)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Ocak 2009

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Güliz BAYRAMOĞLU (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. A. Zafer ÖZTÜRK (YTÜ)
Yrd. Doç. Dr. B. Özden ÇAĞLAYAN (İTÜ)**

OCAK 2009

ÖNSÖZ

İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Bölümü Yapı Programı çerçevesinde gerçekleştirilen bu yüksek lisans tez çalışmasında, büyük açıklıklı gergili bir sergi binası Eurocode 3' e göre boyutlandırılmış, deprem etkisinde yeni deprem yönetmeliği koşullarına uygun olacak şekilde kontrol edilmiştir. 2 ayrı tip ana taşıyıcı sistem ve 3 ayrı tip aşık boyutlandırılıp, hesaplar sonucunda elde edilen yapı ağırlıkları karşılaştırılmıştır.

Çalışmam süresince değerli fikir ve tecrübelerinden yararlandığım, sayın hocam Doç. Dr. Güliz BAYRAMOĞLU' na, tezin son haline gelmesinde fikir ve tecrübeleriyle katkıda bulunan Prof. Dr. Y. Alpay ÖZGEN' e, Prof. Dr. A. Zafer ÖZTÜRK' e , Yrd. Doç. Dr. B. Özden ÇAĞLAYAN' a ve tezin tamamlanmasında her türlü desteği veren mühendis arkadaşlarıma, sabır ve desteğiyle her zaman yanımda olan Aslı DOĞAN' a ve hiçbir zaman maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ocak 2009

Doğuş ASLAN
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMALAR	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Konu	1
1.2 Yapının Tanımı.....	1
1.3 Hesap Yöntemleri ve Yapılan Kabuller.....	5
2. YÜK ANALİZİ.....	7
2.1 Zati Yükler.....	7
2.2 Kar Yükü	7
2.3 Rüzgar Yükü.....	8
2.4 Deprem Yükü	10
3. HESAP ADIMLARININ AÇIKLANMASI.....	11
3.1 Kesit Hesapları	11
3.1.1 Kesit çekme kapasitesi	11
3.1.2 Kesit basınç kapasitesi	11
3.1.3 Kesit moment kapasitesi	12
3.1.4 Kesitin kesme kuvveti kapasitesi	12
3.1.5 Moment ve kesme kuvveti etkileşiminin incelenmesi	13
3.1.6 Moment ve basınç kuvveti etkileşiminin incelenmesi	13
3.1.7 Burkulma dayanımı.....	14
3.2 Birleşim Hesapları	21
3.2.1 Bulonlu birleşim hesapları	21
3.2.2 Manivela etkisi.....	23
3.2.3 Kaynaklı birleşim hesapları	26
3.2.4 Kaynaklı kafes eleman imalat esasları ve düğüm noktası birleşim hesapları	26
4. AŞIK SEÇİMİ VE AĞIRLIK KARŞILAŞTIRMASI	31
4.1 Aşık Kesit Hesapları.....	31
4.1.1 Petek kiriş hesabı	31
4.1.2 Dolu kesit kiriş hesabı.....	36
4.1.3 Uzay kafes kiriş hesabı	39
4.2 Aşık tipinin seçimi.....	46
5. KESİT HESAPLARI	47
5.1 Model - 1	47
5.1.1 Ana taşıyıcı kafes kiriş hesabı	47
5.1.1.1 Kesit özellikleri	47
5.1.1.2 Kesit hesapları.....	49
5.1.1.3 Düğüm noktası dayanımının incelenmesi	52

5.1.1.4 Örgü elemanlarının başlıklar ile birleşim hesabı.....	56
5.1.2 Kafes kolon kesit hesabı	56
5.1.2.1 Kesit özellikleri	56
5.1.2.2 Kesit hesapları	59
5.1.2.3 Düğüm noktası dayanımlarının incelenmesi	64
5.1.2.4 Başlık ile örgü elemanların birleşim detayı.....	72
5.1.3 Ara Kafes giriş kesit hesabı	73
5.1.3.1 Kesit özellikleri	73
5.1.3.2 Kesit hesapları	75
5.1.3.3 Düğüm noktası dayanımının incelenmesi	77
5.1.4 Yan Kafes giriş kesit hesabı.....	80
5.1.4.1 Kesit özellikleri	80
5.1.4.2 Kesit hesapları	82
5.1.5 Yan Cephe kolonları kesit hesabı	84
5.1.5.1 Kesit özellikleri	84
5.1.5.2 Kesit hesapları	85
5.1.6 Boru gergi hesabı	91
5.1.6.1 Kesit özellikleri	91
5.1.6.2 Kesit hesapları	93
5.1.7 Yan ve ön cephe kuşaklarının kesit hesabı	97
5.1.7.1 Yan cephe kuşakları	97
5.1.7.2 Ön cephe kuşakları	99
5.1.8 Çatı ve düşey stabilite elemanlarının kesit hesapları	100
5.1.8.1 Düşey stabilite elemanlarının hesabı.....	100
5.1.8.2 Çatı düzlemi stabilite elemanları.....	102
5.2 Model - 2.....	103
5.2.1 Ana taşıyıcı giriş hesabı	103
5.2.1.1 Kesit özellikleri	103
5.2.1.2 Kesit hesapları	105
5.2.2 Orta kolon kesit hesabı.....	112
5.2.2.1 Kesit özellikleri	112
5.2.2.2 Kesit hesapları	116
5.2.3 Ara giriş kesit hesabı.....	126
5.2.3.1 Kesit özellikleri	126
5.2.3.2 Kesit hesapları	127
5.2.4 Ara çapraz elemanı kesit hesabı.....	128
5.2.4.1 Kesit özellikleri	128
5.2.4.2 Kesit hesapları	129
5.2.5 Boru gergi hesabı	130
5.2.5.1 Kesit özellikleri	130
5.2.5.2 Kesit hesapları	131
6. BİRLEŞİM HESAPLARI.....	137
6.1 Model - 1.....	137
6.1.1 Mesnet birleşim hesapları	137
6.1.1.1 Uzay kafes aşık mesnet detayı	137
6.1.1.2 Ana kafes giriş - kafes kolon mesnet detayı	140
6.1.1.3 Kafes kolon – ara kafes giriş birleşimi.....	152
6.1.1.4 Yan cephe kolonu ile ana taşıyıcı kafes giriş birleşim detayı	156
6.1.1.5 Yan cephe kolonu ara kafes giriş birleşim detayı	159
6.1.1.6 Kafes kolon taban plakası hesabı	161

6.1.2 Ek hesapları.....	165
6.1.2.1 Ana taşıyıcı kafes kiriş	165
6.1.2.2 Kafes kolon kaynaklı ek hesabı	176
6.2 Model - 2	178
6.2.1 Mesnet birleşim hesapları	178
6.2.1.1 Kolon – ana taşıyıcı kiriş birleşimi	178
6.2.1.2 Yan cephe kolon – ana taşıyıcı kiriş birleşimi	180
6.2.1.3 Ara çapraz mesnet detayı	181
6.2.1.4 Boru gergi mesnet detayı	185
6.2.1.5 Yan ve ön cephe mafsallı kolon taban plakası hesabı.....	187
6.2.1.6 Orta kolon ankastre taban plakası hesabı	190
6.2.2 Ek hesapları	200
6.2.2.1 Ana taşıyıcı kiriş ek hesabı	200
6.2.2.2 Kolon ek detayı	209
7. BETONARME TEMEL HESABI	211
7.1 Radye Temel Hesabı.....	211
7.2 Ön ve Yan Cephe Kolon Tekil Temelleri.....	213
8. YAPILARIN AĞIRLIK KARŞILAŞTIRMASI	215
9. SONUÇLAR	217
KAYNAKLAR	221
ÖZGEÇMİŞ.....	223

KISALTMALAR

DBYBHY	:Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EC3	:Eurocode 3, Çelik Yapıların Tasarımı
E_x	:X Doğrultusunda Eşdeğer Deprem Yüğü
E_y	:Y Doğrultusunda Eşdeğer Deprem Yüğü
G	:Düşey Sabit Yüğü
Q	:Düşey Hareketli Yüğü
TS	:Türk Standartları Enstitüsü

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : Burkulma Eğrisi İmalat Hata Faktörleri	15
Çizelge 3.2 : Narinlik – Azaltma Faktörü Grafiği	16
Çizelge 3.3 : Bütün Profil Tipleri için Burkulma Eğrisi.....	17
Çizelge 3.4 : Sıcak Hadde Profil Geometrisine göre Burkulma Eğrisi	17
Çizelge 3.5 : Moment Dağılım Parametresi.....	18
Çizelge 3.6 : Kesit Sınıflarına göre Mukavemet Parametreleri	19
Çizelge 3.7 : Bulonlu birleşimlerde oluşan gerilme tiplerine göre kullanılan formüller	21
Çizelge 3.8 : Bulon Yerleşim Koşulları.....	22
Çizelge 3.9 : Bulon delik durumu parametresi	23
Çizelge 3.10 : Manivela etkisi formülasyonu	24
Çizelge 3.11 : Düğüm noktası tiplerine göre tasarım dayanımları	30
Çizelge 4.1 : Aşık Tiplerinin Ağırlık Karşılaştırması	46
Çizelge 8.1 : Yapıların ağırlık karşılaştırması	215

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Yapının Bilgisayar Modeli (Model-1).....	1
Şekil 1.2 : Yapının Bilgisayar Modeli (Model-2).....	2
Şekil 1.3 : Model-1 dispozisyon planı	3
Şekil 1.4 : Model-2 dispozisyon planı	4
Şekil 1.5 : Model-1 kalkan duvar görünüşü ve ara kesiti	4
Şekil 1.6 : Model-2 kalkan duvar görünüşü ve ara kesiti	5
Şekil 2.1 : Kar yığılması durumunda yüklenme durumu.....	7
Şekil 2.2 : Ön ve yan cephe rüzgar yükü katsayıları (X yönü rüzgar).....	8
Şekil 2.3 : Çatı düzlemi rüzgar yükü katsayıları (X yönü rüzgar).....	9
Şekil 2.4 : Ön ve yan cephe rüzgar yükü katsayıları (Y yönü rüzgar).....	9
Şekil 2.5 : Çatı düzlemi rüzgar yükü katsayıları (Y yönü rüzgar).....	9
Şekil 3.1 : d_m Parametresi için Bulon Başı Ölçüleri	21
Şekil 3.2 : Manivela Etkisi ile Göçme Mekanizmasının Oluşumu.....	23
Şekil 3.3 : T-model etkisindeki başlık	25
Şekil 3.4 : Düğüm noktası dayanım hesaplarında kullanılan parametreler	29
Şekil 4.1 : Petek giriş görünüşü	31
Şekil 4.2 : Petek giriş imalat ölçüleri	32
Şekil 4.3 : T-kesit başlık ölçüleri	32
Şekil 4.4 : Uzay Kafes Aşık Kesiti	39
Şekil 4.5 : Uzay Kafes Aşık Kesiti	40
Şekil 4.6 : Uzay Kafes Aşık Kesiti	40
Şekil 4.7 : Uzay Kafes Aşık Alt Başlık Düğüm Noktası	42
Şekil 4.8 : Üst başlık düğüm noktası detayı	44
Şekil 5.1 : Kafes giriş kesiti	47
Şekil 5.2 : Kafes giriş görünüşü	49
Şekil 5.3 : Alt başlık düğüm noktası	54
Şekil 5.4 : Üst başlık düğüm noktası	56
Şekil 5.5 : Kafes kolon kesiti	57
Şekil 5.6 : Kafes kolon görünüşleri	58
Şekil 5.7 : Kafes kolon düğüm noktası.....	65
Şekil 5.8 : Kafes kolon düğüm noktası “A” görünüşü.....	66
Şekil 5.9 : Kafes kolon düğüm noktası “B” görünüşü.....	67
Şekil 5.10: Kafes kolon düğüm noktası	69
Şekil 5.11: Kafes kolon düğüm noktası “A” görünüşü.....	70
Şekil 5.12: Kafes kolon düğüm noktası “B” görünüşü.....	71
Şekil 5.13: Ara kafes giriş kesiti	73
Şekil 5.14: Ara kafes giriş görünüşü	74
Şekil 5.15: Ara kafes giriş düğüm noktası	77
Şekil 5.16: Ara kafes giriş düğüm noktası “A” görünüşü	78
Şekil 5.17: Yan kafes giriş kesiti	80
Şekil 5.18: Yan kafes giriş görünüşü	81
Şekil 5.19: Eksenel yük etkisinde kolondaki şekil değişimi.....	87

Şekil 5.20: Gergi elemanların yerleşimi	92
Şekil 5.21: Elastik hesapta eğilme momenti dağılımı	104
Şekil 5.22: Kolon etkili en kesiti	115
Şekil 6.1 : Aşık mesnet planı	137
Şekil 6.2 : Aşık mesneti A görünüşü	138
Şekil 6.3 : Aşık alın plakası bulon yerleşimi	139
Şekil 6.4 : Aşık mesneti B görünüşü	140
Şekil 6.5 : Kolon- kiriş birleşimi	140
Şekil 6.6 : Alt başlık mesnet görünüşü	141
Şekil 6.7 : Alt başlık mesnet görünüşü	142
Şekil 6.8 : Alt Başlık alın plakası detayı ve bulon yerleşimi	143
Şekil 6.9 : Kolon üzerindeki alt başlık alın plakası	146
Şekil 6.10: Üst mesnet detayı	147
Şekil 6.11: Üst mesnet görünüşü	147
Şekil 6.12: Üst Başlık alın plakası detayı ve bulon yerleşimi	149
Şekil 6.13: Üst Başlık alın plakası detayı ve bulon yerleşimi	151
Şekil 6.14: Üst başlık mesnet görünüşü	151
Şekil 6.15: Ara kiriş alın plakası	153
Şekil 6.16: Ara kiriş alın plakası	154
Şekil 6.17: Mesnet planı	156
Şekil 6.18: Mesnet görünüşü	157
Şekil 6.19: Düğüm noktasındaki yük dağılımı	157
Şekil 6.20: Düğüm noktasındaki yük dağılımı	159
Şekil 6.21: Yan Cephe Kolon – Ara Kafes Kiriş Mesnet Detayı	160
Şekil 6.22: Kolon başlık plakası	160
Şekil 6.23: Mesnet görünüşü	161
Şekil 6.24: Mesnet görünüşü	165
Şekil 6.25: Alt başlık eki görünüşü	166
Şekil 6.26: Alt başlık eki alın plakası bulon yerleşimi	167
Şekil 6.27: Üst başlık eki görünüşü	169
Şekil 6.28: Alt başlık eki alın plakası bulon yerleşimi	170
Şekil 6.29: Diyagonal eki görünüşü	172
Şekil 6.30: Alt başlık eki alın plakası bulon yerleşimi	173
Şekil 6.31: Ek eleman imalat resmi	175
Şekil 6.32: Alt başlık eki görünüşü	176
Şekil 6.33: Alt başlık eki görünüşü	176
Şekil 6.34: Ek eleman imalat resmi	177
Şekil 6.35: Kolon eki görünüşü	177
Şekil 6.36: Kiriş- kolon birleşimi	178
Şekil 6.37: Yan cephe kolon mesnet görünüşü	180
Şekil 6.38: Yan cephe kolon mesnet görünüşü	180
Şekil 6.39: Alın plakası bulon yerleşimi	181
Şekil 6.40: Ara çapraz- kırş düğüm noktası	184
Şekil 6.41: Çapraz eleman ile guse plakası kesiti	184
Şekil 6.42: Çapraz eleman – kolon düğüm noktası	184
Şekil 6.43: T-model etkisi hesap parametreleri	185
Şekil 6.44: Mesnette yük dağılımı	186
Şekil 6.45: Mesnet kesit ve görünüşü	186
Şekil 6.46: Etkili basınç alanı	186
Şekil 6.47: Taban plakası detayları	189

Şekil 6.48: Taban plakası etkili basınç alanı	191
Şekil 6.49: Taban plakası yük dağılım parametreleri	191
Şekil 6.50: Taban plakası yük dağılım parametreleri	192
Şekil 6.51: Taban plakası detayı	193
Şekil 6.52: Taban plakası bulon yerleşimi	194
Şekil 6.53: Taban plakası kesitleri	195
Şekil 6.54: Taban plakası yük dağılım parametreleri	198
Şekil 6.55: Taban plakası yük dağılım parametreleri	199
Şekil 6.56: Taban plakası kama yerleşimi	200
Şekil 6.57: Kiriş bulonlu ek detayı görünüşü	201
Şekil 6.58: Ek plaka aks mesafeleri	202
Şekil 6.59: Başlık alt ve üst ek plakaları	203
Şekil 6.60: Kiriş gövde ek plakası	205
Şekil 6.61: Ek detay kesiti	206
Şekil 6.62: Ek detay kesiti	210

SEMBOL LİSTESİ

A_{eff}	:Etkili kesit alanı
$A(T)$	:Spektral ivme katsayısı
A_0	:Etkin yer ivmesi katsayısı
A_f	:Başlık alanı
A_s	:Diş dibi çapına göre bulon alanı
A_s	:Donatı alanı
A_v	:Kesme kuvveti etkisinde etkili alan
A_w	:Gövde alanı
$C_{i,j}$	:Burkulma hesabında kullanılan boyutsuz parametreler
C_m	:Eşdeğer üniform moment faktörü
d	:Net bulon çapı
d_0	:Bulon için delik çapı
D_a	:Akma gerilmesi arttırma katsayısı
d_c	:Kolon gövdesinin temiz derinliği
d_m	:Bulon kafasının köşegen boyutu
E	:Çelik elastisite modülü
E_c	:Beton elastisite modülü
F_i	:Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
$e_{N,y}$	:Etkili alan ile brüt kesit ağırlık merkezleri arası mesafe (y-y)
$e_{N,z}$	:Etkili alan ile brüt kesit ağırlık merkezleri arası mesafe (z-z)
$F_{b,Rd}$	:Bulon ezilme dayanımı
f_{ck}	:Karakteristik beton silindir dayanımı
f_{ctm}	:Tasarım beton çekme dayanımı
f_{ctk}	:Karakteristik beton çekme dayanımı
$F_{p,Cd}$	:Tasarım ön-germe kuvveti
$F_{t,Ed}$	:Bulon çekme kuvveti
$F_{t,Rd}$	:Nihai bulon çekme kuvveti dayanımı
$F_{T,Rd}$	:Eşdeğer T-model etkisinde çekme kuvveti dayanımı
f_u	:Nihai dayanım
$F_{v,Rd}$	:Bulon kesme kuvveti dayanımı
f_y	:Akma dayanımı
f_{yd}	:Boyuna donatı tasarım akma dayanımı
f_{yk}	:Boyuna donatı karakteristik akma dayanımı
g	:Boru elemanlı düğüm noktalarında elemanlar arası mesafe
H_i	:Binanın i'inci katının kat yüksekliği
I	:Bina önem katsayısı
I_x, I_y	:Enkesitin atalet momentleri
$k_{i,j}$	:Etkileşim faktörleri
k_v	:Düşey yatak katsayısı
l_{eff}	:Etkili köşe kaynak uzunluğu
M_{cr}	:Kritik burulmalı burkulma momenti
M_{Ed}	:Moment tasarım değeri

M_p	:Eğilme momenti kapasitesi
M_{pa}	:Kolonun alt ucunda hesaplanan moment kapasitesi
$M_{pl,Rd}$	:Moment plastik dayanımı
M_{Sd}	:Tasarım yüklerinden bulunan açıklık veya mesnet momenti,
n	:Bulonlu birleşimlerde sürtünen yüzey sayısı
$N_{a,pl}$	:Çelik kiriş tasarım çekme kuvveti
N_{ac}	:Çelik kiriş tasarım basınç kuvveti
N_b	:Kolon başlıklarından aktarılan normal kuvvet
N_{bp}	:Eksenel basınç kapasitesi
$N_{b,Rd}$	:Basınç elemanının tasarım burkulma dayanımı
N_{cr}	:Kritik burkulma yükü
N_{cp}	:Eksenel çekme kapasitesi
N_{Ed}	:Normal tasarım kuvveti
N_{GVem}	:GV birleşimi için bir bulonun taşıyabileceği kuvvet
N_{GVPem}	:GVP birleşimi için bir bulonun taşıyabileceği kuvvet
N_l	:Ezilme gerilmesi için bir bulonun taşıyabileceği kuvvet
$N_{pl,Rd}$	:Normal kuvvet plastik dayanımı
N_{Rd}	:Normal kuvvet dayanımı
N_s	:Kompozit döşeme donatısı tasarım çekme kuvveti
N_{s1}, N_{s2}	:Makaslama alanı için bir bulonun taşıyabileceği kuvvet
N_{SLPem}	:SLP birleşimi için bir bulonun taşıyabileceği kuvvet
m	:Bulonlu birleşimlerde sürtünen yüzey sayısı
n	:Hareketli yük katılım katsayısı
p	:Boru elemanlı düğüm noktalarında elemanların bindirilme mesafesi
P_{k0}	:Kar Yüğü
P_v	:Bulon ön-germe kuvveti
p_{em}	:Beton basınç emniyet gerilmesi
q_r	:Rüzgar yükü
R	:Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
S	:Statik moment
$S(T)$	:Spektral ivme katsayısı
s	:Basınç çubuğu boyu
T_A, T_B	:Spektrum karakteristik periyotları
t_f	:Profil başlık kalınlığı
t_w	:Profil gövde kalınlığı
V_{Ed}	:Tasarım kesme kuvveti
$V_{pl,Rd}$	:Kesme kuvveti plastik dayanımı
V_{Rd}	:Kesme kuvveti dayanımı
V_t	:Toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
W	:Yapının deprem sırasındaki toplam ağırlığı
W_{eff}	:Kesitin etkili alan mukavemet momenti
Z	:Taban levhasında oluşan maksimum çekme kuvveti
Z_{bulon}	:Ankraj bulonunun emniyetle aktarabileceği çekme kuvveti
δ	:Yapı elemanının sehimi
Ω_0	:Deprem yükü büyütme katsayısı
γ	:Kısmi güvenlik katsayısı
γ_{ap}	:Çelik sac için malzeme güvenlik katsayısı
γ_c	:Beton için malzeme güvenlik katsayısı
γ_s	:Donatı için malzeme güvenlik katsayısı
γ_{vs}	:Hesaplarda genellikle 1.25 olarak alınan bir katsayı

τ	:Kayma gerilmesi
τ_{em}	:Kayma emniyet gerilmesi
τ_{sem}	:SLP birleşimlerinde kayma emniyet gerilmesi
σ_a	:Çelik akma gerilmesi
σ_B	:Yalnız eğilme momenti etkisi altında müsaade edilecek basınç gerilmesi
σ_b	:Yalnız eğilme momenti etkisi altında hesaplanan basınç gerilmesi
$\sigma_{com,Ed}$	:Tasarıma esas en büyük basınç gerilmesi
σ_{bem}	:Yalnız basınç kuvveti altında müsaade edilecek basınç gerilmesi
σ_{eb}	:Yalnız basınç kuvveti altında hesaplanan gerilme
σ_{em}	:Emniyet gerilmesi
σ_I	:Ezilme emniyet gerilmesi
σ_z	:Zemin emniyet gerilmesi
ν	:Kaymaya karşı emniyet katsayısı
η	:Kesme kuvveti etkili alan sabiti
μ	:Sürtünme katsayısı
ρ	:Eğilme momenti dayanımı azaltma faktörü
α	:Çift yönlü eğilme etkisi için kullanılan parametre
β	:Çift yönlü eğilme etkisi için kullanılan parametre
α	:Kusur katsayısı
χ	:Burkulma dayanımı azaltma faktörü
ψ	:Gerilme şekil değişimi oranı
k_σ	:Plaka burkulma sabiti
χ	:Burkulma dayanımı azaltma faktörü
Φ	: χ faktörünün bulunması için kullanılan bir parametre
i	: Atalet yarı çapı
λ	:Narinlik
χ_{LT}	:Yanal burulmalı burkulma dayanımı azaltma faktörü
Φ_{LT}	: χ_{LT} faktörünün bulunması için kullanılan bir parametre

BÜYÜK AÇIKLIKLI GERGİLİ BİR SERGİ BİNASININ EC3' E GÖRE KARŞILAŞTIRMALI BOYUTLANDIRILMASI

ÖZET

Bu tez çalışmasında, Eurocode3' e göre 2 ayrı taşıyıcı sistem ve 3 ayrı aşık tipinin boyutlandırılıp, deprem etkisindeki elemanların yeni Deprem Yönetmeliği'nin getirmiş olduğu hesap şartlarına uygunluğu kontrol edilerek, yapı ve aşık ağırlıklarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Taşıyıcı sistemin ağırlık karşılaştırması için, boru profillerden yapma uzay kafes sistem ve dolu kesitli yapma I profillerle oluşturulmuş taşıyıcı sistemler boyutlandırılmıştır. Aşık ağırlıklarının karşılaştırılması için ise, petek kiriş, geniş başlıklı sıcak hadde H profil ve uzay kafes kiriş tipleri boyutlandırılmıştır.

Yapı planda 100x100 m alana oturan, 10 m aks açıklıklı bütünüyle çelik bir binadır. Yapı, çerçeve düzleminde biri orta kule kolon olmak üzere 3 düşey taşıyıcıdan oluşmaktadır. Yapının yan cephe yüksekliği 15 m olup, ters eğimli çatısından dolayı yükseklik, orta kule kolon hizasında 9 m' ye kadar düşmektedir. Kolonlar arası mesafe 50 m olup, açıklık 3 noktasından gergilerle tutulu kiriş ile geçilmiştir.

Yapı 1. derece deprem bölgesindedir. Yapının üzerinde bulunduğu zemin için, zemin sınıfı Z3, zemin emniyet gerilmesi 250 kN/m^2 , düşey yatak katsayısı 50000 kN/m^3 kabul edilmiştir. Yapıda ana taşıyıcı kolon ve kirişler S235, yan ve ön cephe kolonları S275 kalitesinde yapısal çelikten oluşur. Temelde BS25 kalitesinde beton, BÇIV kalitesinde betonarme çeliği kullanılmıştır.

Yapıda süneklik düzeyi normal sistem ve merkezi çelik çaprazlı perdeler uygun görülmüş, buna göre hesaplar yapılmıştır. Yapının taşıyıcı sisteminin üç boyutlu olarak çözümü SAP 2000 programı ile yapılmıştır. Elemanlar programdan elde edilen kesit zorlarına göre boyutlandırılmıştır. Temel hesabı için SAP 2000 programından alınan mesnet tesirleri, SAP 2000 programında hazırlanan sonlu eleman modeline yüklenmiştir. Temel, oluşan kesit zorlarına göre boyutlandırılmıştır.

DESIGN AND COMPARISON OF A WIDE SPANNED EXHIBITION BUILDING WITH DIAGONALS ACCORDING TO EC3

SUMMARY

In this study 2 different main structural systems and 3 different purlin types are designed according to the Eurocode3. Also, the elements which effected by earthquake forces were controlled according to new Turkish Seismic Code. The weight of the buildings and the purlins were compared according to these different type of systems. For comparison of the main structural system weight, space truss system made of circular hollow sections and I sections made of plates were designed. To compare the weight of purlins, cellular beam, wide flanged hot rolled H section beams and space truss beams were designed.

The structure which 100x100m dimensioned and has 10 m axe span length, is fully steel construction. The building has 3 columns on frame plane containing main central column. Building has 15 m lenth on both sides. Its roof is duopitch with negative angle so, the height is decreasing to 9 m in the center of the building. Distance between the columns is 50 m. This span was passed over by the beams which has connected with diagonals from 3 points.

The structure is assumed to be in earthquake zone of the first degree and located on a Z3 class soil, allowable soil stress is assumed to be 250 kN/m^2 and vertical spring coefficient of ground is 50000 kN/m^3 . For the main structural system elements including central columns and beams S235, frontage columns S275 quality structural steel is used. For foundation, BS25 quality concrete and BÇIV quality reinforcement are used.

In this building, the system has normal yielding ability and concentric diagonals are approved. Therefore the calculations are computed from the patterns that given in new Turkish Seismic Code. SAP 2000 programme is used for the structural analysis as 3D models. From the statical results of this programme, stress and load values were used for the design. The foundation system is chosen as mat foundation computed base loads which has determined form the programme. And these forces are loaded in a new finite element foundation model prepared and analysed on SAP 2000 programme. Foundation design are calculated according to this analyse result.

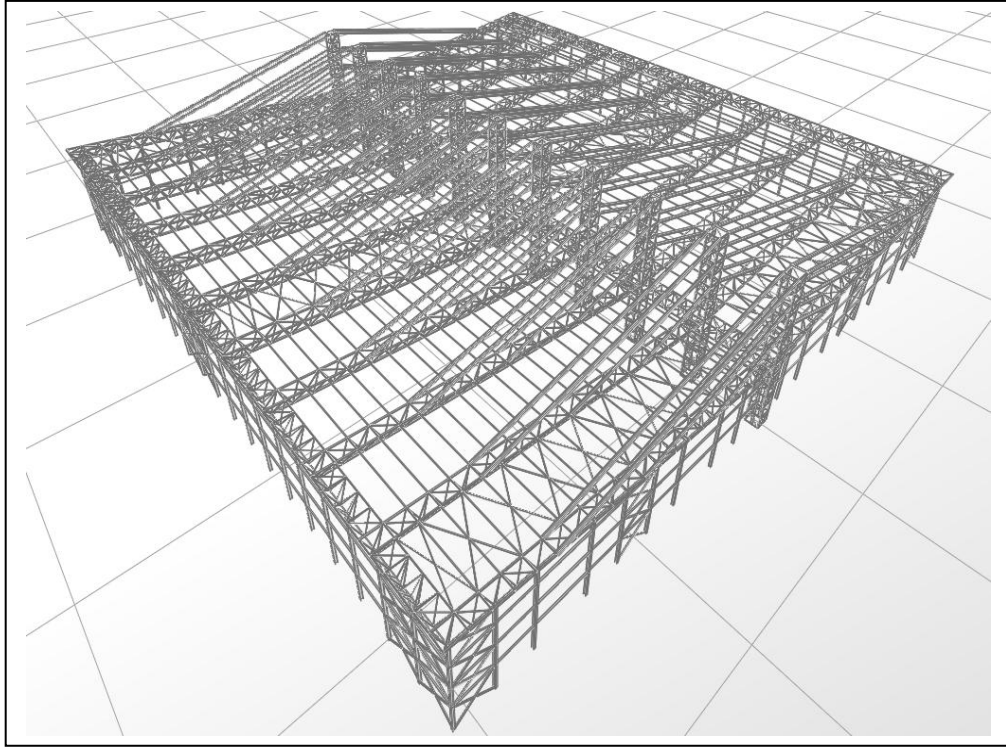
1. GİRİŞ

1.1 Konu

Hazırlanan bu tez çalışmasında çelik bir sergi binası için, iki farklı taşıyıcı sistem ve üç farklı aşık tipinin boyutlandırılıp, ağırlık karşılaştırmasının yapılması amaçlanmıştır. Kesit ve birleşimlerin hesabında Eurocode 3 standardı kullanılmıştır. Deprem etkisinde çalışan elemanlar, yeni deprem yönetmeliğinde belirtilen koşullara göre kontrol edilmiştir.

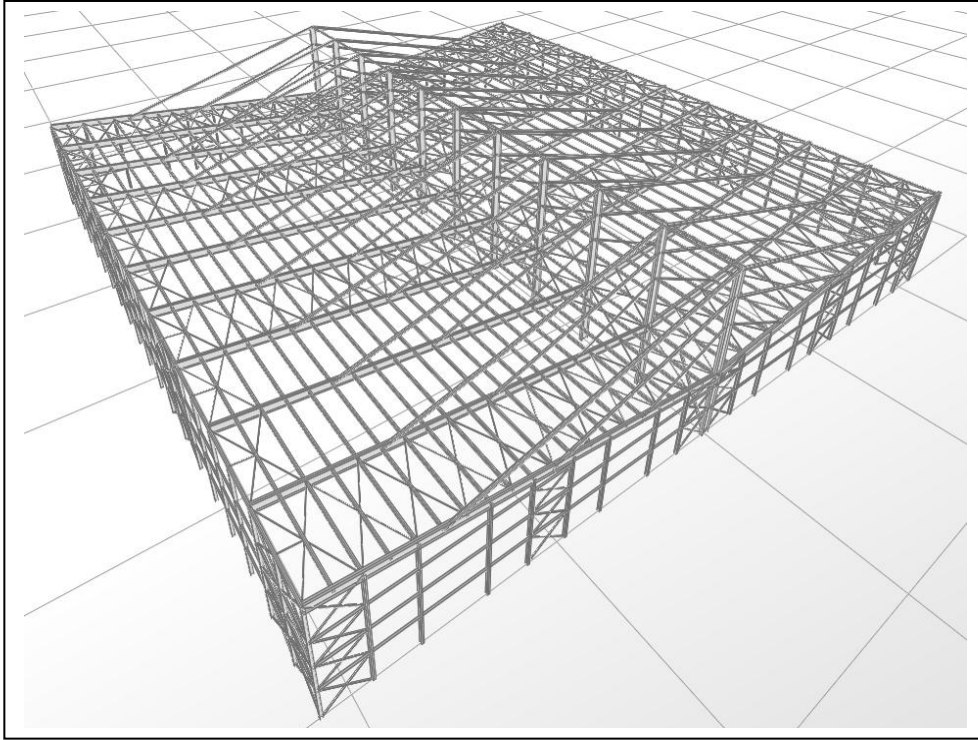
1.2 Yapının Tanımı

Yapı 100x100m boyutlarında bir alana oturan 10m aks açıklıklı bütünüyle çelik bir binadır. Yapı kenar yüksekliği 15m olup, çatısı ters eğimlidir. Ters eğimden dolayı orta noktada yükseklik 9 m' ye kadar düşmektedir. Sistem taşıyıcısı olarak cephe düzleminde 2 yan 1 orta kule kolon olmak üzere 3 düşey taşıyıcı bulunmaktadır.



Şekil 1.1: Yapının Bilgisayar Modeli (Model-1)

Kule kolon zemine ankastre, yan cephe kolonları ise mafsallı olarak bağlanmaktadır. Yan cephe kolonları ile orta kule kolonlar arası mesafe 50m olup, açıklık iki uçta basit bağlantılı yapma kirişler yardımıyla geçilmiştir. Kiriş açıklığı büyük olduğundan, sehim etkilerini azaltabilmek ve kirişleri hafifletebilmek amacıyla, kirişler üç noktada gergi elemanları ile asılmıştır. Her açıklık için üç adet gergi elemanı kullanılmış olup, bunlardan iki adedi oluşan basınç etkilerini güvenle taşıyabilecek şekilde boyutlandırılmıştır. Dolayısıyla kirişler bu noktalarda tutulu kabul edilmiştir. Yapının cephe düzlemi stabilitesi ankastre bağlantılı orta kolon ile sağlanmaktadır. Diğer yöndeki stabilite ise kolonlar arasında teşkil edilen, çatı düzlemi çaprazlarıyla bağlantılı, merkezi çaprazlı çelik elemanlarla sağlanmaktadır. Yapı, yukarıda genel olarak tarif edilen forma uygun şekilde, 2 ayrı taşıyıcı sistem tipine göre modellenmiştir (Şekil 1.1 ve Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Yapının Bilgisayar Modeli (Model-2)

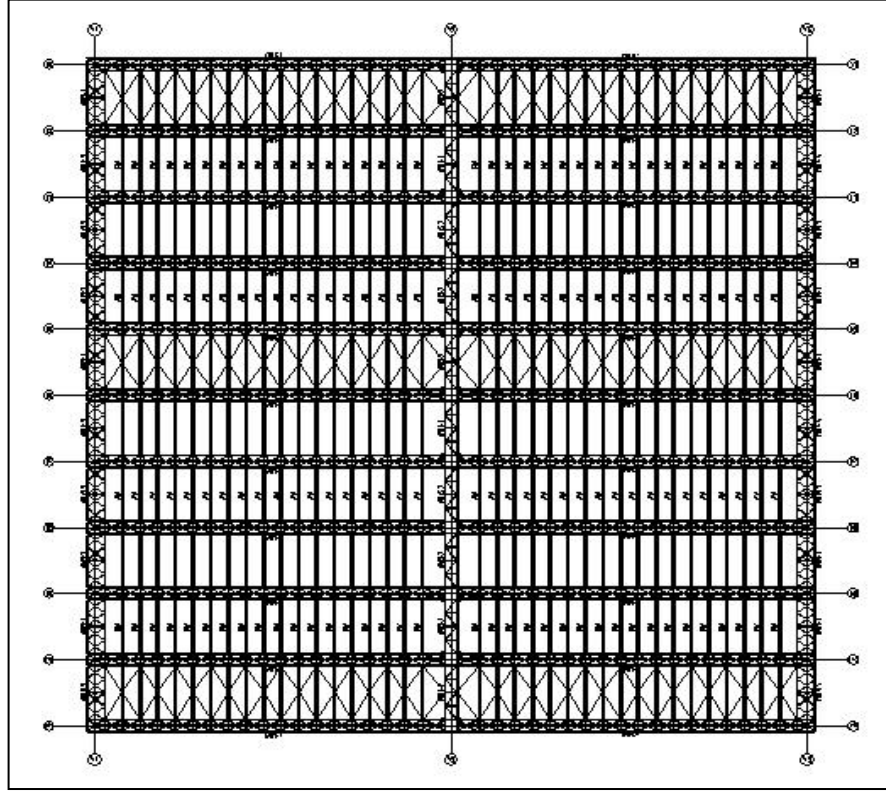
- Yapı I. Derece Deprem Bölgesinde olup $A_0 = 0.40$ olarak alınmıştır.
- Yapı Z3 sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Z3 sınıfı zeminin karakteristik periyotları $T_A = 0.15$ sn, $T_B = 0.60$ sn'dir.
- Yapının üzerinde bulunduğu zemin için;
Zemin emniyet gerilmesi $\sigma_z = 250$ kN/m²

Düsey yatak katsayısı $k_v = 50000 \text{ kN/ m}^3$ olarak alınmıştır.

- Yapı, sergi binası olarak insanların kısa süreli yoğun olarak bulunacağı bir bina olduğundan,

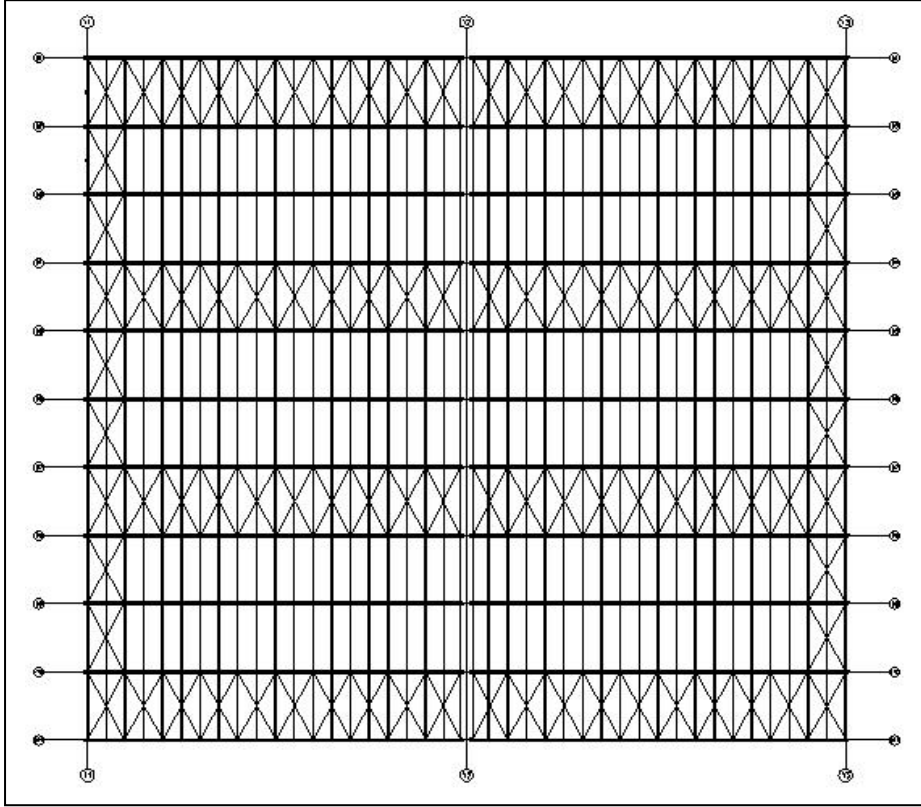
Hareketli yük katılım katsayısı $n = 0.30$

Bina önem katsayısı $I = 1.2$ alınmıştır.

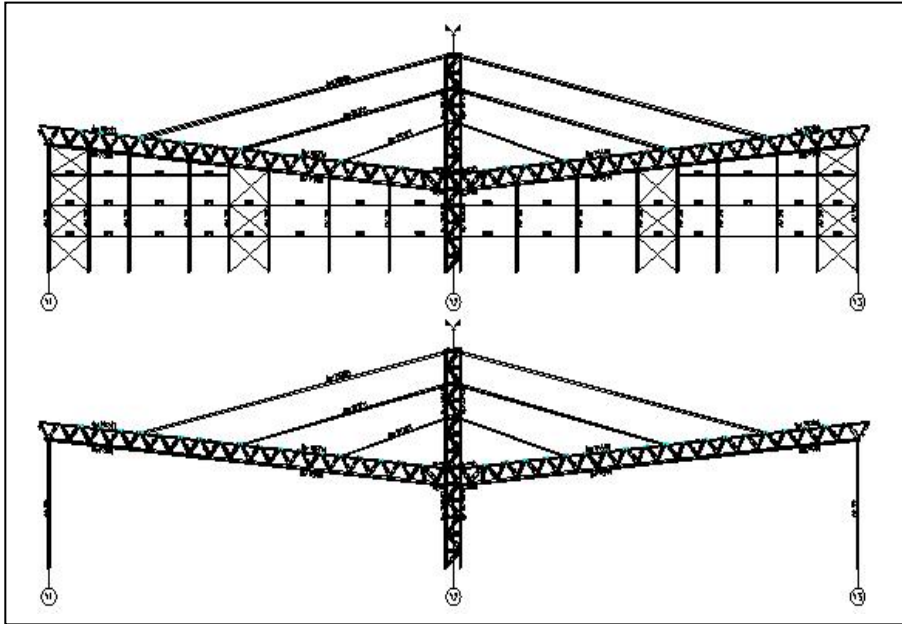


Şekil 1.3: Model-1 dispozisyon planı

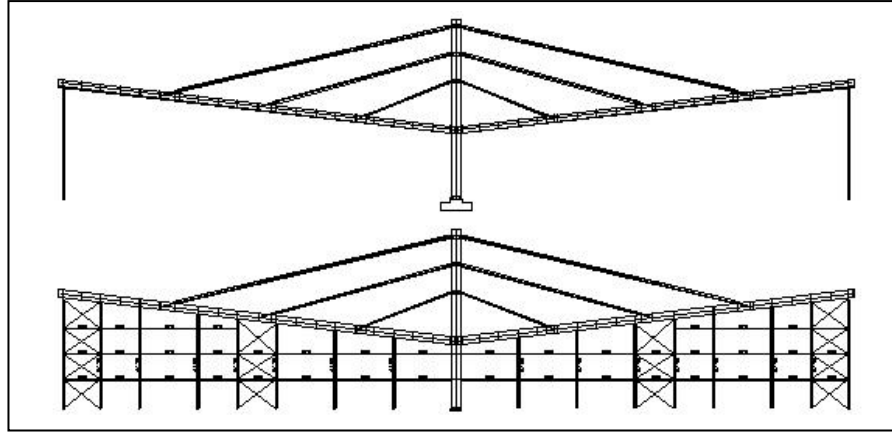
- Yapısal çelik profilleri S235 ve S275 kalitesinde seçilmiştir. Model-2 çapraz eleman birleşim plakaları S275, geri kalan levhalar S235 kalitesindedir.
- Betonarme temel için BS25, grobeton için BS20 kalitesinde beton kullanılmıştır.
- Temellerde ise BÇ IV kalitesinde betonarme çeliği seçilmiştir.
- Elektrot olarak AS B-255 kullanılmıştır. Bu elektrot, emniyet gerilmeleri TS3357'den alınarak yapılan hesaplara kıyasla daha büyük emniyete sahiptir. Yapma eleman kaynaklarında gaz altı kaynak kullanılacaktır.
- Taşıyıcı sistem, süneklik düzeyi normal sistem olarak tasarlanmıştır. Yapı stabilitesini sağlamak için merkezi çelik çaprazlı perdeler seçilmiştir.



Şekil 1.4: Model-2 dispozisyon planı



Şekil 1.5: Model-1 kalkan duvar görünüşü ve ara kesiti



Şekil 1.6: Model-2 kalkan duvar görünüşü ve ara kesiti

1.3 Hesap Yöntemleri ve Yapılan Kabuller

Yapının ön boyutlandırılması, statik hesabı ve kesin boyutlandırılmasında bilgisayar modelleri kullanılmıştır. Statik değerlerin hesabında SAP 2000 v.11.0.4 kullanılmıştır. Yapı elemanlarının boyutlandırılması Eurocode3'e göre yapılmıştır. Deprem etkisindeki elamanlarda DYBHY şartlarına kesit ve detay hesapları kontrol edilmiştir.

Temel tipi olarak radye temel seçilmiştir. Betonarme hesaplar TS 500'e uygun olacak şekilde gerekli bütün tahkikler, SAP2000 v.11.0.4 programında hazırlanan sonlu eleman modelinden elde edilen statik sonuçlar kullanılarak yapılmıştır. Yan ve ön cephe kolonları için tekil temel tercih edilip, temel hesapları elde yapılmıştır. Çelik elemanların boyutlamasında kullanılan yükleme kombinasyonları aşağıda görülmektedir.

$$1.35G + 1.5Q_{kar}$$

$$1.35G + 1.5Q_{rüzgar-X} ; 1.35G + 1.5Q_{rüzgar-Y}$$

$$1.35G + 1.35Q_{kar} + 1.35Q_{rüzgar-X} ; 1.35G + 1.35Q_{kar} + 1.35Q_{rüzgar-Y}$$

Sisteme deprem yükleri yüklenirken asal eksenler doğrultusunda etki ettirilmiş, ayrıca depremlerin ortak etkisi altında en elverişsiz sonucu verecek şekilde kombinasyonlar oluşturulmuştur. Kontrollerde DBYBHY Madde 4.2.4'e göre hesaplarda arttırılmış deprem etkileri gözönüne alınmıştır. Burada kullanılan büyütme katsayısı, merkezi çelik çaprazlar kullanıldığından 2.0 olarak alınmıştır.

Yeni deprem yönetmeliğine göre yapılacak kontroller için kullanılacak yükleme kombinasyonları,

$$1.0G + 1.0Q \pm 1.0E$$

$$0.9G \pm 1.0E$$

$$1.0G + 1.0Q \pm 2.0E$$

$$0.9G \pm 2.0E$$

$$G + Q \pm E_x \pm 0.3E_y$$

$$G + Q \pm 0.3E_x \pm E_y$$

Temel hesabı için kullanılan yükleme kombinasyonları,

$$1.4G + 1.6Q$$

$$1.0G + 1.0Q \pm 1.0E$$

$$0.9G \pm 1.0E$$

2. YÜK ANALİZİ

2.1 Zati Yükler

Model-1 :

Kaplama	0.10 kN/m ²
Tesisat ve çatı ekipmanları	0.15 kN/m ²
Aşık	0.10 kN/m ²
Çatı Stabilite bağlantıları	0.05 kN/m ²
Ana makas	0.15 kN/m ²

Model-2 :

Kaplama	0.10 kN/m ²
Tesisat ve çatı ekipmanları	0.15 kN/m ²
Aşık	0.15 kN/m ²
Çatı Stabilite bağlantıları	0.05 kN/m ²
Ana makas	0.25 kN/m ²

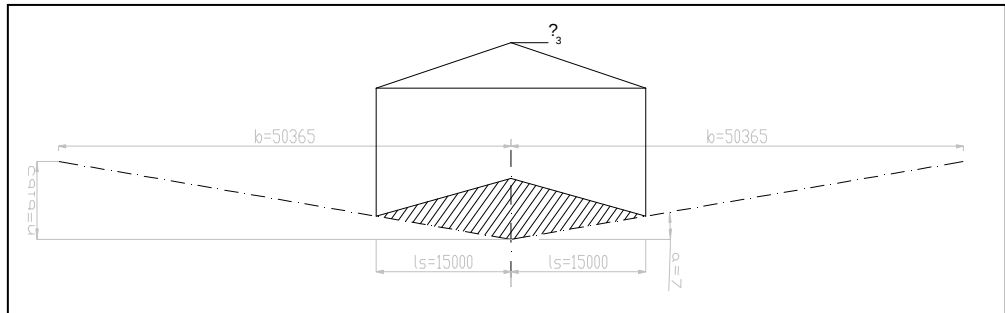
Kaplama malzemesi olarak, Kenetli Metal Sac kullanılmıştır. Yukarıda verilen kaplama ağırlığına izolasyon ağırlığı da dahil edilmiştir.

2.2 Kar Yüğü

$$P_{k0} = 0.75 \text{ kN/m}^2$$

(P_{k0} : Kar Yüğü Değeri)

Yapı yeri, deniz seviyesinden 200 m' den yüksek ve I. Bölgede bulunmaktadır. Kar yüklemesi, TS.498' e uygun olarak yapılmıştır. Çatı formundan dolayı kar yığılması durumu için EC1 kullanılmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Kar yığılması durumunda yüklenme durumu

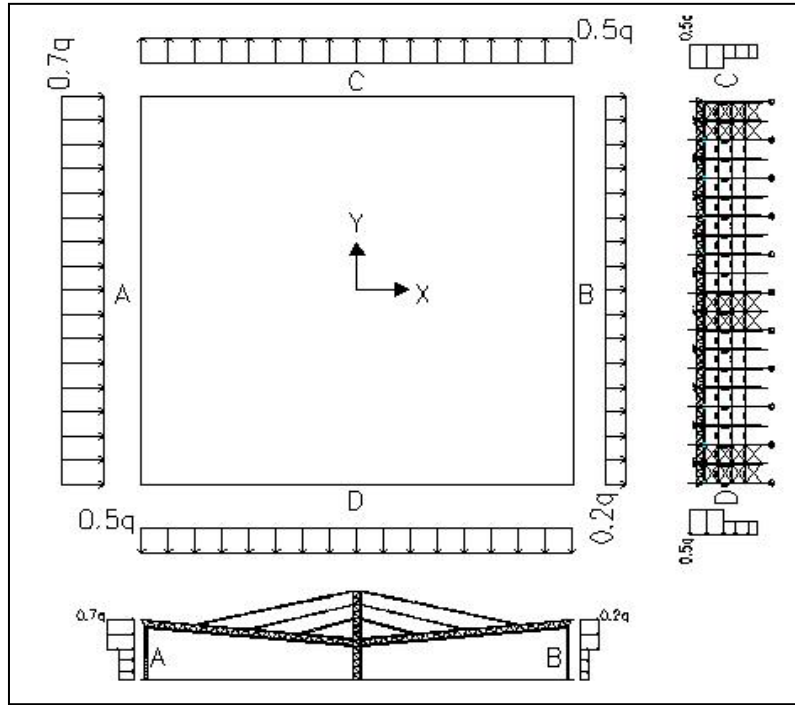
Buna göre;

$b > 15\text{m}$ olduğundan, $l_s = 15\text{m}$ alınır.

$0.8 \leq \mu_3 = \frac{2h}{P_{k0}} \leq 3$ koşuluna bağlı olarak, eşdeğer üçgen yayılı yüklemenin yüksekliği μ_3 belirlenir.

2.3 Rüzgar Yüğü

Yapıya etki eden rüzgar yükünün belirlenmesinde, EC-1 Bölüm 1.4' den faydalanılmıştır. Ters eğimli çatısı olan yapılar için verilmiş yüzey katsayıları kullanılmıştır (Şekil 2.1-2.2-2.3-2.4). Rüzgar yükü, yapının yüksekliğine bağlı olarak değişen rüzgarın hızına göre belirlenmektedir.



Şekil 2.2: Ön ve yan cephe rüzgar yükü katsayıları (X yönü rüzgar)

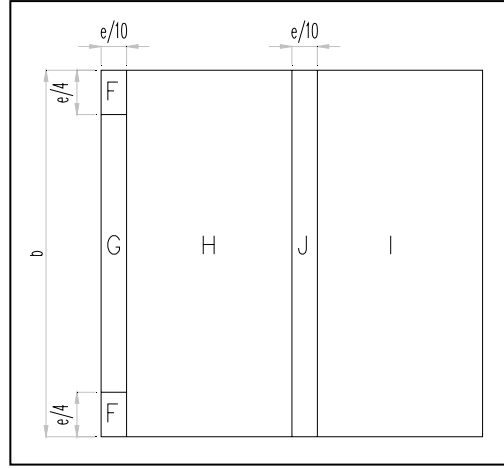
$$H < 8 \text{ m} \Rightarrow q_p = 0.5 \text{ kN/m}^2$$

$$H > 8 \text{ m} \Rightarrow q_p = 0.8 \text{ kN/m}^2$$

Yapı yüzeyine etki eden rüzgar yükü;

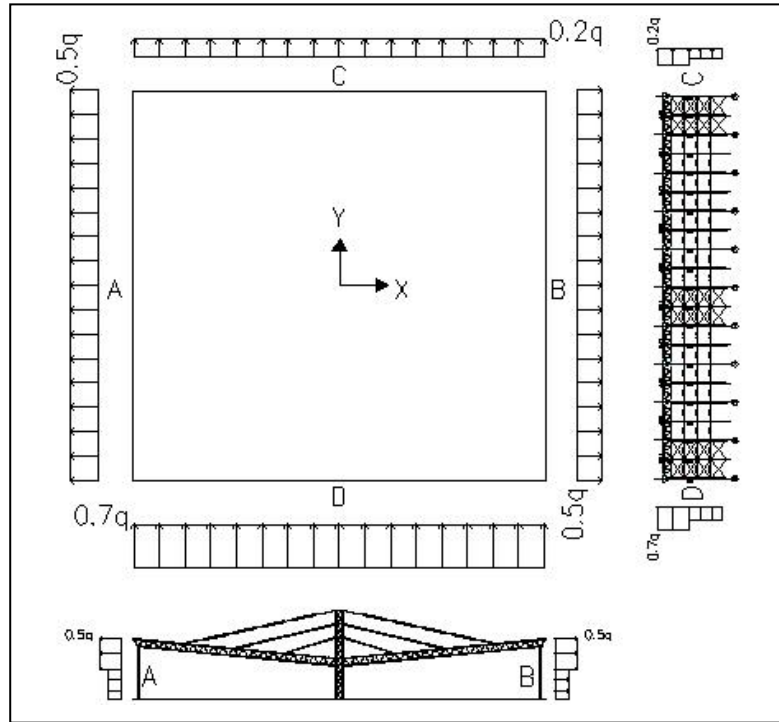
$$w = c_p \times q_r$$

formülü ile hesaplanır. Formülde kullanılan c_p yüzey katsayısı aşağıdaki şekillerde rüzgarın estiği yöne göre verilmiştir.

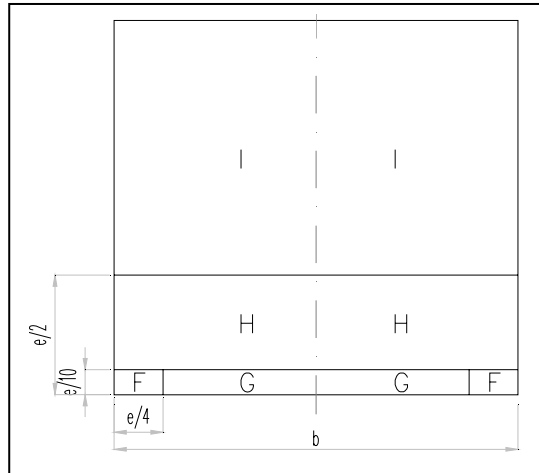


$$\begin{aligned}
 F &= -2.3 \\
 G &= -1.2 \\
 H &= -0.8 \\
 I &= +0.2 ; -0.6 \\
 J &= +0.2 ; -0.6 \\
 e &= \min(b; 2H)
 \end{aligned}$$

Şekil 2.3: Çatı düzlemi rüzgar yükü katsayıları (X yönü rüzgar)



Şekil 2.4: Ön ve yan cephe rüzgar yükü katsayıları (Y yönü rüzgar)



$$\begin{aligned}
 F &= -2.3 \\
 G &= -1.2 \\
 H &= -0.8 \\
 I &= +0.2; -0.6 \\
 e &= \min(b; 2H)
 \end{aligned}$$

Şekil 2.5: Çatı düzlemi rüzgar yükü katsayıları (Y yönü rüzgar)

2.4 Deprem Yüğü

Yapı deprem hesabı DBYBHY' e uygun olarak eşdeğer deprem yüğü yöntemine yapılacaktır. Yapının 3 boyutlu analizi ile elde edilen titreşim periyodu aşağıda verilmiştir.

$$\text{Model-1: } T_{1x} = 0.25 \text{ sn} \quad T_{1y} = 0.25 \text{ sn}$$

$$\text{Model-2: } T_{1x} = 0.27 \text{ sn} \quad T_{1y} = 0.22 \text{ sn}$$

Spektrum Karakteristik Periyotları, T_A ve T_B , binanın üzerinde bulunduğu Z3 tipi zemin için $T_A = 0.15 \text{ sn}$, $T_B = 0.60 \text{ sn}$ 'dir.

$$(T_A \leq T \leq T_B) \Rightarrow S(T) = 2.5$$

Her iki sistem için de periyot belirtilen sınırlar içerisinde kaldığından spektrum katsayıları eşittir.

$$A(T) = A_0 I S(T) = 0.40 \times 1.2 \times 2.5 = 1.2$$

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R , deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte merkezi çaprazlı çelik perdeler tarafından taşındığı için 5 olarak alınmıştır.

$$T_A < T \Rightarrow R_a(T) = R \text{ alınır.}$$

Taban kesme kuvvetleri, $w_i = g_i + nq_i$ formülü ile hesaplanır.

$$W_{\text{Model-1}} = (5850 + 0.25 \times 10000) + 0.3(0.1 \times 100 \times 100) = 11350 \text{ kN}$$

$$W_{\text{Model-2}} = (7750 + 0.25 \times 10000) + 0.3(0.1 \times 100 \times 100) = 13250 \text{ kN}$$

Yapı ağırlığına, çatı kaplaması ve tesisat yüğü ile kar yüklemesinin %30' u eklenmiştir.

$$V_t = \frac{W A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 I W$$

$$V_t = \frac{11350 \times 1.2}{5} = 2724 \text{ kN}$$

$$2724 \geq 0.10 \times 0.4 \times 1.2 \times 11350 = 545$$

uygun

$$V_t = \frac{13250 \times 1.2}{5} = 3180 \text{ kN}$$

$$3180 \geq 0.10 \times 0.4 \times 1.2 \times 13250 = 636$$

uygun

Eşdeğer deprem yüğü formüllerine göre hesaplanan taban kesme kuvveti, SAP2000 v.11.0.4 programında çözülen modelden elde edilen taban kesme kuvvetine yaklaşık olarak eşit bulunmuştur.

3. HESAP ADIMLARININ AÇIKLANMASI

3.1 Kesit Hesapları

Kesit hesapları için EUROCODE 3 Çelik Yapıların Tasarımı Bölüm 1-1 şartnamesi kullanılmıştır. Kullanılan hesap formülleri, aşağıda gerekli açıklamalarla birlikte verilmiştir.

3.1.1 Kesit çekme kapasitesi:

Bütün kesit sınıfları için;

Brüt kesit alanın plastik tasarım dayanımı:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M_0}} \quad (3.1)$$

Net kesit alanın nihai dayanımı:

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M_2}} \quad (3.2)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

3.1.2 Kesit basınç kapasitesi:

Kesit sınıfı- 1, 2 ve 3 olan kesitler için:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M_0}} \quad (3.3)$$

Kesit sınıfı – 4 olan kesitler için:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M_0}} \quad (3.4)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

3.1.3 Kesit moment kapasitesi:

➤ Kesit sınıfı- 1 veya 2 kesitler için:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M_0}} \quad (3.5)$$

➤ Kesit sınıfı- 3 olan kesitler için:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M_0}} \quad (3.6)$$

➤ Kesit sınıfı- 4 olan kesitler için;

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M_0}} \quad (3.7)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

3.1.4 Kesitin kesme kuvveti kapasitesi:

Kesitin plastik kesme kuvveti kapasitesi:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M_0}} \quad (3.8)$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

- Kesit gövdesine paralel yüklü hadde I ve H profiller için etkili kesme alanı ;

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \geq \eta h_w t_w \quad (3.9)$$

$$h_w = h - 2t_f$$

- Kesit gövdesine paralel yüklü yapma I profiller için kesme alanı ;

$$A_v = \mu \Sigma (h_w t_w)$$

- Üniform et kalınlığında boru kesitler için kesme alanı ;

$$A_v = 2A / \pi$$

Kesitin $V_{c,Rd}$ elastik kesme kuvveti kapasitesini kontrol edebilmek için kritik noktalarda aşağıdaki koşul sağlanmalıdır.

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y (\sqrt{3} \gamma_{M_0})} \leq 1.0 \quad (3.10)$$

Bütün kesitler için kayma gerilmesi:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S}{I t} \quad (3.11)$$

I ve H kesitler için kayma gerilmesi:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \quad (3.12)$$

Formülün kullanılabilmesi için $\frac{A_f}{A_w} \geq 0.6$ olmalıdır.

Gövde berkitmesi bulunmayan elemanlarda EN 1993-1-5 (5. Bölüm)'de tarif edilen kesme burulması kontrolü yapılmalıdır.

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (3.13)$$

η katsayısı tedbirli bir yaklaşımla 1.0 alınabilir.

3.1.5 Moment ve kesme kuvveti etkileşiminin incelenmesi:

Kesme kuvveti ve moment etkisi altında olan elemanlarda, kesme kuvvetinin moment dayanımına etkisi kontrol edilmelidir.

$$V_{ED} \leq 0,5 V_{pl,Rd} \quad (3.14)$$

Koşulunun sağlanması durumunda kesme kuvvetinin moment kapasitesi üzerindeki etkisi ihmal edilir.

Koşulun sağlanmadığı durumda, kesitin tasarım dayanımı ρ katsayısı azaltılır.

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[W_{pl,y} - \frac{\rho A_w^2}{4 t_w} \right] f_y}{\gamma_{M_0}} \quad (3.15)$$

$$\rho = \left(\frac{2 V_{ED}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (3.16)$$

$M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd}$ olmalıdır.

3.1.6 Moment ve Basınç Kuvveti Etkileşiminin İncelenmesi:

❖ Kesit sınıfı 1 ve 2 olan elemanlarda;

$M_{ED} \leq M_{N,Rd}$ olmalıdır.

Simetrik flanşlı I ve H kesitler ile diğer flanşlı kesitlerde

$$N_{ED} \leq \frac{0.5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M_0}} \quad (3.17.a)$$

$$N_{ED} \leq 0.25 N_{pl,Rd} \quad (3.17.b)$$

koşulların sağlanması durumunda, basınç etkisinin moment dayanımına etkisi ihmal edilebilir.

Koşulların sağlanmadığı durumlarda, basınç kuvveti etkisinde moment dayanımı düşürülmelidir.

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \frac{(1-n)}{(1-0.5a)} \quad (3.18)$$

$$M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd} \text{ olmalıdır.}$$

$$n = \frac{N_{ED}}{N_{pl,Rd}} \quad (3.19)$$

$$a = \frac{A - 2bt_f}{A}, \quad a \leq 0,5 \text{ olmalıdır.} \quad (3.20)$$

$$\triangleright n < a \Rightarrow M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$\triangleright n > a \Rightarrow M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$$

Kesit sınıfı-3 elemanlarda;

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M_0}} \quad (3.21)$$

koşulu sağlanmalıdır.

Kesit sınıfı-4 elemanlarda;

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M_0}} \quad (3.22)$$

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} \frac{f_y}{\gamma_{M_0}}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{eff,y,min} \frac{f_y}{\gamma_{M_0}}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{eff,z,min} \frac{f_y}{\gamma_{M_0}}} \leq 1.00 \quad (3.23)$$

koşulları sağlanmalıdır.

3.1.7 Burkulma dayanımı

Basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

Kesit sınıfı 1, 2 ve 3 elemanlarda:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M_1}} \quad (3.24.a)$$

Kesit sınıfı 4 elemanlarda:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M_1}} \quad (3.24.b)$$

Burkulma eğrisi parametrelerinin bulunması:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}, \quad \chi \leq 1,0 \text{ olmalıdır.} \quad (3.25)$$

$$\Phi = 0.5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right] \quad (3.26)$$

χ : Basınç dayanımı azaltma faktörü

Kesit sınıfı 1, 2 ve 3 elemanlarda:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad (3.27.a)$$

Kesit sınıfı 4 elemanlarda:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad (3.27.b)$$

Brüt kesitin elastik kritik burkulma kuvveti:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} \quad (3.28)$$

Çizelge 3.1: Burkulma Eğrisi İmalat Hata Faktörleri

Burkulma eğrisi	a ₀	a	b	c	d
Hata faktörü	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

$\bar{\lambda} \leq 0.2$ veya $\frac{N_{ED}}{N_{cr}} \leq 0.04$ sınırları aşılmadığında, burkulma etkisi ihmal edilebilir.

Kesit kontrolleri yeterlidir.

Sınırlar aşılsa basınç etkisinde burkulma kapasitesi hesaplanmalıdır.

Moment etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M_1}} \quad (3.29)$$

Sınıf 1 ve 2 kesitler için, $W_y = W_{pl,y}$

Sınıf 3 kesitler için, $W_y = W_{el,y}$

Sınıf 4 kesitler için, $W_y = W_{eff,y}$

Yanal burulmalı burkulma eğrisinin hesabı:

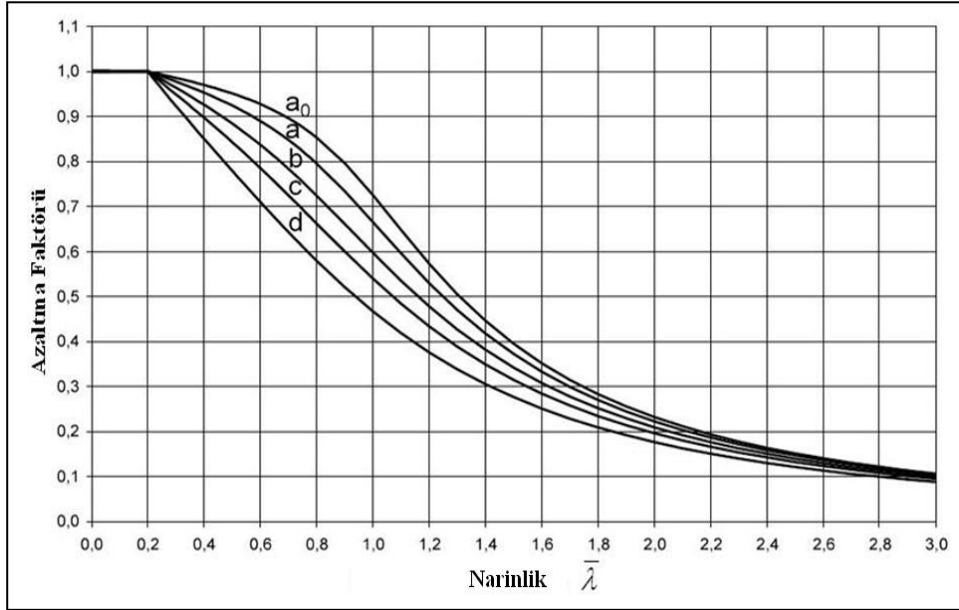
❖ Genel durum:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad (3.30)$$

χ_{LT} : Yanal burulmalı burkulma azaltma faktörü

$\chi_{LT} \leq 1.0$ olmalıdır.

Çizelge 3.2: Narinlik – Azaltma Faktörü Grafiği



$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad (3.31)$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} \leq \bar{\lambda}_{LT,0} \quad (3.32)$$

$\bar{\lambda}_{LT}$: Yanal burulmalı burkulmada narinlik değeri

I ve H profiller için elastik kritik moment:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr}^2} \left(\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 GI_T}{\pi EI_z} \right)^{0.5} \quad (3.33.a)$$

Boru profiller için elastik kritik moment:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L} \left(\sqrt{EIGI_t} \right) \quad (3.33.b)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}^2 \text{ olmalıdır.}$$

Çizelge 3.3: Bütün Profil Tipleri için Burkulma Eğrisi

Kesit Tipi	Sınırlar	Burkulma Eğrisi
Sıcak Hadde I kesit	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Yapma I kesit	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Diğer Kesitler	-	d

❖ **Sıcak hadde veya kaynaklı kesitler için:**

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} \leq 1.0 \text{ ve } \chi_{LT} \leq \frac{1.0}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \text{ olmalıdır.}$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad (3.34)$$

Tavsiye edilen değerler;

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4 \text{ (en büyük değer)}$$

$$\beta = 0.75 \text{ (minimum değer)}$$

Yanal doğrultuda tutulu elemanlarda moment etkisi için χ_{LT} değeri azaltılmalıdır.

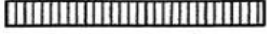
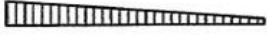
$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) \left[1 - 2.0(\bar{\lambda}_{LT} - 0.8)^2 \right], \quad f \leq 1.0 \text{ olmalıdır.} \quad (3.35)$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f}, \quad \chi_{LT,mod} \leq 1.0 \text{ olmalıdır.} \quad (3.36)$$

Çizelge 3.4: Sıcak Hadde Profil Geometrisine göre Burkulma Eğrisi

Kesit Tipi	Sınırlar	Burkulma Eğrisi
Sıcak Hadde I kesit	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
Yapma I kesit	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

Çizelge 3.5: Moment Dağılım Parametresi

Moment Dağılımı	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

Moment ve basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

Simetrik, üniform ve burulma deformasyonları için aşağıdaki belirtilen tipte yapı elemanları için moment ve basınç etkisinde burkulma kapasitesi hesapları yapılmalıdır.

- Boru kesitler gibi kuvvetli ve zayıf yöndeki mukavemet özellikleri aynı olan ya da dönme etkisine karşı önlem alınmış elemanlarda,
- Dönme etkisine karşı önlem alınmamış açık kesitli narin elemanlarda,

moment ve basınç kuvveti etkisinde aşağıdaki iki koşul da sağlanmalıdır.

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M_1}} + k_{yy} \frac{M_{y,ED} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M_1}} + k_{yz} \frac{M_{z,ED} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M_1}} \leq 1$$

$$\frac{N_{ED}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M_1}} + k_{zy} \frac{M_{y,ED} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M_1}} + k_{zz} \frac{M_{z,ED} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M_1}} \leq 1$$

(3.37)

EC-3 Ulusal Ek' de moment ve eksenel basınç kuvvetinin burkulma kapasitesine etkisinin hesabı için 2 ayrı yöntem tanımlanmıştır. Hesaplarda 1. Yöntem kullanılacaktır. 1. Yöntem için kullanılan formül ve açıklamalar aşağıda sıralanmıştır.

Çizelge 3.6: Kesit Sınıflarına göre Mukavemet Parametreleri

Sınıf	1	2	3	4
A_i	A	A	A	A_{eff}
W_y	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{eff,y}$
W_z	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{eff,z}$
$\Delta M_{y,Ed}$	0	0	0	$e_{N,y} N_{Ed}$
$\Delta M_{z,Ed}$	0	0	0	$e_{N,z} N_{Ed}$

Eşdeğer üniform moment faktörü:

$$C_{my,0} = 1 - 0.18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \quad (3.38)$$

Elastik burulmalı burkulma kuvveti:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left(GI_T + \frac{\pi^2 EI_w}{l_T} \right) \quad (3.39)$$

$$i_0^2 = \sqrt{I_y/A} + \sqrt{I_z/A} \quad (3.40)$$

Kesit sınıfı 1, 2 ve 3 olan elemanlar için:

$$\varepsilon_y = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} \quad (3.41.a)$$

Kesit sınıfı 4 olan elemanlar için:

$$\varepsilon_y = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \frac{A_{eff}}{W_{el,y}} \quad (3.41.b)$$

ε : Akma durumunda şekil değişimi faktörü

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_z} \quad (3.42)$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}} \quad (3.43)$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left[\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}} \right) \right]}} \geq 1.0 \quad (3.44)$$

Eksenel yüklerin kritik değerlere oranı:

$$\eta_y = \frac{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)}{1 - \chi_y \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)}, \quad \eta_z = \frac{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)}{1 - \chi_z \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)} \quad (3.45)$$

Mukavemet momentleri oranı;

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5, \quad w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5 \quad (3.46)$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} \quad (3.47)$$

C_{ij} faktörleri;

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{mak}^2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{mak}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} \quad (3.48.a)$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \times \frac{C_{my}^2 \lambda_{mak}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}} \quad (3.48.b)$$

➤ Sınıf 1 ve 2 için k_{ij} etkileşim faktörleri;

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{ED}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}} \quad (3.49.a)$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{ED}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \quad (3.49.b)$$

➤ Sınıf 3 ve 4 için k_{ij} etkileşim faktörleri;

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{ED}}{N_{cr,y}}} \quad (3.49.c)$$

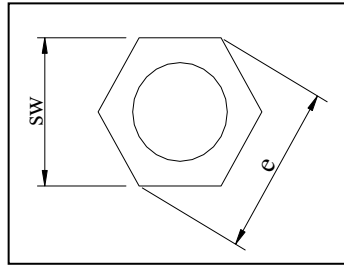
$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{ED}}{N_{cr,y}}} \quad (3.49.d)$$

3.2 Birleşim Hesapları

3.2.1 Bulonlu birleşim hesapları

Çizelge 3.7: Bulonlu birleşimlerde oluşan gerilme tiplerine göre kullanılan formüller

Göçme Şekli	Bulonlar
Makaslama dayanımı	$F_{v,Rd} = \frac{a_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M_2}}$ Kalite 4.6, 5.6 ve 8.8 bulonlar için, $a_v = 0.6$ Kalite 4.8, 5.8, 6.8 ve 10.9 bulonlar için, $a_v = 0.5$
Ezilme dayanımı	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M_2}}$ Kuvvet doğrultusunda; $a_b = \min \left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1.0 \right)$ Kuvvete dik doğrultuda; Kenar bulon: $k_1 = \min \left(2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7; 2.5 \right)$ Ara bulon: $k_1 = \min \left(1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7; 2.5 \right)$
Çekme dayanımı	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M_2}}$ $k_2 = 0.9$
Zımbalama dayanımı	$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M_2}}, \quad d_m = \frac{e + sw}{2}$
Çekme ve makaslama etkisi	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 F_{t,Rd}} \leq 1.0$



Şekil 3.1: d_m Parametresi için Bulon Başı Ölçüleri

e : Bulon başı köşegen mesafesi

sw : Anahtar ağız açıklığı

Çizelge 3.8: Bulon Yerleşim Koşulları

Mesafeler	Minimum	Maksimum		
		EN 10025 çelik		EN 10025-5 çelik
		İzolasyonsuz	İzolasyonlu	İzolasyonsuz
e_1	$1.2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$		$8t \text{ veya } 125 \text{ mm, büyüğü}$
e_2	$1.2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$		$8t \text{ veya } 200 \text{ mm, büyüğü}$
p_1	$2.2d_0$	$14t \text{ veya } 200 \text{ mm, küçüğü}$	$14t \text{ veya } 200 \text{ mm, küçüğü}$	$14t_{\min} \text{ veya } 175 \text{ mm, küçüğü}$
p_2	$2.4d_0$	$14t \text{ veya } 200 \text{ mm, küçüğü}$	$14t \text{ veya } 200 \text{ mm, küçüğü}$	$14t_{\min} \text{ veya } 175 \text{ mm, küçüğü}$

e_1 : Kuvvet yönünde, en dıştaki bulon merkezinden plaka kenarına olan mesafe

e_2 : Kuvvete dik yönde, en dıştaki bulon merkezinden plaka kenarına olan mesafe

p_1 : Kuvvet yönünde iç sıra bulonları ara mesafesi

p_2 : Kuvvete dik yönde iç sıra bulonları ara mesafesi

Öngerilmeli bulonlarda makaslama dayanımı:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M_3}} F_{p,c} \quad (3.50)$$

$$F_{p,c} = 0.7 f_{ub} A_s \quad (3.51)$$

n: Birleştirilen düğüm noktasında sürtünen yüzey sayısı

μ : Sürtünme katsayısı

$F_{p,c}$: Öngerilme kuvveti, bulona, nihai dayanımının %70' i kadar öngerilme verilir.

Çekme ve makaslama kuvveti etkisinde öngerilmeli bulon:

Çekme kuvveti, öngerilme kuvvetine ters yönde etki ettiğinden, öngerilme kuvvetini azaltacaktır.

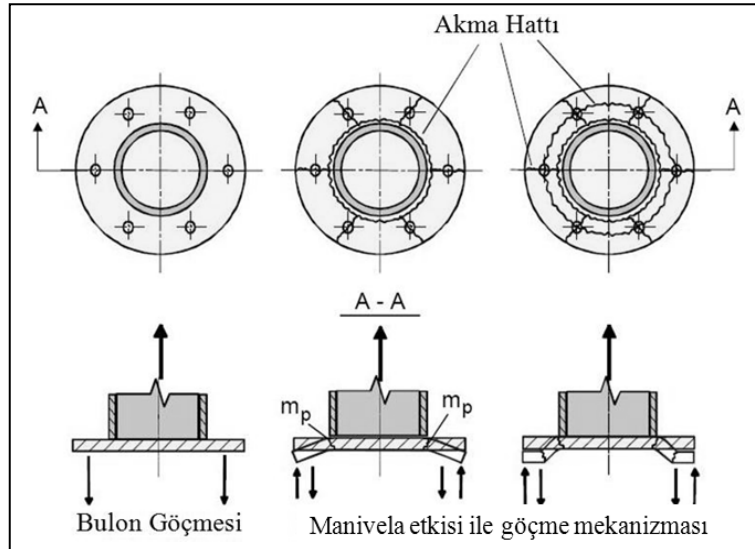
$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,c} - 0.8 F_{t,Ed})}{\gamma_{M_3}} \quad (3.52)$$

Çizelge 3.9: Bulon delik durumu parametresi

Bulon Tanımı	k_s
Normal delikli	1.0
Çok geniş veya kuvvet yönüne dik yönde oval delikli	0.85
Kuvvet yönüne dik yönde uzun oval delikli	0.7
Kuvvet yönüne paralel yönde oval delikli	0.76
Kuvvet yönüne dik yönde uzun oval delikli	0.63

3.2.2 Manivela etkisi

Birleşimin alın plakaları ile sağlandığı çekme kuvveti etkisindeki düğüm noktalarında, birleşim araçlarının yük etkisindeki davranışlarından dolayı “Manivela Etkisi” denilen ek tesirler ortaya çıkmaktadır. Manivela etkisi, bağlı olduğu profilin aktardığı çekme kuvveti etkisiyle şekil değiştirmeye başlayan alın plakasının, karşı yüzeyin dış çeperine baskı yaparak bulonlarda ek çekme kuvveti oluşturması olarak tanımlanabilir.



Şekil 3.2: Manivela Etkisi ile Göçme Mekanizmasının Oluşumu

Manivela etkisi, bulonların eleman gövdesi ile plaka kenarına olan mesafelerine ve etki eden kuvvetin büyüklüğüne göre değişken bir davranış göstermektedir. Oluşan bu ek tesir, düğüm noktasının davranışına bağlı olduğundan eleman tipine (açık ya da boru kesitler) göre de değişmektedir.

Davranışı daha iyi kavrayabilmek için yukarıdaki şekilleri inceleyelim. 1. şekilde; taban plakası yükü taşıyor ancak bulonlar yetersiz olduğundan bulonlar plastikleşiyor. 2. ve 3. şekillerde ise; taban plakasının zayıf olmasından ve/veya

bulonların kenarlara yakın olmasından dolayı, alın plakası boru cidarından ve/veya bulon hizasından geçen dairesel hattı merkez alarak plastikleşmiştir.

Manivela etkisinde kritik öneme sahip e_1 parametresi için bulon çapının, 1.5 veya 2.0 katı değerinde aralık önerilmektedir. e_1 değerine karar verilirken montajın rahatça yapılabilmesi açısından, somun ile profili alın plakasına birleştiren kaynak arasında da en az 5mm bırakılmalıdır.

❖ **Açık kesitlerde manivela etkisinin hesabı:**

Manivela etkisi açık kesitlerde Eurocode 3 Bölüm 1-8, 6.2.4'de Eşdeğer T-model Etkisi olarak isimlendirilmiş ve çözümü için 2 yöntem verilmiştir. Bu hesap yöntemleri;

- Kolon flanşındaki eğilme etkisinde
- Alın plakasının eğilme etkisinde
- Berkitmelerde eğilme etkisinde
- Moment etkisinde, taban plakasında çekme kuvvetine çalışan flanş plakasında kullanılır.

Çizelge 3.10: Manivela etkisi formülasyonu

	$L_b \leq L_b^* \Rightarrow$ Manivela etkisi var		Manivela etkisi yok.
	Yöntem-1	Yöntem-2	
Mod-1	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m + n)}$	
Mod-2	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m + n}$		
Mod-3	$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$		

Mod 1: Alın plakasının tamamen akması durumu

Mod 2: Plakanın akması ile bulonların kopması

Mod 3: Bulonların kopması

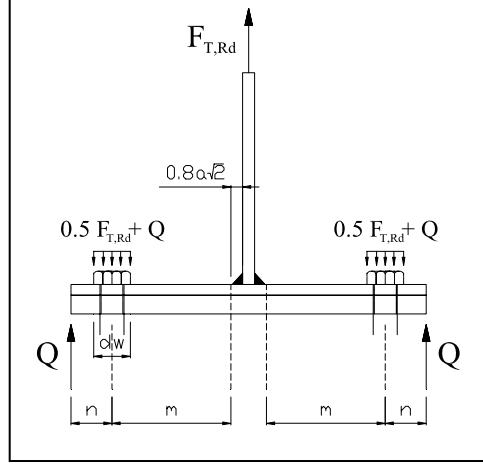
L_b : Bulon sünme, uzunluğu

- Normal birleşimlerde; bulonun birleştirilen plakalar içerisinde kalan kısmı, bulon kafa yüksekliğinin yarısı ile somun ve rondela yüksekliklerinin toplamıdır.
- Ankraj bulonlarında; bulon çapının 8 katı, tefsiye betonu yüksekliği ile somun ve rondela yüksekliklerinin toplamıdır.

$$L_b^* = \frac{8.8m^3 A_s}{\Sigma l_{eff,t} t_f^3} \quad (3.53)$$

$F_{T,Rd}$: T-model etkisindeki flanşın tasarım çekme dayanımı

Q : Manivela kuvveti



Şekil 3.3: T-model etkisindeki başlık

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \Sigma l_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{M_0} \quad (3.54.a)$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \Sigma l_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M_0} \quad (3.54.b)$$

$F_{t,Rd}$: Bulonun tasarım çekme dayanımı

$\Sigma F_{t,Rd}$: T-model etkisindeki bütün bulonlara gelen kuvvetlerin toplamı

$\Sigma l_{eff,1}$: Mod-1 durumunda Σl_{eff}

$\Sigma l_{eff,2}$: Mod-2 durumunda Σl_{eff}

$$e_w = \frac{d_w}{4} \quad (3.55)$$

❖ **Boru kesitlerde manivela etkisinin hesabı:**

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 \text{ (mm)} \quad (3.56)$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} \text{ (mm)} \quad (3.57)$$

d_1 : Alın plakasına birleşen boru profil çapı

t_1 : Boru profilin et kalınlığı

$$k_1 = \ln(r_2 / r_3) \quad (3.58)$$

$$k_3 = k_1 + 2 \quad (3.59)$$

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} \left[k_3 (k_3^2 - 4k_1)^{0.5} \right] \quad (3.60)$$

$$t_p \geq \sqrt{\frac{2N_{t,Ed} \gamma_{M_0}}{\theta f_{y,p} \pi f_3}} \quad (3.61)$$

t_p : Alın plakası kalınlığı

$$\theta = 0.9$$

$$e_{eff} = \min(e_2; 1.25e_1)$$

e_{eff} : Etkili bulon kenar mesafesi

$$r_1 = \left(\frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \right) \quad (3.62)$$

$$N_{1,Ed} \leq \frac{\theta n F_{t,Rd}}{\left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \ln(r_1 / r_2)} \right)} \quad (3.63)$$

3.2.3 Kaynaklı birleşim hesapları

Köşe ve kısmi nüfuziyetli küt kaynak kesme dayanımı:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M_2}} \quad (3.63)$$

Birim uzunluktaki kaynak dayanımı;

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a \quad (3.64)$$

β_w :Düzeltilme faktörü, kaynaklanan malzeme özelliğine göre değişir. S235 çelik için, 0.80 ; S275 çelik için 0.85 alınır.

Kaynak dayanımı hesabı bütün kuvvet tesirleri (kayma, çekme) için aynı formülle yapılmaktadır.

3.2.4 Kaynaklı kafes eleman imalat esasları ve düğüm noktası birleşim hesapları

Kafes giriş elemanların kesit hesabında bazı koşullar sağlanmalıdır.

- 1- Eleman et kalınlıkları $2,5 < t \leq 25$ mm aralığında olmalıdır.
- 2- Sıcak veya soğuk hadde profil olmalıdır.
- 3- Eleman en fazla S355 kalitesinde olmalıdır. ($f_y = 355$ N/mm²)
- 4- Eleman kesitleri Sınıf 1 veya Sınıf 2' ye ait olmalıdır.

- 5- Örgü ve başlık elemanları arasındaki açı 30^0 ' den az olmamalıdır. Çünkü, elemanlar arasına en kuvvetli kaynak, ancak dar açılarda mümkün olabilmektedir. Ayrıca, düğüm noktası kapasite hesaplarında da eğer açı koşulları sağlanmıyorsa, gerçek açı ölçüsü yerine 30^0 katları ile hesap yapılmalıdır.
- 6- Düğüm noktalarında, örgü ve başlık eleman eksenlerinin kesişiminde oluşan kaçıklıklar sonucu oluşan moment tesiri, aşağıdaki koşulun sağlanması halinde ihmal edilebilir.

$$-0,55 \leq \frac{e}{d_0} \leq 0,25 \quad (3.65)$$

e : Diyagonal eksenleri kesişiminin başlık profili eksenine mesafesi

d_0 : Başlık profilinin çapı

Boru kesitlerle tasarlanan kafes kirişlerde, düğüm noktası kapasitesini etkileyen tasarım ve imalat parametreleri aşağıda sıralanmıştır.

- 1- Aralıklı düğüm noktalarında diyagonal elemanlar arasındaki mesafe, kaynak dikişlerinin kolay çekilebilmesi için $t_1 + t_2$ ' den az olmamalıdır.
- 2- Aralıklı düğüm noktalarında, örgü - başlık elemanı genişlik oranı artırılırsa düğüm nokta kapasitesi de artar. Yani büyük çaplı ince cidarlı örgü elemanları ile, küçük çaplı kalın cidarlı başlık profillerinin kullanılması düğüm nokta kapasitesini artıracaktır.
- 3- Bütün yükleme ve düğüm noktası tiplerinde (tamamen bindirilmiş düğüm noktaları dışında), küçük çaplı kalın cidarlı başlık elemanı kullanılmak düğüm nokta kapasitesini artıracaktır.
- 4- Üst üste binen elemanlar, bir diyagonal elemandan diğerine makaslama etkisini aktarabilecek şekilde birleştirilmelidir. K ve N tipi düğüm noktalarında, örgü elemanlarından biri başlık profiline tam olarak kaynaklanmalı, diğeri ise hem örgü hem de başlık elemanına kaynaklanmalıdır.
- 5- Bütün olarak bindirilmiş örgü elemanlarıyla oluşturulmuş düğüm noktalarında başlık ve bindirilmiş örgü elemanları, dar ve kalın cidarlı seçilirse kapasite artışı sağlanabilir.
- 6- Birbirine bindirilen elemanların farklı et kalınlığında olmaları durumunda; ince cidarlı eleman, kalın cidarlı olanının üzerinde bindirilmelidir.

- 7- Bindirmeli birleşimlerde farklı dayanımdaki elemanlarla çalışılması durumunda; dayanımı düşük olan eleman, yüksek olan eleman üzerine bindirilmelidir.
- 8- Kısmi olarak bindirilmiş örgü elemanlarıyla oluşturulmuş düğüm noktalarında; başlık ve bindirilmiş örgü elemanları, küçük çaplı ve kalın cidarlı seçilirse kapasite artışı sağlanabilir.
- 9- Örgü elemanları aralıklı olarak düzenlenmiş kafes kiriş imalatı, bindirilmiş olanlara göre daha ekonomik ve basittir.
- 10- Yüklenme ve mesnetlenme koşullarının aynı olduğu bir sistemde, dairesel kesitli profillerle tasarlanan kafes kiriş kapasitesi, kutu kesitlerle hazırlanandan daha yüksektir.

Kafes kiriş diyagonal ve başlık elemanları arasındaki birleşimler köşe, küt kaynak ve bunların kombinasyonları şeklinde düzenlenebilir. Kaynak hesabı yapılırken, profil çevresindeki birim uzunlukta uygulanan kaynak dikişi tasarım dayanımı, birim uzunlukta eleman en kesitinin tasarım dayanımından az olmamalıdır. Malzeme kalitesine göre, kullanılan kaynak kalınlığı ile ilgili sınırlama aşağıdaki ifadede verilmiştir.

$$\text{Burada; } \alpha = \frac{1,1}{\gamma_{M_j}} \times \frac{\gamma_{M_w}}{1,25} \text{ formülü ile elde edilir.} \quad (3.66)$$

$$\text{S235 kalitesi için } \frac{a}{t} \geq 0,84\alpha$$

$$\text{S275 kalitesi için } \frac{a}{t} \geq 0,87\alpha$$

Boru kesitlerin kaynaklı düğüm noktaları EN1993-1-8-2005 7.4.1' de ifade edilen geometri koşullarını sağladığı takdirde yönetmelikte düğüm nokta tiplerine göre tanımlanan tasarım formülleri uygulanabilir. Bu geometri koşulları, kafes kirişlerdeki göçme tiplerine bağlı olarak deneysel çalışmalarla kanıtlanmış, düğüm noktalarının daha emniyetli çalışabilmelerini sağlamak için oluşturulmuş ön boyutlandırma sınırlarıdır. Eğer bu sınırların az da olsa dışında kalınırsa, hesaplanan kapasite değerlerinin 0.85 (%15) katsayısı ile azaltılması önerilmektedir. Uyulması gerekli koşullar aşağıda sıralanmıştır.

$$1- 0,2 \leq \frac{d_i}{d_0} \leq 1,0$$

2- Sınıf 2 başlık elemanları için; $10 \leq \frac{d_0}{t_0} \leq 50$

3- Sınıf iki diyagonal ve dikme elemanlar için; $10 \leq \frac{d_i}{t_i} \leq 50$

4- $\lambda_{ov} \geq 25\%$

5- $g \geq t_1 + t_2$

Burada;

d_i :Diyagonal veya dikme eleman çapı

t_i : Diyagonal veya dikme eleman et kalınlığı

d_0 :Başlık eleman çapı

t_0 :Başlık elemanı et kalınlığı

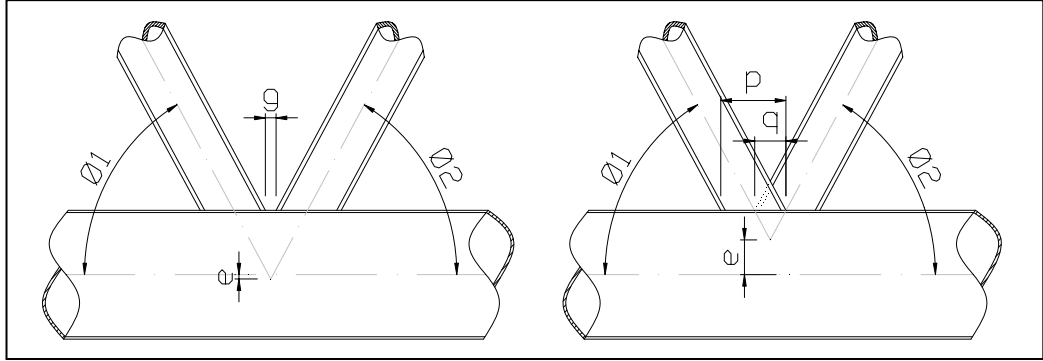
λ_{ov} :Düğüm noktasında diyagonal elemanların üst üste binme yüzdesi;

$$\lambda_{ov} = \frac{q}{p} \times 100 \% \quad (3.67)$$

q : Düğüm noktasında diyagonal elemanların binme miktarı

p : Diyagonal başlık birleşiminde diyagonalin ağız genişliği

g :Düğüm noktasında diyagonal elemanlar arasındaki mesafe



Şekil 3.4: Düğüm noktası dayanım hesaplarında kullanılan parametreler

Çizelge 3.11: Düğüm noktası tiplerine göre tasarım dayanımları

Başlık Plastikleşmesi	T ve Y tipi düğüm noktaları	
	$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} (2,8 + 14,2 \beta^2) / \gamma_{M5}$	
Başlık Plastikleşmesi	X tipi düğüm noktaları	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \frac{5,2}{(1 - 0,81 \beta)} / \gamma_{M5}$	
Başlık Plastikleşmesi	K ve N tipi aralıklı veya bindirilmiş düğüm noktaları	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{M5}$ $N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} N_{1,Rd}$	
Zımbalama Kesme Plastikleşmesi	K,N ve KT tipi aralıklı veya bütün T,Y ve X tipi düğüm noktaları	
When $d_i \leq d_0 - 2t_0$: $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$		
k_g ve k_p faktörleri		
$k_g = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5 g / t_0 - 1,33)} \right)$		
For $n_p > 0$ (basınç):	$k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$	$k_p \leq 1,0$ olmalı
For $n_p \leq 0$ (çekme):	$k_p = 1,0$	

4. AŞIK SEÇİMİ ve AĞIRLIK KARŞILAŞTIRMASI

4.1 Aşık Kesit Hesapları

Model -1 ve Model -2' de kullanılan iki ayrı taşıyıcı sistemi için, 3 tip aşık incelmesi yapılacaktır. Aşık seçimi, aşık sayısının çok olmasından dolayı yapı ağırlığında önemli bir yer tutmaktadır. Dolayısıyla uygulama ve imalat durumu da göz önünde bulundurularak, aşıkların en hafif şekilde boyutlandırılması yapının ekonomikliği açısından önemlidir. Bu bölümde;

- Ara plakasız petek kiriş
- Dolu kesit sıcak hadde geniş başlıklı profil
- Dairesel boru profillerden kaynaklı uzay kafes kiriş

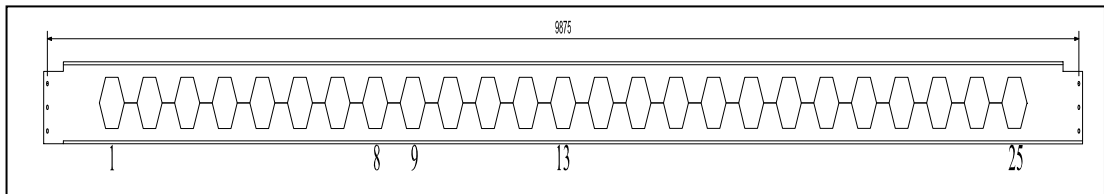
Aşık tipleri çalışılacaktır. Aks aralıkları 10 m olup, aşık mesnetleri basit olarak teşkil edilecektir.

4.1.1 Petek kiriş hesabı:

Seçilen kesit: INP 220

Kesit özellikleri:

$L = 9550 \text{ mm}$	$v = 60 \text{ mm}$	$h_s = 293 \text{ mm}$
$b = 98 \text{ mm}$	$e = 360 \text{ mm}$	$C_u = 46.6 \text{ mm}$
$h_1 = 220 \text{ mm}$	$H_{pk} = 320 \text{ mm}$	$C_o = 13.4 \text{ mm}$
$r = 8.1 \text{ mm}$	$n = \frac{9550}{360} = 26.5 \approx 27$	$A_{başlık} = 15.83 \text{ cm}^2$
$t_f = 12.2 \text{ mm}$	$m = 2 \times n = 54$	
$t_w = 8.1 \text{ mm}$		

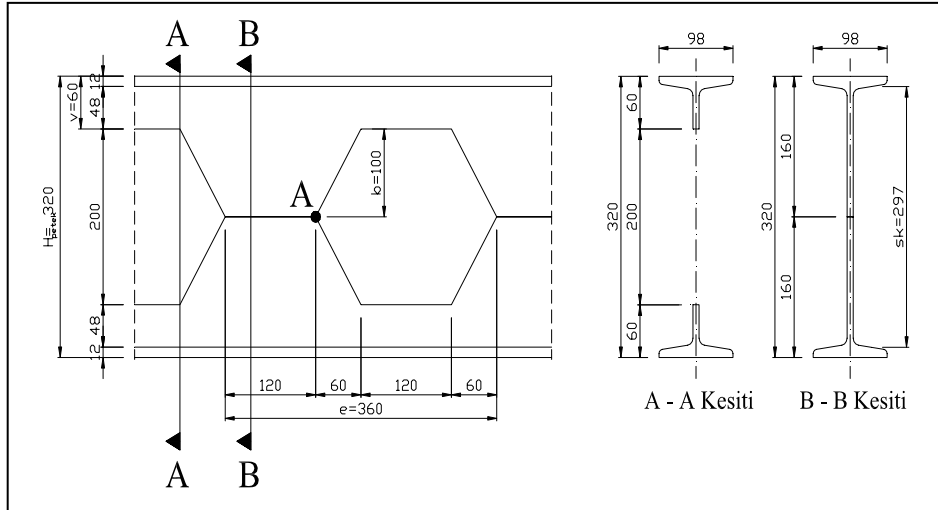


Şekil 4.1: Petek kiriş görünüşü (mm)

S235 kalite çelik profilden yapma I profil,

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1.00$$



Şekil 4.2: Petek kiriş imalat ölçüleri (mm)

Aşık yükü:

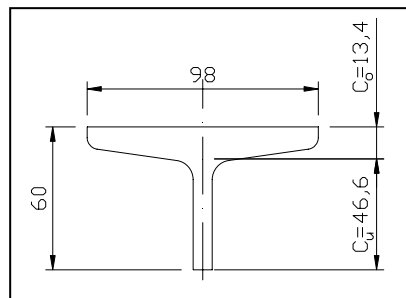
$$q = 1.35 \times (g_{aşık} + a \times (g_{kaplama} + g_{tesisat})) + 1.5 \times a \times q_{kar}$$

$a = 2.5 \text{ m}$ (aşık aralığı)

$$q = 1.35 \times (0.311 + 2.5 \times 0.25) + 1.5 \times 2.5 \times 1 = 5.02 \text{ kN/m}$$

En kesit sınıflandırması:

Basınç etkisindeki T-kesit başlık ölçüleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.3: T-kesit başlık ölçüleri (mm)

Başlık Sınıfı:

$$c = \frac{b - t_w}{2} - r = \frac{98 - 8.1}{2} - 8.1 = 36.85 \text{ mm}$$

$$c/t_f = \frac{36.85}{12.2} = 3.02$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer; $9\epsilon = 9.00$

$3.02 < 9.00$ Kesit Sınıfı 1

Gövde Sınıfı:

$$c = (h - t_f) - r = (60 - 12.2) - 8.1 = 39.7 \text{ mm}$$

$$c/t_f = \frac{39.7}{8.1} = 4.9$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer; $9\epsilon = 9.00$

$4.9 < 9.00$ Kesit Sınıfı 1

Bütün kesit için kesit sınıfı 1 olarak alınacaktır.

Kesit hesapları:

Kesitin basınç kapasitesi:

Açıklık ortasında kontrol:

$$M = \frac{qL^2}{8} = \frac{5.02 \times 10^2}{8} = 62.67 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = \frac{M}{h_s} = \frac{62.67}{0.293} = 214 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1583 \times 235}{1.10} = 338140 \text{ N} = 3381 \text{ kN} > N_{Ed}$$

uygun

8 – 9 gözünde kesme kuvveti – moment ilişkisinin incelenmesi:

$$X = \left(\frac{8+9}{2} \right) \times 0.36 = 3.06 \text{ m}$$

$$V_{mesnet} = \frac{qL}{2} = \frac{5.02 \times 10}{2} = 25.1 \text{ kN}$$

$$V_{(8-9),Ed} = V_{mesnet} - qX = 25.1 - 5.02 \times 3.06 = 8.83 \text{ kN}$$

$$M_{(8-9),Ed} = V_{mesnet}X - \frac{qX^2}{2} = 25.1 \times 3.06 \times 0.36 - \frac{5.02 \times 3.06^2}{2} = 45.18 \text{ kNm}$$

$$M_{T-Ed} = \frac{V_{Ed,(8-9)}e}{12} = \frac{7.80 \times 0.36}{12} = 0.23 \text{ kNm}$$

$$N_{(8-9),Ed} = \frac{45.18}{0.293} = 154.13 \text{ kN}$$

$$V_{T-Rd} = \frac{A \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{(60-12.2) \times 0.81}{\sqrt{3} \times 1.10} = 58960 \text{ N} = 58.96 \text{ kN} > V_{(8-9),Ed} \quad \text{uygun}$$

Moment ve kesme kuvveti etkileşiminin incelenmesi:

$0.5V_{pl,Rd} = 0.5 \times 58.96 = 29.48 \text{ kN} > V_{(8-9),Ed}$ koşul sağlanıyor. Kesme kuvvetinin moment dayanımına etkisi ihmal edilebilir.

Moment ve basınç kuvveti etkileşiminin incelenmesi:

$$\frac{0.5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \times (60-12.2-8.1) \times 8.1 \times 235}{1.10} = 34350 \text{ N} = 34.4 \text{ kN} < N_{(8-9),Ed} \text{ koşulu}$$

sağlanmıyor.

$$0.25N_{pl,Rd} = 0.25 \times 3381.4 = 845.4 \text{ kN} < N_{(8-9),Ed} \text{ koşulu sağlanmıyor.}$$

Dolayısıyla y-y eksen moment kapasitesine, eksenel basınç kuvvetinin etkisi dikkate alınmalıdır. Buna göre;

$$W_{pl} = 17087 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} M_{N,Rd} &= M_{pl,Rd} \left[1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \right] = \frac{17087.2 \times 235}{1.10} \times \left[1 - \left(\frac{154130}{338140} \right)^2 \right] \\ &= 2890000 \text{ Nmm} = 2.89 \text{ kNm} > M_{T,Ed} \end{aligned}$$

İlk gözde kontrol:

$$V_{mesnet} = 25.10 \text{ kN}$$

$$M_{T-Ed} = \frac{V_{Ed} e}{12} = \frac{25.1 \times 0.36}{12} = 0.68 \text{ kNm} < M_{pl,Rd} = 3.65 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{V_{mesnet}}{2} = \frac{25.1}{2} = 11.37 \text{ kN} \text{ (Kesme kuvveti alt ve üst başlığa paylaştırıldı.)}$$

$$0.5V_{pl,Rd} = 0.5 \times 58.96 = 29.48 \text{ kN} > V_{Ed} = 11.37 \text{ kN} \text{ (M – V etkileşimi yoktur.)}$$

“ 1 ” dikmesinde kontrol:

$$X = 60 \text{ cm}$$

$$V_{Ed} = V_{mesnet} - qX = 25.1 - 5.02 \times 0.6 = 22.48 \text{ kN}$$

$$H_{Ed} = \frac{e}{2h_s} (2V_{Ed} + eq) = \frac{0.36}{2 \times 0.293} \times (2 \times 22.48 + 0.36 \times 5.02) = 24.34 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,1} = \frac{A \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{(8.1 \times 360/3) \times 235}{\sqrt{3} \times 1.10} = 119890 \text{ N} = 120 \text{ kN} > H_{Ed} \quad \text{uygun}$$

“ 1 ” dikmesinde A noktasında kontrol:

$$H_{Ed} = 24.34 \text{ kN} < 0.5V_{Rd,1} = 0.5 \times 120 = 60 \quad \text{M – V etkileşimi yoktur.}$$

$$N_{Ed,1,A} = \frac{eq}{2} = \frac{0.36 \times 5.02}{2} = 0.82 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,1,A} = \frac{\left(t_w \frac{e}{3}\right) f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(8.1 \times 120) \times 235}{1.10} = 207655 \text{ N} = 208 \text{ kN}$$

$$0.25N_{Rd,1,A} = 0.25 \times 208 = 52 \text{ N} > N_{Ed,1,A} \quad \text{M – N etkileşimi yoktur.}$$

$$W_{pl,1} = 29160 \text{ mm}^3$$

$$M_{Ed,1,A} = H_{Ed} b = 24.34 \times 0.1 = 2.43$$

$$M_{Rd,1,A} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{29160 \times 235}{1.10} = 6229636 \text{ Nmm} = 6.23 \text{ kNm} > M_{Ed,1,A} \quad \text{uygun}$$

Açıklık ortasındaki dikmede buruşma kontrolü:

$$s_k = 279.4 \text{ mm}$$

$$I_z = \frac{s_k t_w^3}{12} = \frac{279.4 \times 8.1^3}{12} = 12400 \text{ mm}^4$$

$$A = s_k t_w = 279.4 \times 8.1 = 2263 \text{ mm}^2$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{12400}{2263}} = 0.23 \text{ cm}$$

$$\lambda_z = \frac{s_k}{i_z} = \frac{27.94}{0.23} = 119.5$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{235}} = 93.91$$

$$\lambda = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{119.5}{93.91} = 1.27$$

$$\Phi = 0.5 \left[1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2 \right] = 0.5 \left[1 + 0.49(1.27 - 0.2) + 1.27^2 \right] = 1.57$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{1.57 + \sqrt{1.57^2 - 1.27^2}} = 0.40, \quad \chi \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

$$N_{b,Rd} = \chi N_{Rd,1,A} = 0.4 \times 3381 = 1352.4 \text{ kN} > N_{Ed,1,A} \quad \text{uygun}$$

Sehim kontrolü:

$$q = 2.5 \times 1 + 0.311 + 2.5 \times 0.25 = 3.436 \text{ kN/m}$$

$$I_{A-A} = 6856.64 \text{ cm}^4$$

$$I_{B-B} = 7408.57 \text{ cm}^4$$

$$I_{ORT.} = 7132.6 \text{ cm}^4$$

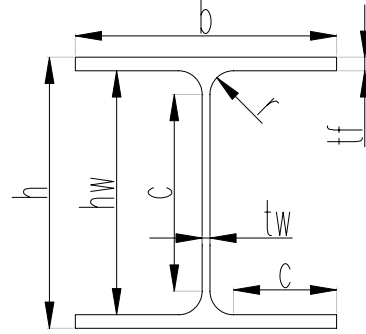
$$\zeta = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{384} \times \frac{3.436 \times 1000^4}{2100000 \times 7132.6} = 2.99 \text{ cm} < \frac{L}{300} = \frac{1000}{300} = 3.33 \text{ cm}$$

4.1.2 Dolu kesit kiriş hesabı:

Seçilen profil: HEA 240

Kesit özellikleri:

$b =$	240 mm	$A =$	76.8 cm ²
$h =$	230 mm	$I_y =$	7763 cm ⁴
$t_f =$	12.0 mm	$W_{y,el} =$	675.1 cm ³
$t_w =$	7.5 mm	$W_{y,pl} =$	744.6 cm ³
$r =$	21 mm		



Malzeme özellikleri:

S275 Çelikten Sıcak Hadde geniş başlıklı H profil

$$f_y = 275 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{275}{235}} = 0.92$$

Aşık yükü:

$$q = 1.35 \times (g_{aşık} + a \times (g_{kaplama} + g_{tesisat})) + 1.5 \times a \times q_{kar}$$

$$a = 2.5 \text{ m (aşık aralığı)}$$

$$q = 1.35 \times (0.603 + 2.5 \times 0.10) + 1.5 \times 2.5 \times 1 = 4.90 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = \frac{qL^2}{8} = \frac{4.9 \times 10^2}{8} = 61.25 \text{ kNm}$$

$$V_{mesnet} = \frac{qL}{2} = \frac{4.2 \times 10}{2} = 24.5 \text{ kN}$$

Eleman sehim kontrolü:

$$q = 2.5 \times 1 + 0.603 + 2.5 \times 0.25 = 3.728 \text{ kN/m}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{384} \times \frac{3.73 \times 1000^4}{2100000 \times 7763} = 2.98 \text{ cm} \leq \frac{1000}{300} = 3.33 \text{ cm}$$

uygun

Kesit sınıflandırması:

Basınç etkisindeki elemanlar için;

Başlık Sınıfı;

$$c = \frac{b - t_w}{2} - r = \frac{240 - 7.5}{2} - 21 = 95.25 \text{ mm}$$

$$c/t_f = \frac{95.25}{12} = 7.94$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer ; $9 \varepsilon = 8.28$

$7.94 < 8.28$ Kesit Sınıfı 1

Gövde Sınıfı;

$$c = h - 2t_f - 2r = 230 - 2 \times 12 - 2 \times 21 = 164 \text{ mm}$$

$$c/t_w = \frac{164}{7.5} = 21.87$$

Gövde Sınıfı-1 için sınır değer ; $72 \varepsilon = 66.24$

$21.87 < 66.24$ Kesit Sınıfı 1

Bütün kesit için kesit, Sınıf-1 olarak alınır.

Kesit hesapları:**Kesitin basınç kapasitesi:**

Kesit sınıfı 1, 2 ve 3 kesitler için;

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7680 \times 275}{1.10} = 1921000 \text{ N} = 1921 \text{ kN} > N_{ED} \text{ kesit yeterlidir.}$$

Kesitin moment kapasitesi:

Kesit sınıfı 1 veya 2 olan kesitler için;

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{744600 \times 275}{1.10} = 186.2 \times 10^6 \text{ Nmm} = 1862 \text{ kNm} > M_{ED}$$

Kesitin kesme kuvveti kapasitesi:

Kesitin plastik kesme kuvveti kapasitesi;

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

Hadde H profiller için kesme alanı;

$$h_w = h - 2t_f = 230 - 2 \times 12 = 206 \text{ mm}$$

$$A_v = 7680 - 2 \times 240 \times 12.0 + (7.5 + 2 \times 21) \times 12.0 = 2514 \text{ mm}^2$$

$\eta = 1.0$ alınırsa,

$$\eta h_w t_w = 1.0 \times 206 \times 7.5 = 1854 \text{ mm}^2$$

2514 > 1854 koşul sağlanıyor A_v değeri kullanılacaktır.

$$V_{pl,Rd} = \frac{2514 \times \left(\frac{275}{\sqrt{3}} \right)}{1.10} = 362865 \text{ N} = 363 \text{ kN}$$

Gövde berkitmesi kullanılmayan elemanlarda kesme burkulması kontrolü:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad \eta = 1.0$$

$$72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \times \frac{1}{1.0} = 72$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{206}{7.5} = 27.47$$

27.47 < 72 koşul sağlanıyor. Gövde berkitmesine gerek yok.

Moment ve kesme kuvveti etkileşiminin incelenmesi:

$$0.5V_{pl,Rd} = 0.5 \times 363 = 181.5 \text{ kN} > V_{ED} \text{ koşul sağlanıyor.}$$

Moment etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

$$C_1 = 1.132$$

$$I_w = 328.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^6$$

$$I_T = 41.55 \text{ cm}^4$$

$$G = 81000 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{cr,z} = 1.132 \frac{\pi^2 \times 21000 \times 2769}{1000^2} \left(\frac{328.5 \times 10^{-3}}{2769} + \frac{1000^2 \times 8100 \times 41.55}{\pi^2 \times 21000 \times 2769} \right)^{0.5}$$

$$= 15732 \text{ kNcm} = 157 \text{ kNm}$$

H kesitler için y-y ekseninde etrafında burkulma için “b”, z-z ekseninde etrafında burkulma için “c” burkulma eğrisi dikkate alınır. z-z ekseninde etrafındaki burkulma etkisi incelendiğinden $\alpha_{LT} = 0.49$ alınmalıdır. Buna göre;

$$W_y = W_{pl,y} \text{ (Sınıf 1 ve 2 kesitler için)}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{744600 \times 275}{157.3 \times 10^6}} = 1.14$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + 0.49(1.14 - 0.2) + 1.14^2 \right] = 1.38$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1.38 + \sqrt{1.38^2 - 1.14^2}} = 0.46 < 1,0 \text{ uygundur.}$$

Sonuç olarak,

$$M_{b,Rd} = 0.46 \times 1862 = 863 \text{ kNm} > M_{ED}$$

4.1.3 Uzay kafes kiriş hesabı:

Kesit özellikleri:

Alt Başlık: Boru 60/3 Üst Başlık: Boru 42/3

$$d = 60.3 \text{ mm}$$

$$d = 42.1 \text{ mm}$$

$$t = 3.00 \text{ mm}$$

$$t = 3.00 \text{ mm}$$

$$A = 5.37 \text{ cm}^2$$

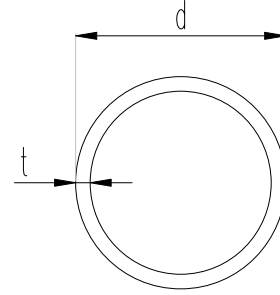
$$A = 3.68 \text{ cm}^2$$

$$I = 21.9 \text{ cm}^4$$

$$I = 7.03 \text{ cm}^4$$

$$W = 7.29 \text{ cm}^3$$

$$W = 3.35 \text{ cm}^3$$



Dikme ve Diyagonaller: Boru 33/3

$$d = 33.3 \text{ mm}$$

$$t = 3.00 \text{ mm}$$

$$A = 2.83 \text{ cm}^2$$

$$I = 3.21 \text{ cm}^4$$

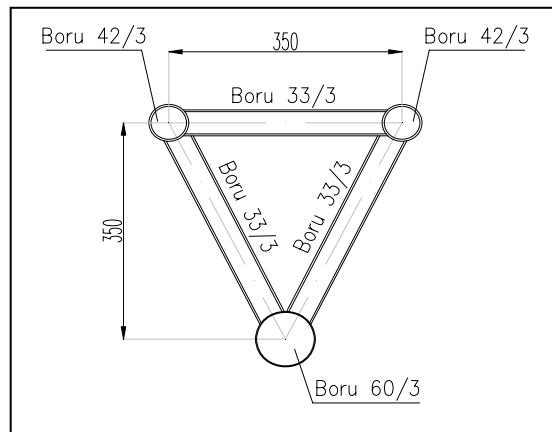
$$W = 1.95 \text{ cm}^3$$

Malzeme özellikleri:

S235 Çelikten Sıcak Hadde boru profil

$$f_y = 235 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1.00$$



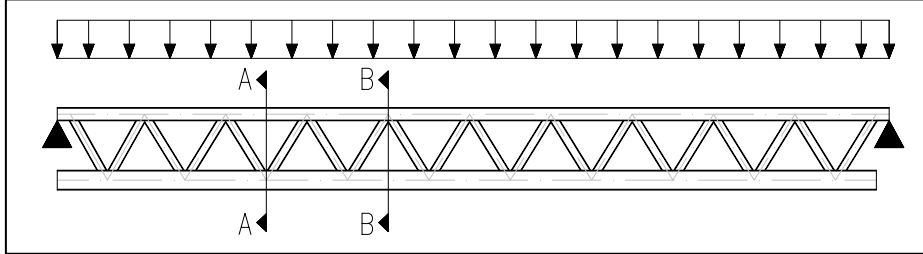
Şekil 4.4: Uzay Kafes Aşık Kesiti (mm)

Aşık yükleri:

$$q = 1.35 \times (g_{aşık} + a \times (g_{kaplama} + g_{tesisat})) + 1.5 \times a \times q_{kar}$$

$a = 2.5$ m (aşık aralığı)

$$q = 1.35 \times (0.181 + 2.5 \times 0.25) + 1.5 \times 2.5 \times 1 = 4.84 \text{ kN/m}$$



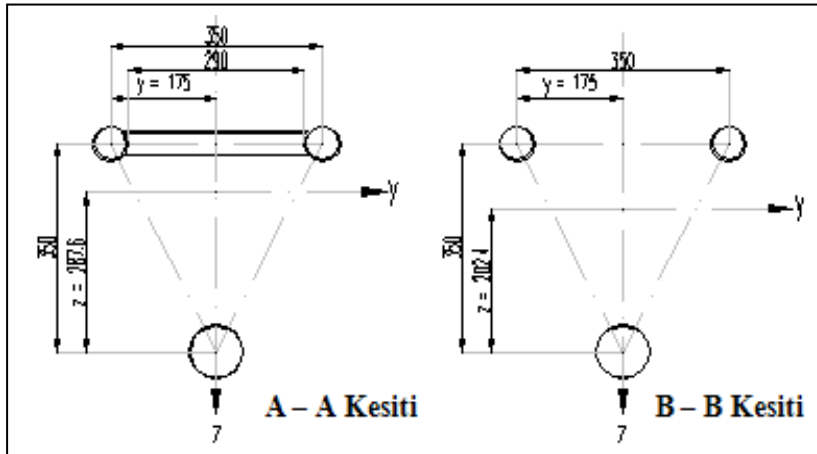
Şekil 4.5: Uzay Kafes Aşık Kesiti

Eleman sehim kontrolü:

Sehim için yük değerlerinin artırılmamış etkileri dikkate alınmalıdır. Buna göre;

$$q = 2.5 \times 1 + 0.22 + 2.5 \times 0.25 = 3.35 \text{ kN/m}$$

Sehim hesabı yapabilmek için, kesit atalet momenti hesaplanmalıdır. Kirişin, A-A ve B-B kesitlerine göre ağırlık merkezleri bulunup, iki ayrı kesit için atalet momentlerini hesaplanacak. Elde edilen atalet momentleri ortalaması, kesit atalet momenti olarak sehim hesaplarında kullanılacaktır.



Şekil 4.6: Uzay Kafes Aşık Kesiti (mm)

$$\bar{z}_{A-A} = \frac{(2 \times 3.68)35 + (2 \times 29 \times 0.3)35}{(2 \times 3.68 + 2 \times 29 \times 0.3 + 5.37)} = 28.76 \text{ cm}$$

$$\bar{z}_{B-B} = \frac{(2 \times 3.68)35}{(2 \times 3.68 + 5.37)} = 20.24 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = 17.5 \text{ cm}$$

Buna göre ;

Kuvvetli eksen için;

$$I_{A-A} = 2 \times 7.03 + 21.9 + 2 \times \frac{29 \times 0.3^3}{12} + 2 \times 3.68 \times 6.24^2 + 5.37 \times 28.76^2 \\ + 2 \times 29 \times 0.3(7.74^2 + 4.74^2) = 6198$$

$$I_{B-B} = 2 \times 7.03 + 21.9 + 2 \times 3.68 \times 20.24^2 + 5.37 \times 14.76^2 = 4221$$

$$I_{ortalama} = \frac{6198 + 4221}{2} = 5210 \text{ cm}^4$$

Açıklık ortasında sehim kontrolü:

$$f = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{384} \times \frac{3.345 \times 820^4}{2100000 \times 5210} = 1.80 \text{ cm} \leq \frac{820}{300} = 2.73 \text{ cm}, \quad \text{uygun}$$

Kesit sınıflandırması:

Aşık, eğilme etkisinde bir eleman olduğundan üst başlık basınç etkisindedir.

Üst Başlık Sınıfı;

$$d/t = \frac{42.1}{3.00} = 14.03$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer ; $33 \varepsilon = 33$

$14.03 < 33$ Kesit Sınıfı 1

Alt Başlık Sınıfı;

$$d/t = \frac{60.3}{3.00} = 20.1$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer ; $33 \varepsilon = 33$

$20.1 < 33$ Kesit Sınıfı 1

Dikme ve diyagonal sınıfı;

$$d/t = \frac{33.3}{3.00} = 11.1$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer ; $33 \varepsilon = 33$

$11.1 < 33$ Kesit Sınıfı 1

Kesit hesapları:

Üst başlık için;

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{368 \times 235}{1.10} = 78618 \text{ N} = 78.6 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 42 \text{ kN}$ (basınç kuvveti) üst başlık kesiti yeterlidir.

Alt başlık için;

$$N_{t,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{537 \times 235}{1.10} = 114723 \text{ N} = 114 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 99 \text{ kN}$ (çekme kuvveti) kesit yeterlidir.

Diyagoneller için;

$$N_{t,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{283 \times 235}{1.10} = 60459 \text{ N} = 60.5 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 10 \text{ kN}$ (çekme ve basınç kuvveti) kesit yeterlidir.

Düğüm noktası dayanımının hesabı:

➤ **Alt başlık:**

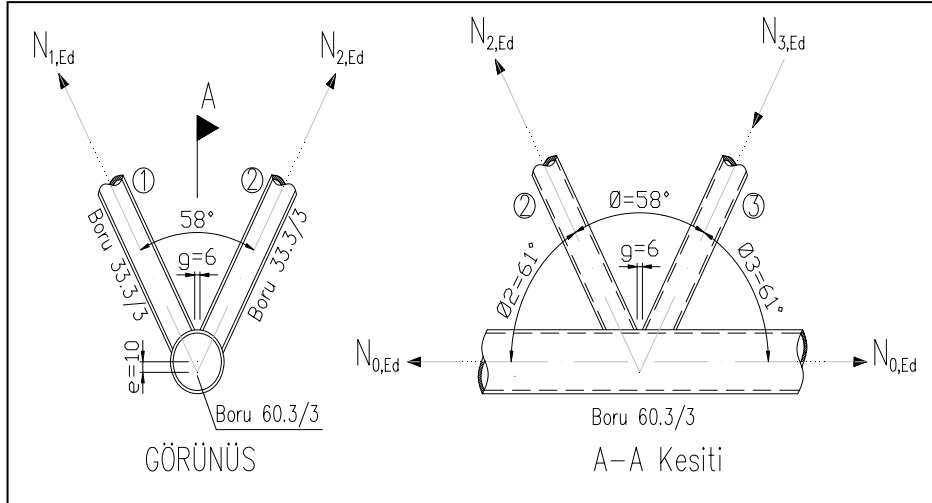
$$1- \frac{d_1}{d_0} = \frac{33.3}{60.3} = 0.552 \Rightarrow 0.2 \leq 0.552 \leq 1.0$$

$$2- \text{ Sınıf 1 başlık elemanları için; } \frac{d_0}{t_0} = \frac{60.3}{3.00} = 20.1 \Rightarrow 10 \leq 20.1 \leq 50$$

$$3- \text{ Sınıf 1 diyagonal elemanlar için; } \frac{d_i}{t_i} = \frac{33.3}{3} = 11.1 \Rightarrow 10 \leq 11.1 \leq 50$$

$$4- t_1 + t_2 = 3 + 3 = 6 \Rightarrow g = 6 \geq 6$$

uygun



Şekil 4.7: Uzay Kafes Aşık Alt Başlık Düğüm Noktası

$$5- \frac{e}{d_0} = \frac{6}{60.3} = 0.1 \Rightarrow -0.55 \leq 0.1 \leq 0.25$$

uygun

$$6- \theta_2 = \theta_3 = 61^\circ$$

Alt başlık plastikleşmesinin incelenmesi:

Aşık, çok düzlemli olarak modellendiği için, her düzlem için ayrı ayrı inceleme yapmak gerekmektedir. K tipi birleşimler için verilen formülasyon kullanılacaktır.

Uzay kafes düğüm noktaları 2 düzlemli olduğundan, her düzlem için inceleme yapılmalıdır.

A-A kesiti;

3 numaralı eleman için;

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} = \frac{60.3}{2 \times 3.00} = 10.05$$

$$k_g = 10.05^{0.2} \left[1 + \frac{0.024 \times 10.05^{1.2}}{1 + \exp(0.5 \times \frac{6}{3.00} - 1.33)} \right] = 1.94$$

$$k_p = 1 - 0.3n_p(1 + n_p) \leq 1.0, \quad n_p = \frac{N_{Ed}}{A_0 f_{y_0}} = \frac{10000}{537 \times 235} = 0.08$$

$$k_p = 1 - 0.3 \times 0.08 \times (1 + 0.08) = 0.97 \leq 1.0$$

uygun

$$N_{3,Rd} = \frac{1.94 \times 0.97 \times 235 \times 3.00^2}{\sin 61} \left[1.8 + 10.2 \times \frac{33.3}{60.3} \right] / 1.00 = 33969 \text{ N} = 34 \text{ kN}$$

$\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle küçültülmelidir.

$$N_{3,Rd} = 0.9 \times 33969 = 30572 \text{ N} = 31 \text{ kN} > 10 \text{ kN}$$

uygun

Çekme kuvveti aktaran 2 numaralı eleman için;

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin 61}{\sin 61} \times 30572 / 1.00 = 30572 \text{ N} = 31 \text{ kN}$$

$\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle küçültülmelidir.

$$N_{2,Rd} = 0.9 \times 30572 = 27515 \text{ N} = 28 \text{ kN} > 10 \text{ kN}$$

Zımbalama kesme plastikleşmesi:

3 numaralı eleman için;

$$33.3 \leq 60.3 - 2 \times 3 = 54.3 \text{ mm}$$

$$N_{2,Rd} = N_{3,Rd} = \frac{235}{\sqrt{3}} \times 3.00 \times \pi \times 33.3 \times \frac{1 + \sin 61}{2 \sin^2 61} / 1.00 = 52176 \text{ N} = 52.2 \text{ kN} > 10 \text{ kN}$$

Aşığın diğer düzlemi de incelenecektir.

1 ve 2 numaralı elemanlar için;

$$\gamma = 10.05$$

$$k_g = 1.94$$

$$k_p = 0.97$$

Elde edilen değerleri formülde yerlerine koyarsak;

$$N_{1,Rd} = \frac{1.94 \times 1 \times 235 \times 3.00^2}{\sin 58} \left[1.8 + 10.2 \times \frac{33.3}{60.3} \right] / 1.00 = 35033 \text{ N} = 35 \text{ kN}$$

$\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle küçültülmelidir.

$$N_{1,Rd} = 0.9 \times 35033 = 31530 \text{ N} = 31.5 \text{ kN}$$

Çekme kuvveti aktaran 1 ve 2 numaralı elemanlar için;

$$N_{Rd} = \frac{\sin 61}{\sin 61} \times 31530 / 1.00 = 31530 \text{ N} = 32 \text{ kN}$$

$\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle küçültülmelidir.

$$N_{2,Rd} = 0.9 \times 31530 = 28377 \text{ N} = 28 \text{ kN} > 10 \text{ kN}$$

➤ **Üst başlık:**

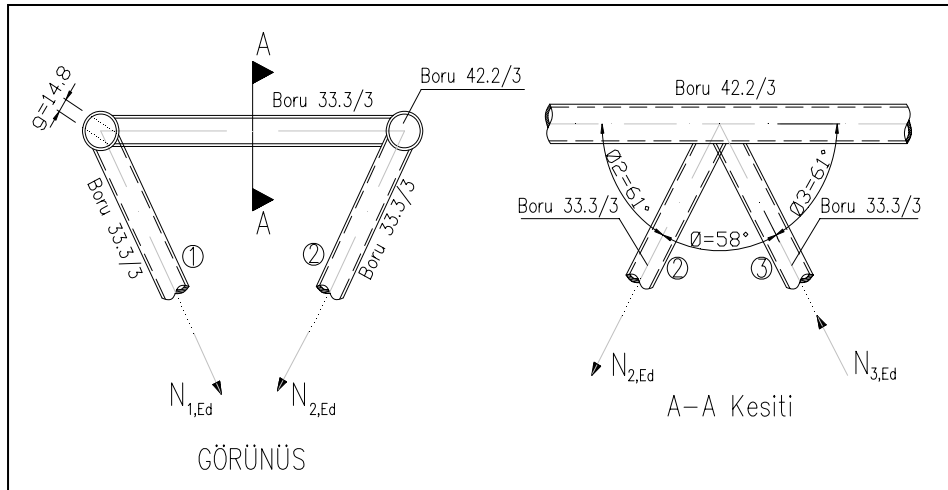
$$1- \frac{d_1}{d_0} = \frac{33.3}{42.1} = 0.79 \Rightarrow 0.2 \leq 0.79 \leq 1.0$$

$$2- \text{ Sınıf 1 başlık elemanları için; } \frac{d_0}{t_0} = \frac{42.1}{3.00} = 14 \Rightarrow 10 \leq 14 \leq 50$$

$$3- \text{ Sınıf 1 diyagonal elemanlar için; } \frac{d_i}{t_i} = \frac{33.3}{3} = 11.10 \Rightarrow 10 \leq 11.10 \leq 50$$

$$4- \lambda_{ov} = \frac{q}{p} \times 100 = \frac{14.8}{33.3} \times 100 = \%44.4, \%25 \leq \%44.4 \leq \%100$$

$$5- \theta_1 = \theta_2 = 61^\circ$$



Şekil 4.8: Üst başlık düğüm noktası detayı

Başlık plastikleşmesinin incelenmesi:

3 numaralı elemanı incelersek,

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} = \frac{42.2}{2 \times 3.00} = 7.03$$

$$k_g = 7.03^{0.2} \left[1 + \frac{0.024 \times 7.03^{1.2}}{1 + \exp(0.5 \times \frac{(-14.8)}{3.00} - 1.33)} \right] = 1.84$$

$$k_p = 1 - 0.3n_p(1 + n_p) \leq 1.0, \quad n_p = \frac{N_{Ed}}{Af_{y_0}} = \frac{10000}{367.6 \times 235} = 0.12$$

$$k_p = 1 - 0.3 \times 0.12 \times (1 + 0.12) = 0.96 \leq 1.0$$

Elde edilen değerleri formülde yerlerine koyarsak;

$$N_{3,Rd} = \frac{1.84 \times 0.96 \times 235 \times 3.00^2}{\sin 61} \left[1.8 + 10.2 \times \frac{33.3}{42.2} \right] / 1.00 = 42065 \text{ N} = 42 \text{ kN}$$

$\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle küçültülmelidir.

$$N_{3,Rd} = 0.9 \times 42065 = 37858 \text{ N} = 38 \text{ kN} > 10 \text{ kN}$$

Çekme kuvveti etkisindeki 2 numaralı eleman için;

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin 61}{\sin 61} \times 37858 / 1.00 = 37858 \text{ N} = 38 \text{ kN}$$

$\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle küçültülmelidir.

$$N_{2,Rd} = 0.9 \times 37858 = 34072 \text{ N} = 34 \text{ kN} > 10 \text{ kN}$$

Zımbalama kesme plastikleşmesi:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y_0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M_5} \text{ formülü } d_i \leq d_0 - 2t_0 \text{ olması durumunda kullanılır.}$$

3 numaralı eleman için;

$$33.3 \leq 42.2 - 2 \times 3.00 = 36.2 \text{ mm}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{235}{\sqrt{3}} \times 3.00 \times \pi \times 33.3 \times \frac{1 + \sin 61}{2 \sin^2 61} / 1.00 = 52176 \text{ N} = 52.2 \text{ kN} > 10 \text{ kN}$$

Üst – alt başlık ile örgü elemanların birleşim detayı:

Birleşimler köşe kaynak ile yapılacaktır.

$$\text{S235 kalitesi için } \frac{a}{t} \geq 0.84\alpha$$

$$\text{Burada; } \alpha = \frac{1.1}{\gamma_{M_j}} \times \frac{\gamma_{M_w}}{1.25} = \frac{1.1}{1.1} \times \frac{1.35}{1.25} = 1.08 \text{ formülü ile elde edilir.}$$

$$0.84\alpha = 0.84 \times 1.08 = 0.91$$

$a \geq 0.91 \times 3 = 2.73 \text{ mm}$ $a = 3 \text{ mm}$ alınacaktır.

$$\frac{3}{3} = 1 \geq 0.91$$

uygun

$l_w = \pi r = \pi \times 33.3 = 105 \text{ mm}$ (örgü elemanları ile alt ve üst başlık birleşimlerinde oval bir ağız oluşmaktadır. Hesapta kaynak uzunluğu, daha büyük olan oval ağız çevresi yerine boru çevre ölçüsü olarak alınacaktır.

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M_2}} a l_w = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} \times 3 \times 105 = 65470 \text{ N} = 66 \text{ kN} > N_{Ed} = 10 \text{ kN}$$

4.2 Aşık Tipinin Seçimi

Aşağıdaki hesaplanan aşık tiplerinin birim ve toplam ağırlıkları verilmiştir. En ağır aşık tipi, beklendiği dolu kesit hadde profil olmuştur. Dolayısıyla aşık profili olarak tercih edilmemiştir. Montaj ve imalat koşulları göz önüne alınarak, Model -1 için uzay kafes kiriş aşık tipi, Model-2 için ise petek kiriş aşık tipi tercih edilmiştir.

Çizelge 4.1: Aşık Tiplerinin Ağırlık Karşılaştırması

Aşık Tipi	Aşık Boyu (m)	Birim Ağırlık (kN/m)	Toplam Ağırlık (kN)
Petek kiriş	10,00	0,31	3,1
Hadde Profil	10,00	0,60	6.0
Uzay Kafes	8,20	0,22	1,8

5. KESİT HESAPLARI

5.1 Model - 1

5.1.1 Ana taşıyıcı kafes kiriş hesabı

5.1.1.1 Kesit özellikleri:

Alt Başlık: Boru 273/6

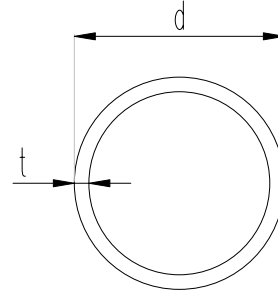
$$d = 273 \text{ mm}$$

$$t = 6.00 \text{ mm}$$

$$A = 50.33 \text{ cm}^2$$

$$I = 4487 \text{ cm}^4$$

$$W = 329 \text{ cm}^3$$



Dikme ve Diyagonaller: Boru 88.9/3.25

$$d = 88.9 \text{ mm}$$

$$t = 3.20 \text{ mm}$$

$$A = 8.62 \text{ cm}^2$$

$$I = 79.2 \text{ cm}^4$$

$$W = 17.82 \text{ cm}^3$$

Üst Başlık: Boru 193.7/6

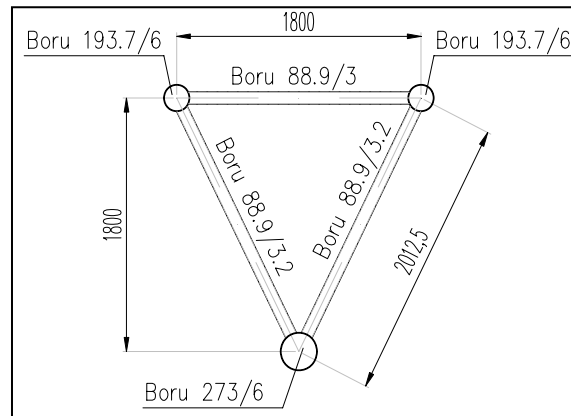
$$d = 193.7 \text{ mm}$$

$$t = 6.00 \text{ mm}$$

$$A = 35.38 \text{ cm}^2$$

$$I = 1560 \text{ cm}^4$$

$$W = 161 \text{ cm}^3$$



Şekil 5.1: Kafes kiriş kesiti (mm)

Malzeme özellikleri:

S235 çelikten sıcak hadde boru profil kullanılmıştır.

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1.00$$

Kesit sınıflandırması:

Kiriş, uzay kafes sistem olduğundan elemanlarda sadece eksenel basınç ve çekme kuvvetleri oluşur.

Üst Başlık Sınıfı;

$$d/t = \frac{193.7}{6} = 32.3$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer; $50\varepsilon = 50$

$32.3 < 50$ Kesit Sınıfı 1

Alt Başlık Sınıfı;

$$d/t = \frac{273}{6} = 45.5$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer; $50\varepsilon = 50$

$45.5 < 50$ Kesit Sınıfı 1

Dikme ve Diyagonal Sınıfı;

$$d/t = \frac{88.9}{3.2} = 27.8$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer; $50\varepsilon = 50$

$27.8 < 50$ Kesit Sınıfı 1

DBYBHY' e göre en-kesit koşullarının incelenmesi:

Süneklik düzeyi normal sistemler için;

$$0.08 \frac{E_s}{\sigma_a} = 0.08 \times \frac{2100000}{2400} = 70$$

Üst başlık;

$$\frac{D}{t} = \frac{193.7}{6} = 32.3 \leq 70$$

uygun

Alt başlık;

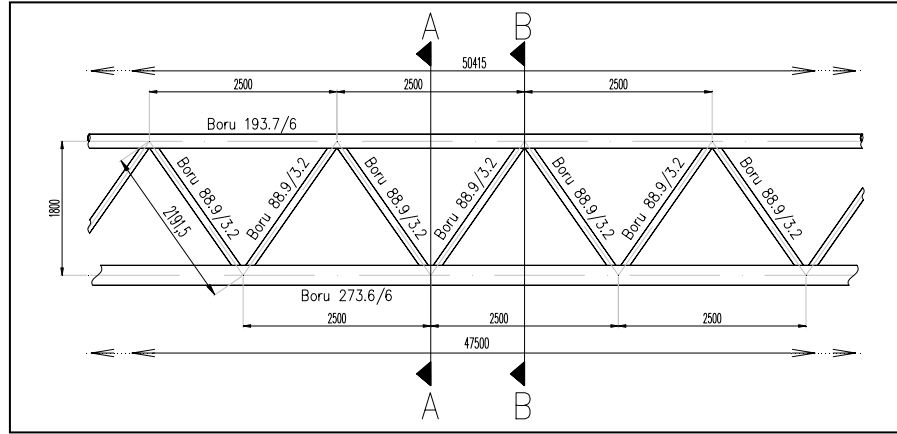
$$\frac{D}{t} = \frac{273}{6} = 45.5 \leq 70$$

uygun

Diyagonal;

$$\frac{D}{t} = \frac{88.9}{3.20} = 27.8 \leq 70$$

uygun



Şekil 5.2: Kafes kiriş görünüşü (mm)

5.1.1.2 Kesit hesapları:

Kesitlerin basınç ve çekme kuvveti kapasitesi:

Üst başlık;

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3538 \times 235}{1.10} = 755846 \text{ N} = 756 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 620 \text{ kN}$ ($1.35G + 1.35Q_{kar} + 1.35Q_{rüzgar-X}$ kombinasyonu –basınç kuvveti) üst başlık kesiti yeterlidir.

Alt başlık;

$$N_{c,Rd} = \frac{5033 \times 235}{1.10} = 1075232 = 1075 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 1045 \text{ kN}$ ($1.35G + 1.5Q_{kar}$ kombinasyonu – çekme kuvveti) alt başlık kesiti yeterlidir.

Diyagonal ve dikmeler;

$$N_{c,Rd} = \frac{862 \times 235}{1.10} = 184155 = 184 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 160 \text{ kN}$ ($1.35G + 1.5Q_{kar}$ kombinasyonu – basınç kuvveti) dikme ve diyagonal kesiti yeterlidir.

Basınç etkisinde burkulma kapasitelerinin incelenmesi:

Alt başlık:

Kafes elemanlar, her iki yönde de 2 uçtan mafsallı olarak kabul edildiğinden düğüm noktaları arası mesafe burkulma boyu olarak alınacaktır. Buna göre alt başlık için;

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 250 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 4487}{250^2} = 14880 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{5033 \times 235}{14.9 \times 10^6}} = 0.28 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{100}{14880} = 0.007 < 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ koşulu sağlanmadığından, azaltılmış burkulma kapasitesi hesaplanmalıdır.

Elemanlar boru kesit olduğundan y-y ve z-z eksenleri etrafında burkulma için “a” burkulma eğrisi dikkate alınır.

$$\alpha = 0.21 \text{ (“ a ” burkulma eğrisi için)}$$

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.28 - 0.2) + 0.28^2] = 0.55$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.55 + \sqrt{0.55^2 - 0.28^2}} = 0.98$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.98 \times 1075 = 1055 \text{ kN} > N_{ED} = 1045 \text{ kN}$$

uygun

Üst başlık:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 250 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 1560}{250^2} = 5173 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{3538 \times 235}{5173 \times 10^6}} = 0.40 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{620}{5173} = 0.12 > 0.04$$

$\lambda < 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr}} < 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma

kapasitesinin hesaplanmalıdır.

$$\alpha = 0.21 \text{ (“ a ” burkulma eğrisi için)}$$

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.40 - 0.2) + 0.40^2] = 0.60$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.60 + \sqrt{0.60^2 - 0.40^2}} = 0.95$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.95 \times 756 = 720 \text{ kN} > N_{ED} = 620 \text{ kN}$$

uygun

Örgü elemanları:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 237 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 862}{237^2} = 2923 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{862 \times 235}{2923000}} = 0.26 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{160}{2923} = 0.06 > 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr}} < 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma kapasitesi

hesaplanmalıdır.

$\alpha = 0.21$ (“ a ” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.26 - 0.2) + 0.26^2] = 0.54$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.54 + \sqrt{0.54^2 - 0.26^2}} = 0.99$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.99 \times 184 = 182 \text{ kN} > N_{ED} = 160 \text{ kN}$$

uygun

DBYBHY madde 4.4.1.1’ e göre kesit kapasitesinin incelenmesi:

Alt başlık:

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{4487}{50.33}} = 9.44 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{250}{9.44} = 26.48$$

$\lambda_x > 20$ olduğundan kirişte burkulma hesabı yapılmalıdır.

$(\lambda_x; \lambda_y) \leq \lambda_p$ olduğundan;

$$20 < \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{26.48}{131.4} \right) - 0.2 \left(\frac{26.48}{131.4} \right)^3 = 1.74$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{46000} \left(\frac{26.48}{131.4} \right)^2 \right] \times 2400}{1.74} = 1379 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1.7 \times 1379 \times 50.33 = 118015 \text{ kg} = 1180 \text{ kN} > N_{ED} = 460 \text{ kN}$$

uygun

Üst başlık:

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{1560}{35.38}} = 6.64 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{250}{6.64} = 37.65$$

$\lambda_x > 20$ olduğundan kirişte burkulma hesabı yapılmalıdır.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{2400}} = 131.4$$

$(\lambda_x; \lambda_y) \leq \lambda_p$ olduğundan;

$$20 < \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - 0.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^3$$

$$n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{37.65}{131.4} \right) - 0.2 \left(\frac{37.65}{131.4} \right)^3 = 1.84$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{23000} \left(\frac{37.65}{131.4} \right)^2 \right] \times 2400}{1.84} = 1304 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1.7 \times 1304 \times 35.38 = 78451 \text{ kg} = 785 \text{ kN} > N_{ED} = 230 \text{ kN} \quad \textbf{uygun}$$

Diyagonal:

$$i_x = i_x = \sqrt{\frac{79.2}{8.62}} = 8.40 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{237}{8.40} = 28.21$$

$\lambda_x > 20$ olduğundan kirişte burkulma hesabı yapılmalıdır.

$(\lambda_x; \lambda_y) \leq \lambda_p$ olduğundan;

$$20 < \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{28.21}{131.4} \right) - 0.2 \left(\frac{28.21}{131.4} \right)^3 = 1.76$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{6000} \left(\frac{28.21}{131.4} \right)^2 \right] \times 2400}{1.76} = 1364 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1.7 \times 1364 \times 8.62 = 19983 \text{ kg} = 200 \text{ kN} > N_{ED} = 60 \text{ kN} \quad \textbf{uygun}$$

5.1.1.3 Düğüm noktası dayanımının incelenmesi:

Alt başlık;

➤ **A – A kesiti (Şekil 5.3):**

$$1- \frac{d_1}{d_0} = \frac{88.9}{273} = 0.33 \Rightarrow 0.2 \leq 0.33 \leq 1.0$$

$$2- \text{ Sınıf 1 başlık elemanları için; } \frac{d_0}{t_0} = \frac{273}{6} = 45.5 \Rightarrow 10 \leq 45.5 \leq 50$$

$$3- \text{ Sınıf 1 diyagonal elemanlar için; } \frac{d_i}{t_i} = \frac{88.9}{3.20} = 27.8 \Rightarrow 10 \leq 27.8 \leq 50$$

$$4- \theta_2 = \theta_3 = 53^\circ$$

$$5- \frac{e}{d_0} = \frac{-80}{273} = -0.29 \Rightarrow -0.55 \leq -0.29 \leq 0.25$$

$$6- \lambda_{ov} = \frac{q}{p} \times 100 = \frac{28}{110} \times 100 = \%25.5, \%25 \leq \%25.5 \leq \%100$$

Başlık plastikleşmesinin incelenmesi:

3 numaralı eleman için;

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} = \frac{273}{2 \times 6} = 22.75$$

$$k_g = 22.75^{0.2} \left[1 + \frac{0.024 \times 22.75^{1.2}}{1 + \exp(0.5 \times \frac{(-28)}{6} - 1.33)} \right] = 3.73$$

$$k_p = 1 - 0.3n_p(1 + n_p) \leq 1.0, n_p = \frac{N_{Ed}}{A_0 f_{y_0}} = \frac{160000}{5033 \times 235} = 0.14$$

$$k_p = 1 - 0.3 \times 0.14 \times (1 + 0.14) = 0.95 \leq 1.0$$

$$N_{3,Rd} = \frac{3.73 \times 0.95 \times 235 \times 6^2}{\sin 53} \left[1.8 + 10.2 \times \frac{88.9}{273} \right] / 1.00 = 192245 \text{ N} = 192 \text{ kN}$$

Kafes giriş çok düzlemlili olduğundan yönetmelik gereğince dayanım $\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle küçültülmelidir.

$$N_{3,Rd} = 0.9 \times 192245 = 173020 \text{ N} = 173 \text{ kN} > N_{Ed} = 160 \text{ kN} \quad \textbf{uygun}$$

Çekme kuvveti aktaran 1 ve 2 numaralı elemanlar için;

$$N_{1,Rd} = \frac{\sin 53}{\sin 53} \times 173020 / 1.00 = 173020 \text{ N} = 173 \text{ kN} > N_{Ed} = 145 \text{ kN} \quad \textbf{uygun}$$

Zımbalama kesme plastikleşmesi;

3 numaralı eleman için;

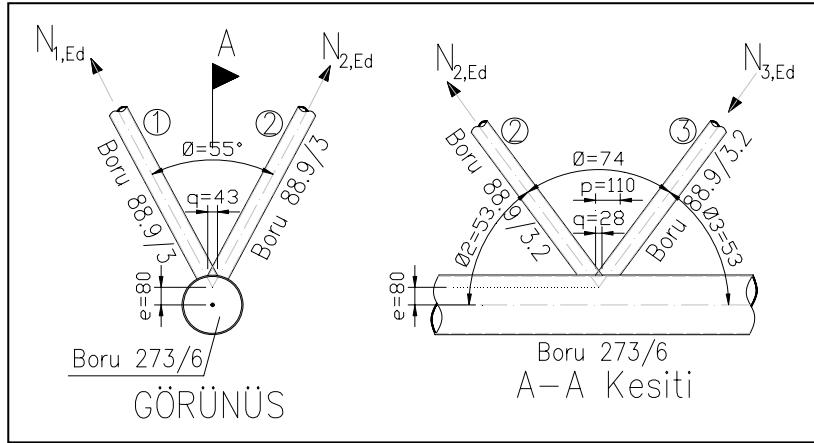
$$88.9 \leq 273 - 2 \times 6 = 261 \text{ mm}$$

$$N_{2,Rd} = N_{3,Rd} = \frac{235}{\sqrt{3}} \times 6 \times \pi \times 88.9 \times \frac{1 + \sin 53}{2 \sin^2 53} / 1.00 = 308191 \text{ N} = 308 \text{ kN}$$

$\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle;

$$N_{2,Rd} = 0.9 \times 308191 = 277372 \text{ N} = 277 \text{ kN} > N_{Ed} = 160 \text{ kN}$$

uygun



Şekil 5.3: Alt başlık düğüm noktası (mm)

➤ **Görünüş (Şekil 5.3);**

$$1- \frac{d_1}{d_0} = \frac{88.9}{273} = 0.33 \Rightarrow 0.2 \leq 0.33 \leq 1.0$$

$$2- \text{ Sınıf 1 başlık elemanları için; } \frac{d_0}{t_0} = \frac{273}{6} = 45.5 \Rightarrow 10 \leq 45.5 \leq 50$$

$$3- \text{ Sınıf 1 diyagonal elemanlar için; } \frac{d_i}{t_i} = \frac{88.9}{3.20} = 27.8 \Rightarrow 10 \leq 27.8 \leq 50$$

$$4- \theta_2 = \theta_3 = 55^\circ$$

$$5- \frac{e}{d_0} = \frac{-80}{273} = -0.29 \Rightarrow -0.55 \leq -0.29 \leq 0.25$$

$$6- \lambda_{ov} = \frac{q}{p} \times 100 = \frac{43}{94} \times 100 = \%45.75, \%25 \leq \%45.75 \leq \%100$$

1 ve 2 numaralı elemanlar için;

$$\gamma = 22.75, k_g = 3.73, k_p = 1.0$$

Elde edilen değerleri formülde yerlerine koyarsak;

$$N_{1,Rd} = \frac{3.73 \times 1 \times 235 \times 6^2}{\sin 55} \left[1.8 + 10.2 \times \frac{88.9}{273} \right] / 1.00 = 198134 \text{ N} = 198 \text{ kN}$$

$\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle;

$$N_{1,Rd} = 0.9 \times 198134 = 178321 \text{ N} = 178 \text{ kN} > N_{Ed} = 160 \text{ kN}$$

uygun

Üst başlık:

➤ **A – A kesiti;**

$$1- \frac{d_1}{d_0} = \frac{88.9}{193.7} = 0.46 \Rightarrow 0.2 \leq 0.46 \leq 1.0$$

2- Sınıf 1 başlık elemanları için; $\frac{d_0}{t_0} = \frac{193.7}{6} = 32.28 \Rightarrow 10 \leq 32.28 \leq 50$

3- Sınıf 1 diyagonal elemanlar için; $\frac{d_i}{t_i} = \frac{88.9}{3.20} = 27.78 \Rightarrow 10 \leq 27.78 \leq 50$

4- $t_1 + t_2 = 3.6 + 3.6 = 7.2 \Rightarrow g = 143 \geq 7.2$

5- $\theta_2 = \theta_3 = 53^\circ$

6- $\frac{e}{d_0} = \frac{-60}{193.7} = -0.31 \Rightarrow -0.55 \leq -0.31 \leq 0.25$

7- $\lambda_{ov} = \frac{q}{p} \times 100 = \frac{55.5}{111} \times 100 = \%50$, $\%25 \leq \%50 \leq \%100$

Başlık plastikleşmesinin incelenmesi:

Basınca çalışan 3 numaralı diyagonal elemanı için;

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} = \frac{193.7}{2 \times 6} = 16.14$$

$$k_g = 16.14^{0.2} \left[1 + \frac{0.024 \times 16.14^{1.2}}{1 + \exp(0.5 \times \frac{(-55,5)}{6} - 1.33)} \right] = 2.92$$

$$k_p = 1 - 0.3n_p(1 + n_p) \leq 1.0, \quad n_p = \frac{N_{Ed}}{Af_{y0}} = \frac{160000}{3538 \times 235} = 0.19$$

$$k_p = 1 - 0.3 \times 0.19 \times (1 + 0.19) = 0.93 \leq 1.0$$

$$N_{3,Rd} = \frac{2.92 \times 0.93 \times 235 \times 6^2}{\sin 53} \left[1.8 + 10.2 \times \frac{88.9}{193.7} \right] / 1.00 = 186656 \text{ N} = 187 \text{ kN}$$

$\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle küçültülmelidir.

$$N_{3,Rd} = 0.9 \times 186656 = 167991 \text{ N} = 168 \text{ kN} > N_{Ed} = 160 \text{ kN}$$

uygun

Çekme kuvveti aktaran 1 ve 2 numaralı elemanlar için;

$$N_{1,Rd} = \frac{\sin 53}{\sin 53} \times 167991 / 1.00 = 167991 \text{ N} = 168 \text{ kN} > N_{Ed} = 145 \text{ kN}$$

uygun

Zımbalama kesme plastikleşmesi;

3 numaralı eleman için;

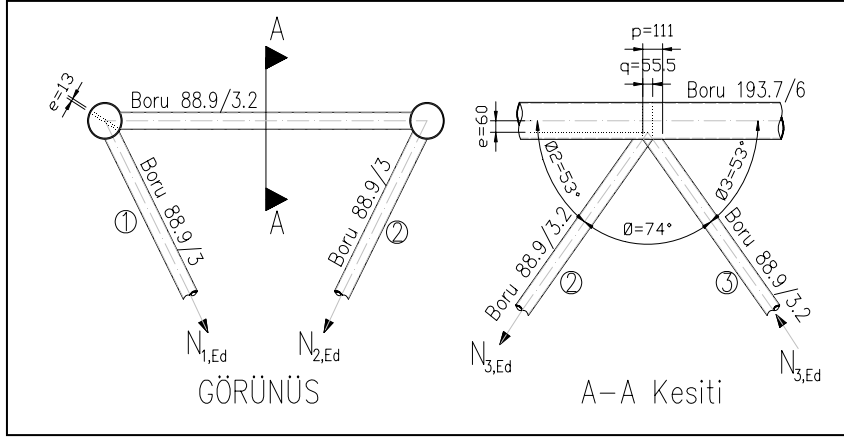
$$88.9 \leq 193.7 - 2 \times 6 = 181.7 \text{ mm}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{235}{\sqrt{3}} \times 6 \times \pi \times 88.9 \times \frac{1 + \sin 53}{2 \sin^2 53} / 1.00 = 320572 \text{ N} = 321 \text{ kN}$$

$\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle;

$$N_{3,Rd} = 0.9 \times 320572 = 288515 \text{ N} = 288.5 \text{ kN} > N_{Ed} = 160 \text{ kN}$$

uygun



Şekil 5.4: Üst başlık düğüm noktası (mm)

5.1.1.4 Örgü elemanlarının başlıklar ile birleşim hesabı:

Birleşimler köşe kaynak ile yapılacaktır.

S235 kalitesi için $\frac{a}{t} \geq 0.84\alpha$

Burada; $\alpha = \frac{1.1}{\gamma_{M_j}} \times \frac{\gamma_{M_w}}{1.25} = \frac{1.1}{1.1} \times \frac{1.35}{1.25} = 1.08$ formülü ile elde edilir.

$$0.84\alpha = 0.84 \times 1.08 = 0.91$$

$$a \geq 0.91 \times 3.2 = 2.9 \text{ mm} \quad a = 3.0 \text{ mm alınacaktır. Buna göre;}$$

$$l_w = \pi r = \pi \times 88.9 = 279.3 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M_2}} a l_w = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} \times 3.0 \times 279.3 = 174154 \text{ N} = 174 \text{ kN} > N_{Ed}$$

5.1.2 Kafes kolon kesit hesabı

5.1.2.1 Kesit özellikleri:

Başlık: Boru 244.5/6.3

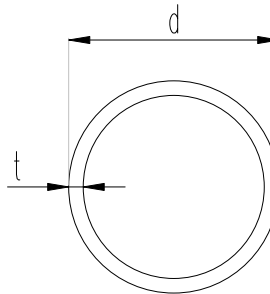
$$d = 244.5 \text{ mm}$$

$$t = 6.30 \text{ mm}$$

$$A = 47.15 \text{ cm}^2$$

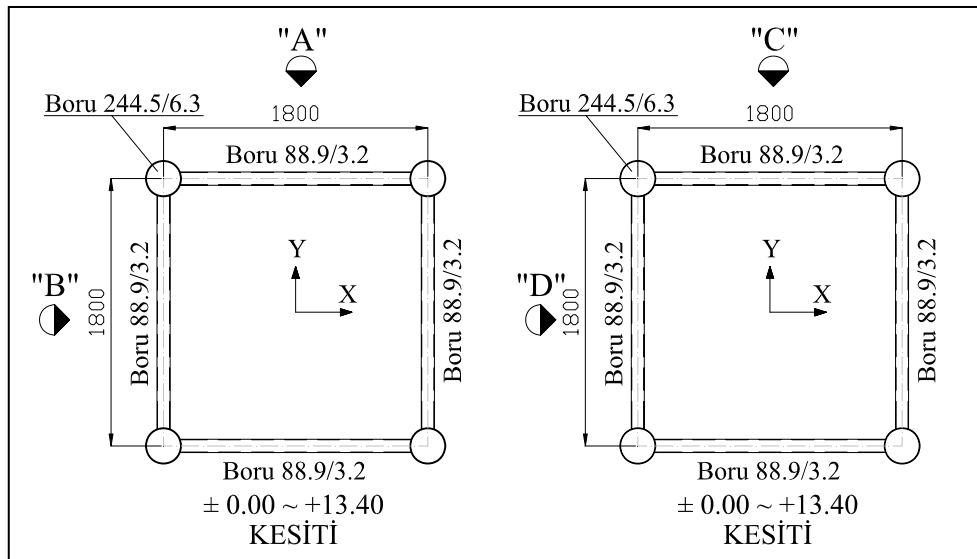
$$I = 3346 \text{ cm}^4$$

$$W = 274 \text{ cm}^3$$



Dikme ve diyagonaller:

Boru 88.9/3.2	Boru 114.3/3.2	Boru 139.7/3.0	Boru 168.3/3.6
$d = 88.9 \text{ mm}$	$d = 114.3 \text{ mm}$	$d = 139.7 \text{ mm}$	$d = 168.3 \text{ mm}$
$t = 3.20 \text{ mm}$	$t = 3.20 \text{ mm}$	$t = 3.00 \text{ mm}$	$t = 3.60 \text{ mm}$
$A = 8.62 \text{ cm}^2$	$A = 11.17 \text{ cm}^2$	$A = 12.88 \text{ cm}^2$	$A = 18.63 \text{ cm}^2$
$I = 79.2 \text{ cm}^4$	$I = 172.5 \text{ cm}^4$	$I = 301 \text{ cm}^4$	$I = 632 \text{ cm}^4$
$W = 17.82 \text{ cm}^3$	$W = 30.2 \text{ cm}^3$	$W = 43.1 \text{ cm}^3$	$W = 75 \text{ cm}^3$



Şekil 5.5: Kafes kolon kesiti (mm)

Malzeme özellikleri:

S235 çelikten sıcak hadde boru profil kullanılmıştır.

$$f_y = 235 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1.00$$

Kesit sınıflandırması:

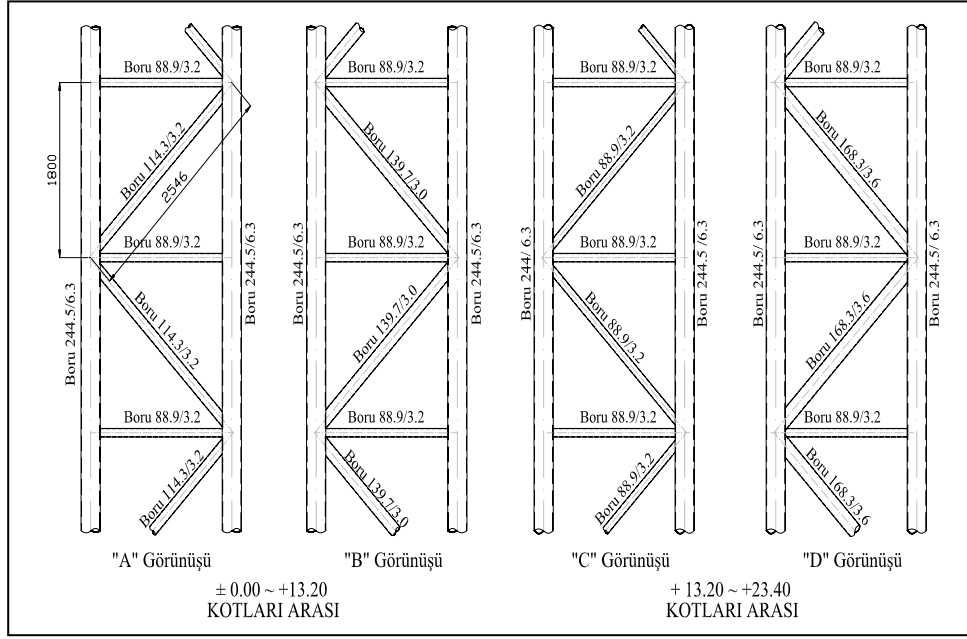
Boru kesitlerde basınç etkisi için inceleme yapılacaktır.

Başlık Sınıfı:

$$\frac{d}{t} = \frac{244.5}{6.30} = 38.81$$

Başlık Sınıfı-2 için sınır değer ; $50\varepsilon = 50$

$$38.81 < 50 \text{ Kesit Sınıfı 2}$$



Şekil 5.6: Kafes kolon görünüşleri (mm)

Dikme ve Diagonal Sınıfı:

Örgü elemanlarında bazı bölgelerde lokal olarak değişiklikler yapılmıştır.

Kullanılacak bütün tipler sınıflandırılacaktır.

Boru 88.9/3 için; $\frac{d}{t} = \frac{88.9}{3.00} = 29.63$

$46.37 < 50$ Kesit Sınıfı 1

Boru 114.3/3.2 için; $\frac{d}{t} = \frac{114.3}{3.20} = 35.72$

$46.37 < 50$ Kesit Sınıfı 1

Boru 139.7/3 için; $\frac{d}{t} = \frac{139.7}{3.00} = 46.57$

$46.57 < 50$ Kesit Sınıfı 1

Boru 168.3/3 için; $\frac{d}{t} = \frac{168.3}{3.60} = 46.75$

$46.75 < 50$ Kesit Sınıfı 1

DBYBHY' e göre en-kesit koşullarının incelenmesi:

Süneklik düzeyi normal sistemler için;

$$0.08 \frac{E_s}{\sigma_a} = 0.08 \times \frac{2100000}{2400} = 70$$

Başlık: Boru 244.5/6.3

$$\frac{D}{t} = \frac{244.5}{6.3} = 38.8 \leq 70$$

uygun

Dikme ve Diyagonal:

Boru 88.9/3.25

$$\frac{D}{t} = \frac{88.9}{3.25} = 27.35 \leq 70$$

uygun

Boru 114.3/3.20

$$\frac{D}{t} = \frac{114.3}{3.20} = 35.72 \leq 70$$

uygun

Boru 139.1/3.00

$$\frac{D}{t} = \frac{139.1}{3.00} = 46.37 \leq 70$$

uygun

Boru 168.3/3.60

$$\frac{D}{t} = \frac{168.3}{3.60} = 46.75 \leq 70$$

uygun

5.1.2.2 Kesit hesapları

Kesitlerin basınç ve çekme kuvveti kapasitesi:

Başlıklar;

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4715 \times 235}{1.10} = 1007295 = 1007 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 895 \text{ kN}$ (1.35G+1.5Q_{kar} kombinasyonu) başlık kesiti yeterlidir.

Dikme ve diyagonaller;

Boru 88.9/3.2 için;

$$N_{c,Rd} = \frac{862 \times 235}{1.10} = 184155 = 184 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 146 \text{ kN}$ (1.35G+1.5Q_{kar} kombinasyonu) kesit yeterlidir.

Boru 114.3/3.2 için;

$$N_{c,Rd} = \frac{1117 \times 235}{1.10} = 238632 = 239 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 220 \text{ kN}$ (1.35G+1.5Q_{kar} kombinasyonu) kesit yeterlidir.

Boru 139.7/3 için;

$$N_{c,Rd} = \frac{1288 \times 235}{1.10} = 275164 = 275 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 248 \text{ kN}$ (1.35G+1.5Q_{kar} kombinasyonu) kesit yeterlidir.

Boru 168.3/3.60 için;

$$N_{c,Rd} = \frac{1863 \times 235}{1.10} = 398005 = 398 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 342 \text{ kN}$ (D+S_I kombinasyonu) kesit yeterlidir.

Basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

Kafes elemanlar her iki yönde de iki uçtan mafsallı olarak kabul edildiğinden düğüm noktaları arası mesafe eleman burkulma boyu olarak alınacaktır.

Başlık elemanlarında burkulma hesabı:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 180 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 3346}{180^2} = 21404 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \sqrt{\frac{4720 \times 235}{21.4 \times 10^6}} = 0.23 > 0.2 \text{ koşul sağlanmıyor.}$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr}} = \frac{895}{21404} = 0.04 = 0.04 \text{ koşul sağlanıyor.}$$

$\lambda \leq 0.2$ koşulu sağlanmadığından azaltılmış burkulma kapasitesi hesaplanması gereklidir.

$\alpha = 0.21$ (“ a ” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.23 - 0.2) + 0.23^2] = 0.53$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.53 + \sqrt{0.53^2 - 0.23^2}} = 0.99$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.99 \times 1007 = 1001 \text{ kN} > N_{ED} \text{ burkulma kapasitesi yeterlidir.}$$

Dikmeler için burkulma hesabı:

Boru 88.9/3.2 için;

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 180 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 76.2}{180^2} = 487.5 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \sqrt{\frac{862 \times 235}{4.87 \times 10^5}} = 0.64 > 0.2 \text{ koşul sağlanmıyor.}$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr}} = \frac{146}{487.5} = 0.30 > 0.04 \text{ koşul sağlanmıyor.}$$

Koşullar sağlanmadığından azaltılmış burkulma kapasitesi hesaplanmalıdır.

$\alpha = 0.21$ (“ a ” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.64 - 0.2) + 0.64^2] = 0.75$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.75 + \sqrt{0.75^2 - 0.64^2}} = 0.87$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.87 \times 184 = 161 \text{ kN} > N_{ED} \text{ burkulma kapasitesi yeterlidir.}$$

Diagonaler için burkulma hesabı:

o Boru 88.9/3.2 için;

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 255 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 76.2}{255^2} = 243 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \sqrt{\frac{862 \times 235}{2.43 \times 10^5}} = 0.91 > 0.2 \text{ koşul sağlanmıyor.}$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr}} = \frac{63}{243} = 0.60 > 0.04 \text{ koşul sağlanmıyor.}$$

Koşullar sağlanmadığından azaltılmış burkulma kapasitesi hesaplanmalıdır.

$\alpha = 0.21$ (“ a ” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.91 - 0.2) + 0.91^2] = 0.99$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.99 + \sqrt{0.99^2 - 0.91^2}} = 0.73$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.73 \times 184 = 134 \text{ kN} > N_{ED} \text{ burkulma kapasitesi yeterlidir.}$$

o Boru 139.7/3.00 için;

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 55 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 301}{255^2} = 959 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \sqrt{\frac{1282 \times 235}{9.59 \times 10^5}} = 0.56 > 0.2 \text{ koşul sağlanmıyor.}$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr}} = \frac{242}{959} = 0.25 > 0.04 \text{ koşul sağlanmıyor.}$$

Koşullar sağlanmadığından azaltılmış burkulma kapasitesi hesaplanmalıdır.

$\alpha = 0.21$ (“ a ” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.56 - 0.2) + 0.56^2] = 0.70$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.70 + \sqrt{0.70^2 - 0.56^2}} = 0.89$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.89 \times 275 = 248 \text{ kN} > N_{ED} \text{ burkulma kapasitesi yeterlidir.}$$

o Boru 168.3/3.6 için;

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 255 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 632}{255^2} = 2015 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \sqrt{\frac{1863 \times 235}{20.15 \times 10^5}} = 0.47 > 0.2 \text{ koşul sağlanmıyor.}$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr}} = \frac{342}{2015} = 0.17 > 0.04 \text{ koşul sağlanmıyor.}$$

Koşullar sağlanmadığından azaltılmış burkulma kapasitesi hesaplanmalıdır.

$\alpha = 0.21$ (“ a ” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.47 - 0.2) + 0.47^2] = 0.64$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.64 + \sqrt{0.64^2 - 0.47^2}} = 0.93$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.93 \times 398 = 372 \text{ kN} > N_{ED} \text{ burkulma kapasitesi yeterlidir.}$$

DBYBHY madde 4.4.1.1’ e göre kesit kapasitesinin incelenmesi:

Başlık:

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{3346}{47.15}} = 8.42 \text{ cm} \quad \lambda_x = \lambda_y = \frac{180}{8.42} = 21.37$$

$\lambda_x > 20$ olduğundan kirişte burkulma hesabı yapılmalıdır.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{2400}} = 131.4$$

$(\lambda_x; \lambda_y) \leq \lambda_p$ olduğundan;

$$20 < \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{21.37}{131.4} \right) - 0.2 \left(\frac{21.37}{131.4} \right)^3 = 1.69$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{80500} \left(\frac{21.37}{131.4} \right)^2 \right] \times 2400}{1.69} = 1420 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1.7 \times 1420 \times 47.15 = 113830 \text{ kg} = 1138 \text{ kN} > N_{ED} = 805 \text{ kN}$$

Diyagonal:

o Boru 88.9/3.2

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{79.21}{8.62}} = 3.03 \text{ cm} \quad \lambda_x = \lambda_y = \frac{255}{3.03} = 84$$

$\lambda_x > 20$ olduğundan kirişte burkulma hesabı yapılmalıdır.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{2400}} = 131.4$$

$(\lambda_x; \lambda_y) \leq \lambda_p$ olduğundan;

$$20 < \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{84}{131.4} \right) - 0.2 \left(\frac{84}{131.4} \right)^3 = 2.22$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{5000} \left(\frac{84}{131.4} \right)^2 \right] \times 2400}{2.22} = 1080 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1.7 \times 1080 \times 8.62 = 15826 \text{ kg} = 158 \text{ kN} > N_{ED} = 50 \text{ kN}$$

uygun

o Boru 114.3/3.2

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{172.5}{11.17}} = 3.93 \text{ cm} \quad \lambda_x = \lambda_y = \frac{255}{3.93} = 64.89$$

$\lambda_x > 20$ olduğundan kirişte burkulma hesabı yapılmalıdır.

$$\lambda_p = 131.4$$

$$20 < \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{64.89}{131.4} \right) - 0.2 \left(\frac{64.89}{131.4} \right)^3 = 2.07$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{22000} \left(\frac{64.89}{131.4} \right)^2 \right] \times 2400}{2.07} = 1159 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1.7 \times 1159 \times 11.17 = 22008 \text{ kg} = 220 \text{ kN} \approx N_{ED} = 220 \text{ kN}$$

uygun

o Boru 139.7/3.0

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{301.1}{12.88}} = 4.84 \text{ cm} \quad \lambda_x = \lambda_y = \frac{255}{4.84} = 52.74$$

$\lambda_x > 20$ olduğundan kirişte burkulma hesabı yapılmalıdır.

$$\lambda_p = 131.4$$

$$20 < \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{52.74}{131.4} \right) - 0.2 \left(\frac{52.74}{131.4} \right)^3 = 1.97$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{23415} \left(\frac{52.74}{131.4} \right)^2 \right] \times 2400}{1.97} = 1218 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1.7 \times 1218 \times 12.88 = 26675 \text{ kg} = 267 \text{ kN} > N_{ED} = 234 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$

o Boru 168.3/3.6

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{632}{18.63}} = 5.82 \text{ cm} \quad \lambda_x = \lambda_y = \frac{255}{5.82} = 43.78$$

$\lambda_x > 20$ olduğundan kirişte burkulma hesabı yapılmalıdır.

$$\lambda_p = 131.4$$

$$20 < \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{43.78}{131.4} \right) - 0.2 \left(\frac{43.78}{131.4} \right)^3 = 1.89$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{5100} \left(\frac{43.78}{131.4} \right)^2 \right] \times 2400}{1.89} = 1270 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1.7 \times 1270 \times 18.63 = 40222 \text{ kg} = 402 \text{ kN} > N_{ED} = 51 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$

5.1.2.3 Düğüm noktası dayanımlarının incelenmesi:

$\pm 0.00 \sim +13.20$ Kotları arası:

➤ “A” Görünüş düzlemi (Şekil 5.8):

Dikme elemanı bulunan K-T tipi birleşimler için d_1 / d_0 formülü yerine;

$$1- \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0} = \frac{2 \times 114.3 + 88.9}{3 \times 244.5} = 0.43 \Rightarrow 0.2 \leq 0.43 \leq 1.0 \text{ formülü kullanılır.}$$

$$\frac{d_1}{d_0} = \frac{88.9}{244.5} = 0.36 \Rightarrow 0.2 \leq 0.36 \leq 1.0 \text{ (Kesit düzlemi için)}$$

$$2- \text{ Sınıf 1 başlık elemanları için; } \frac{d_0}{t_0} = \frac{244.5}{6.30} = 38.81 \Rightarrow 10 \leq 38.81 \leq 50$$

$$3- \text{ Sınıf 1 diyagonal elemanlar için; } \frac{d_i}{t_i} = \frac{114.3}{3.20} = 35.72 \Rightarrow 10 \leq 35.72 \leq 50$$

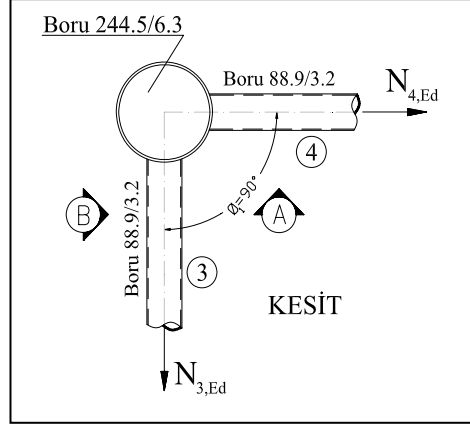
$$4- \text{ Sınıf 1 dikme elemanları için; } \frac{d_i}{t_i} = \frac{88.9}{3.20} = 27.78 \Rightarrow 10 \leq 27.78 \leq 50$$

$$5- t_1 + t_2 = 3.2 + 3.2 = 6.4 \Rightarrow g = 8 \geq 6.4$$

$$6- \theta_1 = \theta_2 = 44^\circ \text{ (A Görünüşü için)}$$

$$\theta_3 = 90^\circ \text{ (Kesit için)}$$

$$7- \frac{e}{d_0} = \frac{12}{244.5} = 0.05 \Rightarrow -0.55 \leq 0.05 \leq 0.25$$



Şekil 5.7: Kafes kolon düğüm noktası

▪ **Başlık plastikleşmesinin incelenmesi:**

1.0G+1.0Q+1.0Ey kombinasyonu;

$$N_{1,Ed} = 165 \text{ kN} \quad N_{2,Ed} = 165 \text{ kN} \quad N_{3,Ed} = 1.0 \text{ kN}$$

Basınca çalışan diyagonallerde K-T tipi kaynaklı birleşimler için ;

$$N_{i,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_i} \left[1.8 + 10.2 \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0} \right] / \gamma_{M_5} \text{ formülü kullanılır.}$$

Buna göre 1 numaralı eleman için;

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} = \frac{244.5}{2 \times 6.3} = 19.41$$

$$k_g = 19.41^{0.2} \left[1 + \frac{0.024 \times 19.41^{1.2}}{1 + \exp(0.5 \times \frac{8}{6.3} - 1.33)} \right] = 2.83$$

$$n_p = \frac{N_{Ed}}{A_0 f_{y0}} = \frac{165000}{4715 \times 235} = 0.15$$

$$k_p = 1 - 0.3 \times 0.15 \times (1 + 0.15) = 0.95 \leq 1.0$$

$$N_{1,Rd} = \frac{2.83 \times 0.95 \times 235 \times 6.3^2}{\sin 45} \left[1.8 + 10.2 \times \frac{114.3}{244.5} \right] / 1.00 = 216122 \text{ N} = 216 \text{ kN}$$

➤ **“B” Görünüş düzlemi (Şekil 5.9):**

Dikme elemanı bulunan K-T tipi birleşimler için d_1 / d_0 formülü yerine;

$$1- \frac{d_1+d_2+d_3}{3d_0} = \frac{2 \times 139.7 + 88.9}{3 \times 244.5} = 0.5 \Rightarrow 0.2 \leq 0.50 \leq 1.0 \text{ formülü kullanılır.}$$

2- Sınıf 1 diyagonal elemanlar için; $\frac{d_i}{t_i} = \frac{139.7}{3.00} = 46.57 \Rightarrow 10 \leq 46.57 \leq 50$

$$3- \quad t_1 + t_2 = 3.0 + 3.0 = 6.0 \Rightarrow g = 8 \geq 6.0$$

4- $\theta_5 = \theta_6 = 46^0$ (B Görünüşü için)

$$\theta_4 = 90^0 \quad (\text{Kesit için})$$

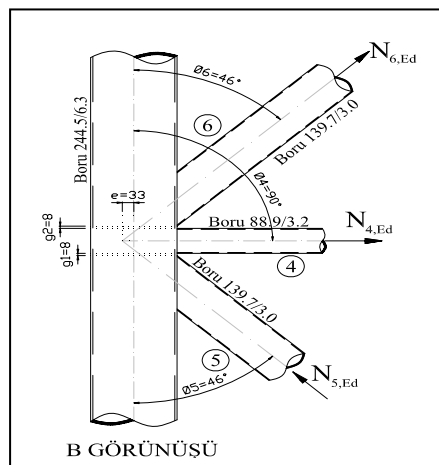
$$5- \frac{e}{d_0} = \frac{33}{244.5} = 0.135 \Rightarrow -0.55 \leq 0.135 \leq 0.25$$

- **Başlık plastikleşmesinin incelenmesi:**

1.0G+1.0Q+1.0E_x kombinasyonu;

$$N_{1,Ed} = 185 \text{ kN} \qquad N_{2,Ed} = 185 \text{ kN} \qquad N_{3,Ed} = 1.0 \text{ kN}$$

Basınca çalışan diyagonallerde K-T tipi kaynaklı birleşim hesabı yapılacaktır.



Şekil 5.9: Kafes kolon düğüm noktası “B” görünüşü

Buna göre 5 numaralı eleman için;

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} = \frac{244.5}{2 \times 6.3} = 19.41$$

$$k_g = 19.40^{0.2} \left[1 + \frac{0.024 \times 19.40^{1.2}}{1 + \exp(0.5 \times \frac{8}{6.3} - 1.33)} \right] = 2.83$$

$$n_p = \frac{N_{Ed}}{A_0 f_{y_0}} = \frac{185000}{4715 \times 235} = 0.17$$

$$k_p = 1 - 0.3 \times 0.17 \times (1 + 0.17) = 0.94 \leq 1.0$$

$$N_{5,Rd} = \frac{2.83 \times 0.94 \times 235 \times 6.3^2}{\sin 46} \left[1.8 + 10.2 \times \frac{139.7}{244.5} \right] / 1.00 = 238879 \text{ N} = 239 \text{ kN}$$

Kafes kolon çok düzlemlı olduğundan yönetmelik gereğince dayanım $\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle küçültülmelidir.

$$N_{5,Rd} = 0.9 \times 238879 = 214991 \text{ N} = 215 \text{ kN} > N_{5,Ed} = 185 \text{ kN}$$

Çekme kuvveti aktaran 6 numaralı eleman için;

$$N_{6,Rd} = \frac{\sin 45}{\sin 45} \times 214991 / 1.00 = 214991 \text{ N} = 215 \text{ kN} > N_{6,Ed} = 185 \text{ kN}$$

Dikme elemanı bulunan K-T tipi birleşimlerde aşağıda ifade edilen koşullar sağlanmalıdır.

$$N_{5,Ed} \sin \theta_1 + N_{4,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{5,Rd} \sin \theta_1$$

$$N_{6,Ed} \sin \theta_1 \leq N_{5,Rd} \sin \theta_1$$

Buna göre;

$$185 \times \sin 46 - 1.0 \times \sin 90 = 133 \leq 215 \times \sin 46 = 155$$

uygun

$$185 \times \sin 46 = 133 \leq 215 \times \sin 46 = 155$$

uygun

▪ **Zımbalama kesme plastikleşmesi;**

5 numaralı eleman için;

$$139.7 \leq 244.5 - 2 \times 6.3 = 231.9 \text{ mm}$$

uygun

$$N_{1,Rd} = \frac{235}{\sqrt{3}} \times 6.3 \times \pi \times 139.7 \times \frac{1 + \sin 46}{2 \sin^2 46} / 1.00 = 623243 \text{ N} = 623 \text{ kN}$$

$\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle;

$$N_{2,Rd} = 0.9 \times 623243 = 560919 \text{ N} = 561 \text{ kN} > 185 \text{ kN}$$

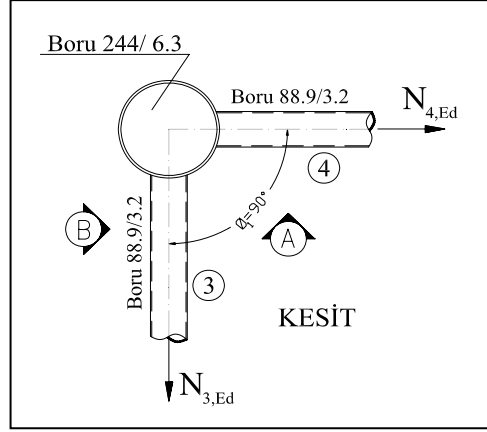
+13.20 ~ +23.40 Kotları arası :

➤ **“A” Görünüş düzlemi (Şekil 5.11):**

Dikme elemanı bulunan K-T tipi birleşimler için d_1 / d_0 formülü yerine;

$$1- \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0} = \frac{3 \times 88.9}{3 \times 244.5} = 0.36 \Rightarrow 0.2 \leq 0.36 \leq 1.0$$

$$\frac{d_1}{d_0} = \frac{88.9}{244.5} = 0.36 \Rightarrow 0.2 \leq 0.36 \leq 1.0 \text{ (Kesit düzlemi için)}$$



Şekil 5.10: Kafes kolon düğüm noktası

2- Sınıf 1 başlık elemanları için; $\frac{d_0}{t_0} = \frac{244.5}{6.30} = 38.80 \Rightarrow 10 \leq 38.80 \leq 50$

Sınıf 1 dikme ve diyagonaller için; $\frac{d_i}{t_i} = \frac{88.9}{3.20} = 27.78 \Rightarrow 10 \leq 27.78 \leq 50$

3- $t_1 + t_2 = 3.2 + 3.2 = 6.4 \Rightarrow g = 8 \geq 6.4$

4- $\theta_1 = \theta_2 = 45^\circ$ (A Görünüşü için)

$\theta_3 = 90^\circ$ (Kesit için)

$\frac{e}{d_0} = \frac{-8}{244.5} = 0.05 \Rightarrow -0.55 \leq -0.033 \leq 0.25$

▪ **Başlık plastikleşmesinin incelenmesi:**

1.0G+1.0Q+1.0E_X kombinasyonu;

$N_{1,Ed} = 38 \text{ kN}$

$N_{2,Ed} = 43 \text{ kN}$

$N_{3,Ed} = 2.0 \text{ kN}$

Basınca çalışan diyagonallerde K-T tipi kaynaklı birleşim hesabı yapılacaktır.

Buna göre 1 numaralı eleman için;

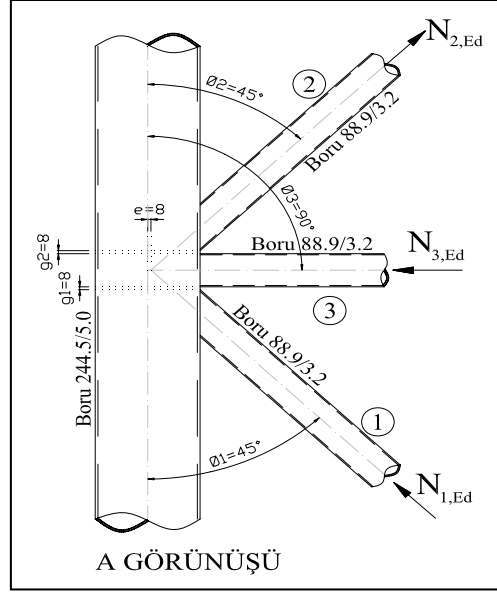
$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} = \frac{244.5}{2 \times 6.30} = 19.40$

$k_g = 19.40^{0.2} \left[1 + \frac{0.024 \times 19.40^{1.2}}{1 + \exp(0.5 \times \frac{8}{6.30} - 1.33)} \right] = 2.77$

$n_p = \frac{N_{Ed}}{A_0 f_{y_0}} = \frac{38000}{4715 \times 235} = 0.03$

$k_p = 1 - 0.3 \times 0.03 \times (1 + 0.03) = 0.99 \leq 1.0$

$$N_{1,Rd} = \frac{2.77 \times 0.99 \times 235 \times 6.3^2}{\sin 45} \left[1.8 + 10.2 \times \frac{139.7}{244.5} \right] / 1.00 = 199267 \text{ N} = 199 \text{ kN}$$



Şekil 5.11: Kafes kolon düğüm noktası "A" görünüşü

Kafes kolon çok düzlemli olduğundan yönetmelik gereğince dayanım $\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle küçültülmelidir.

$$N_{1,Rd} = 0.9 \times 199267 = 179341 \text{ N} = 179 \text{ kN} > N_{1,Ed} = 38 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$

Çekme kuvveti aktaran 2 numaralı eleman için;

$$N_{1,Rd} = \frac{\sin 45}{\sin 45} \times 179341 / 1.00 = 179341 \text{ N} = 179 \text{ kN} > N_{1,Ed} = 43 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$

Dikme elemanı bulunan K-T tipi birleşimlerde aşağıda ifade edilen koşullar sağlanmalıdır.

$$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$$

$$N_{2,Ed} \sin \theta_1 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$$

Buna göre;

$$38 \times \sin 45 - (-2) \times \sin 90 = 29 \leq 179 \times \sin 45 = 127 \quad \text{uygun}$$

$$38 \times \sin 45 = 27 \leq 179 \times \sin 45 = 127 \quad \text{uygun}$$

▪ **Zımbalama kesme plastikleşmesi;**

1 numaralı eleman için;

$$88.9 \leq 244.5 - 2 \times 6.30 = 231.9 \text{ mm} \quad \text{uygun}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{235}{\sqrt{3}} \times 6.30 \times \pi \times 88.9 \times \frac{1 + \sin 45}{2 \sin^2 45} / 1.00 = 323437 \text{ N} = 323 \text{ kN}$$

$\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle;

$$n_p = \frac{N_{Ed}}{A_0 f_{y_0}} = \frac{292000}{4715 \times 235} = 0.26$$

$$k_p = 1 - 0.3 \times 0.26 \times (1 + 0.26) = 0.90 \leq 1.0$$

$$N_{5,Rd} = \frac{3.33 \times 0.90 \times 235 \times 6.3^2}{\sin 44} \left[1.8 + 10.2 \times \frac{168.3}{244.5} \right] / 1.00 = 355236 \text{ N} = 355 \text{ kN}$$

Kafes kolon çok düzlemlı olduğundan yönetmelik gereğince dayanım $\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle küçültülmelıdır.

$$N_{5,Rd} = 0.9 \times 355236 = 319712 \text{ N} = 320 \text{ kN} > N_{5,Ed} = 292 \text{ kN} \quad \textbf{uygun}$$

Çekme kuvveti aktaran 6 numaralı eleman için;

$$N_{6,Rd} = \frac{\sin 44}{\sin 44} \times 319712 / 1.00 = 319712 \text{ N} = 215 \text{ kN} > N_{6,Ed} = 292 \text{ kN}$$

Dikme elemanı bulunan K-T tipi birleşimlerde aşağıda ifade edilen koşullar sağlanmalıdır.

$$N_{5,Ed} \sin \theta_1 + N_{4,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{5,Rd} \sin \theta_1$$

$$N_{6,Ed} \sin \theta_1 \leq N_{5,Rd} \sin \theta_1$$

Buna göre;

$$292 \times \sin 44 - 1.0 \times \sin 90 = 202 \leq 320 \times \sin 44 = 223 \quad \textbf{uygun}$$

$$292 \times \sin 44 = 203 \leq 320 \times \sin 44 = 223 \quad \textbf{uygun}$$

▪ Zımbalama kesme plastikleşmesi;

5 numaralı eleman için;

$$168.3 \leq 244.5 - 2 \times 6.3 = 231.9 \text{ mm} \quad \textbf{uygun}$$

$$N_{5,Rd} = \frac{235}{\sqrt{3}} \times 6.3 \times \pi \times 168.3 \times \frac{1 + \sin 44}{2 \sin^2 44} / 1.00 = 793581 \text{ N} = 794 \text{ kN}$$

$\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle;

$$N_{5,Rd} = 0.9 \times 793581 = 714223 \text{ N} = 561 \text{ kN} > 185 \text{ kN}$$

5.1.2.4 Başlık ile örgü elemanların birleşim detayı:

$$\text{S235 kalitesi için} \quad \frac{a}{t} \geq 0.84\alpha$$

$$\text{Burada; } \alpha = \frac{1.1}{\gamma_{M_j}} \times \frac{\gamma_{M_w}}{1.25} = \frac{1.1}{1.1} \times \frac{1.35}{1.25} = 1.08 \text{ formülü ile elde edilir.}$$

$$0.84\alpha = 0.84 \times 1.08 = 0.91$$

$$a \geq 0.91 \times 3.2 = 2.91 \text{ mm} \quad a_{\min} = 3.0 \text{ mm alınacaktır. Buna göre;}$$

$$l_w = \pi r = \pi \times 88.9 = 279.3 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M_2}} a l_w = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} \times 3.0 \times 279.3 = 174154 \text{ N} = 174 \text{ kN} \approx N_{T,Rd}$$

$$l_w = \pi r = \pi \times 114.3 = 359 \text{ mm} \quad \Rightarrow F_{w,Rd} = 223850 \approx N_{T,Rd} \quad \text{uygun}$$

$$l_w = \pi r = \pi \times 139.7 = 439 \text{ mm} \quad \Rightarrow F_{w,Rd} = 273733 \approx N_{T,Rd} \quad \text{uygun}$$

$$l_w = \pi r = \pi \times 168.3 = 529 \text{ mm} \quad \Rightarrow F_{w,Rd} = 329852 \approx N_{T,Rd} \quad \text{uygun}$$

5.1.3 Ara kafes kiriş kesit hesabı

5.1.3.1 Kesit özellikleri:

Alt ve üst başlık: Boru 114.3/3.6

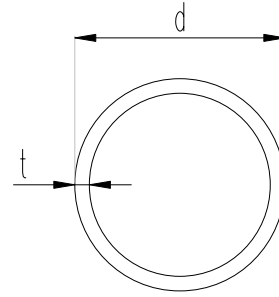
$$d = 114.3 \text{ mm}$$

$$t = 3.60 \text{ mm}$$

$$A = 12.52 \text{ cm}^2$$

$$I = 192 \text{ cm}^4$$

$$W = 33.6 \text{ cm}^3$$



Dikme ve diyagonaller: Boru 88.9/3.2

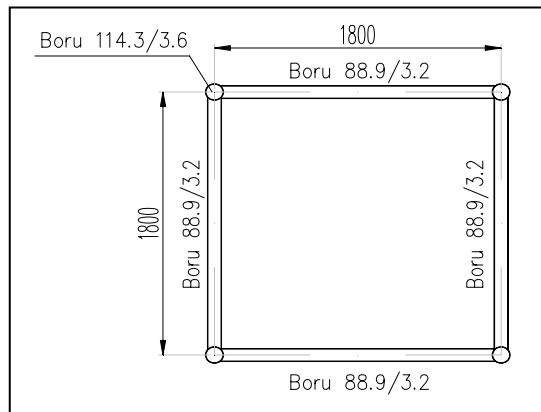
$$d = 88.9 \text{ mm}$$

$$t = 3.20 \text{ mm}$$

$$A = 8.75 \text{ cm}^2$$

$$I = 80.31 \text{ cm}^4$$

$$W = 18.07 \text{ cm}^3$$



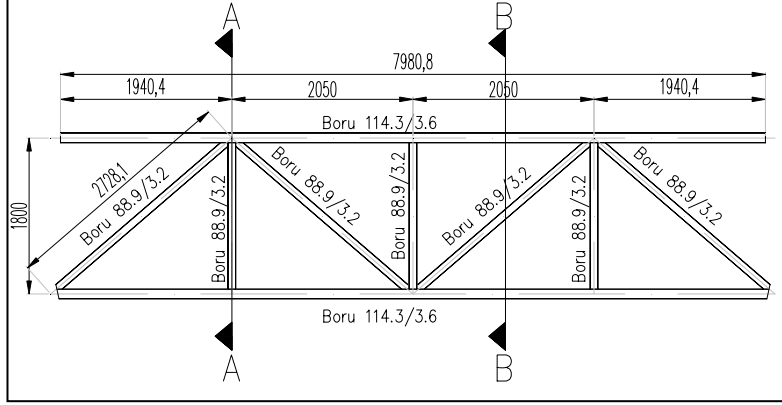
Şekil 5.13: Ara kafes kiriş kesiti (mm)

Malzeme özellikleri:

S235 Çelikten Sıcak Hadde boru profil

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1.00$$



Şekil 5.14: Ara kafes kiriş görünüşü (mm)

Kesit sınıflandırması:

Kafes kule kolonlar arasında y-y doğrultusunda oluşturulan bu kafes sistem deprem yüklerine karşı eklenmiştir. Dolayısıyla kesit bütün olarak basınç etkisindedir.

Üst ve Alt Başlık Sınıfı;

$$d/t = \frac{114.4}{3.60} = 31.78$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer ; $33 \varepsilon = 33$

$31.78 < 33$ Kesit Sınıfı 1

Dikme ve Diyagonal Sınıfı;

$$d/t = \frac{88.9}{3.25} = 27.35$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer ; $33 \varepsilon = 33$

$27.35 < 33$ Kesit Sınıfı 1

DBYBHY' e göre en-kesit koşullarının incelenmesi:

Süneklik düzeyi normal sistemler için;

$$0.08 \frac{E_s}{\sigma_a} = 0.08 \times \frac{2100000}{2400} = 70$$

Alt ve Üst Başlık : Boru 114.3/3.6

$$\frac{D}{t} = \frac{114.3}{3.6} = 31.75 \leq 70$$

uygun

Dikme ve Diyagonal: Boru 88.9/3.25

$$\frac{D}{t} = \frac{88.9}{3.25} = 27.35 \leq 70$$

uygun

5.1.3.2 Kesit hesapları

Kesitin basınç kapasitesi:

Alt ve üst başlık için;

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1252 \times 235}{1.10} = 267473 = 267.5 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 55 \text{ kN}$ (1.0G+1.0Q+1.0E_Y kombinasyonu) alt ve üst başlık kesiti yeterlidir.

Diyagonal ve dikmeler için;

$$N_{c,Rd} = \frac{875 \times 235}{1.10} = 186932 = 187 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 68 \text{ kN}$ (1.0G+1.0Q+1.0E_Y kombinasyonu) dikme ve diyagonal kesiti yeterlidir.

Basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

Kafes elemanları her iki yönde de 2 uçtan mafsallı olarak kabul edildiğinden düğüm noktaları arası mesafe eleman boyu olarak alınacaktır.

Üst ve alt başlık:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 205 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 192}{205^2} = 947 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{1257 \times 235}{947000}} = 0.558 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{55.2}{947} = 0.06 > 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} \leq 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma

kapasitesi hesaplanmalıdır.

Elemanlar boru kesit olduğundan y-y ve z-z eksenini etrafında burkulma için “a” burkulma eğrisi dikkate alınır.

$\alpha = 0.21$ (“ a ” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \left[1 + 0.21(0.558 - 0.2) + 0.558^2 \right] = 0.693$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.693 + \sqrt{0.693^2 - 0.558^2}} = 0.944$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.944 \times 267.5 = 252.4 \text{ kN} > N_{ED}$$

uygun

Diyagonal ve dikmeler:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 272.6 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 80.31}{272.6^2} = 224 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{875 \times 235}{224000}} = 0.96 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{68.6}{224} = 0.306 > 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} \leq 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma

kapasitesi hesaplanmalıdır.

Elemanlar boru kesit olduğundan y-y ve z-z eksenleri etrafında burkulma için “a” burkulma eğrisi dikkate alınır.

$\alpha = 0.21$ (“ a ” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \left[1 + 0.21(0.96 - 0.2) + 0.96^2 \right] = 1.041$$

$$\chi_y = \frac{1}{1.041 + \sqrt{1.041^2 - 0.96^2}} = 0.693$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.693 \times 187 = 129.6 \text{ kN} > N_{ED}$$

uygun

DBYBHY madde 4.4.1.1’ e göre kesit kapasitesinin incelenmesi:

Başlık: Boru 114.3/3.6

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{192}{12.52}} = 3.92 \text{ cm} \quad \lambda_x = \lambda_y = \frac{205}{3.92} = 52.35$$

$\lambda_x > 20$ olduğundan kirişte burkulma hesabı yapılmalıdır.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{2400}} = 131.4$$

$(\lambda_x; \lambda_y) \leq \lambda_p$ olduğundan;

$$20 < \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{52.35}{131.4} \right) - 0.2 \left(\frac{52.35}{131.4} \right)^3 = 1.97$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{5500} \left(\frac{52.35}{131.4} \right)^2 \right] \times 2400}{1.97} = 1218 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7\sigma_{bem}A = 1.7 \times 1218 \times 12.52 = 25924 \text{ kg} = 2592 \text{ kN} > N_{ED} = 55 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$

Diyagonal ve dikmeler: Boru 88.9/3.2

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{79.21}{8.62}} = 3.03 \text{ cm} \quad \lambda_x = \lambda_y = \frac{255}{3.03} = 84$$

$\lambda_x > 20$ olduğundan kirişte burkulma hesabı yapılmalıdır.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{2400}} = 131.4$$

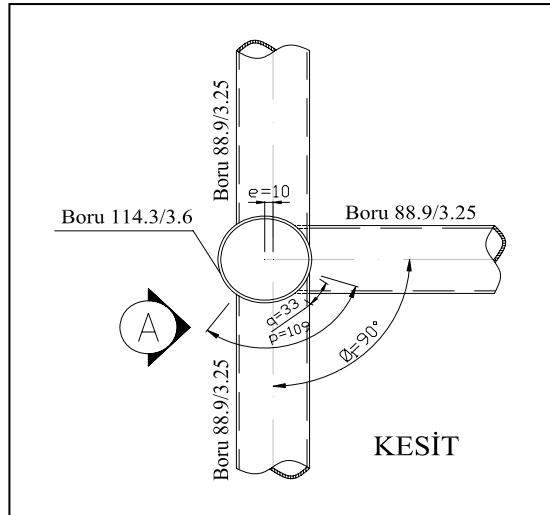
$(\lambda_x; \lambda_y) \leq \lambda_p$ olduğundan;

$$20 < \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{84}{131.4} \right) - 0.2 \left(\frac{84}{131.4} \right)^3 = 2.22$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{6800} \left(\frac{84}{131.4} \right)^2 \right] \times 2400}{2.22} = 1081 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7\sigma_{bem}A = 1.7 \times 1080 \times 8.62 = 15826 \text{ kg} = 158 \text{ kN} > N_{ED} = 68 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$

5.1.3.3 Düğüm noktası dayanımının incelenmesi:



Şekil 5.15: Ara kafes kiriş düğüm noktası (mm)

Başlık profilleri:

➤ “A” Görünüş düzlemi (Şekil 5.16) :

Basınca çalışan diyagonallerde K tipi kaynaklı birleşimler için ;

$$1- \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0} = \frac{3 \times 88.9}{3 \times 114.3} = 0.77 \Rightarrow 0.2 \leq 0.77 \leq 1.0$$

Dikme elemanı bulunan K tipi birleşimler için d_1 / d_0 formülü yerine bu formül kullanılması gerekmektedir. (A Görünüşü düzlemi)

$$\frac{d_1}{d_0} = \frac{88.9}{114.3} = 0.77 \Rightarrow 0.2 \leq 0.77 \leq 1.0 \text{ (Kesit düzlemi için)}$$

2- Sınıf 1 başlık elemanları için; $\frac{d_0}{t_0} = \frac{114.3}{3.6} = 31.75 \Rightarrow 10 \leq 31.75 \leq 50$

3- Sınıf 1 dikme ve diyagonal elemanlar için (A Görünüşü)

$$\frac{d_i}{t_i} = \frac{88.9}{3.25} = 27.35 \Rightarrow 10 \leq 27.35 \leq 50$$

Sınıf 1 dikme elemanı için (Kesit)

$$\frac{d_i}{t_i} = \frac{88.9}{3.25} = 27.35 \Rightarrow 10 \leq 27.35 \leq 50$$

4- $\lambda_{ov} = \frac{33}{109} \times 100 = \%30 \geq \%25 \text{ (A Görünüşü için)}$

$$\lambda_{ov} = \frac{50}{126} \times 100 = \%40 \geq \%25 \text{ (Kesit için)}$$

5- $\theta_1 = \theta_2 = 45^\circ$, $\theta_3 = 90^\circ$ (A Görünüşü için)

$$\theta_1 = 90^\circ \text{ (Kesit için)}$$

1.0G+1.0Q+1.0E_Y kombinasyonu;

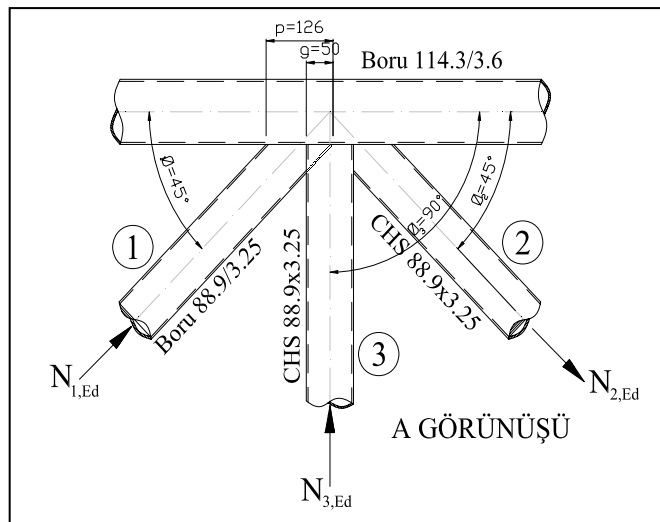
$$N_{1,Ed} = 47.5 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 49.3 \text{ kN}$$

$$N_{3,Ed} = 3.7 \text{ kN}$$

$$N_{Ed, chord} = 110 \text{ kN}$$

Başlık plastikleşmesinin incelenmesi



Şekil 5.16: Ara kafes kiriş düğüm noktası “A” görünüşü (mm)

Buna göre 1 numaralı eleman için;

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} = \frac{114.3}{2 \times 3.6} = 15.88$$

$$k_g = 15.88^{0.2} \left[1 + \frac{0.024 \times 15.88^{1.2}}{1 + \exp(0.5 \times \frac{(-50)}{3.6} - 1.33)} \right] = 2.87$$

$$k_p = 1 - 0.3n_p(1 + n_p) \leq 1.0, \quad n_p = \frac{N_{Ed}}{Af_{y0}} = \frac{110000}{1252 \times 235} = 0.37$$

$$k_p = 1 - 0.3 \times 0.37 \times (1 + 0.37) = 0.85 \leq 1.0$$

$$N_{1,Rd} = \frac{2.87 \times 0.85 \times 235 \times 3.6^2}{\sin 45} \left[1.8 + 10.2 \times \frac{88.9}{114.3} \right] / 1.00 = 101610 \text{ N} = 102 \text{ kN}$$

Kafes kolon çok düzlemlili olduğundan yönetmelik gereğince dayanım $\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle küçültülmelidir.

$$N_{1,Rd} = 0.9 \times 101610 = 91449 \text{ N} = 91.5 \text{ kN} > 47.5 \text{ kN}$$

uygun

Çekmeye çalışan diyagonallerde $N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} N_{1,Rd} / \gamma_{M_5}$ formülü kullanılır.

Buna göre 2 numaralı eleman için;

$$N_{1,Rd} = \frac{\sin 45}{\sin 45} \times 91449 / 1.00 = 91449 \text{ N} = 91.5 \text{ kN} > 49.3 \text{ kN}$$

uygun

Dikme elemanı bulunan K tipi birleşimlerde aşağıda ifade edilen koşullar sağlanmalıdır.

$$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$$

$$N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$$

Buna göre;

$$47.5 \times \sin 45 - 3.7 \times \sin 90 = 29.9 \leq 47.5 \times \sin 45 = 33.6$$

uygun

$$49.3 \times \sin 45 = 34.86 \approx 47.5 \times \sin 45 = 33.6$$

uygun

Zımbalama kesme plastikleşmesi;

1 numaralı eleman için;

$$88.9 \leq 114.3 - 2 \times 3.6 = 107.1 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{235}{\sqrt{3}} \times 3.6 \times \pi \times 88.9 \times \frac{1 + \sin 45}{2 \sin^2 45} / 1.00 = 232875 \text{ N} = 233 \text{ kN}$$

$\mu = 0.9$ azaltma faktörüyle;

$$N_{1,Rd} = 0.9 \times 232875 = 209588 \text{ N} = 210 \text{ kN} > 47.5 \text{ kN}$$

uygun

Kesit düzlemi için düğüm noktası etkileri çok küçük olduğundan herhangi bir hesap yapılmasına gerek yoktur.

5.1.4 Yan kafes kiriş kesit hesabı

5.1.4.1 Kesit özellikleri:

Üst ve alt başlık: Boru 114.3/3.6

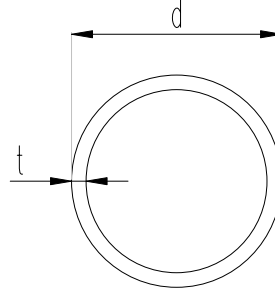
$$d = 114.4 \text{ mm}$$

$$t = 3.60 \text{ mm}$$

$$A = 12.52 \text{ cm}^2$$

$$I = 192 \text{ cm}^4$$

$$W = 33.6 \text{ cm}^3$$



Dikme ve diyagonaller: Boru 76.1/3.25

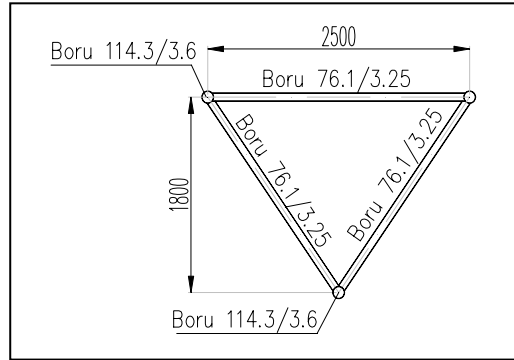
$$d = 76.1 \text{ mm}$$

$$t = 3.25 \text{ mm}$$

$$A = 7.33 \text{ cm}^2$$

$$I = 48.8 \text{ cm}^4$$

$$W = 12.82 \text{ cm}^3$$



Şekil 5.17: Yan kafes kiriş kesiti (mm)

Malzeme özellikleri:

S235 Çelikten Sıcak Hadde boru profil

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1.00$$

Kesit sınıflandırması:

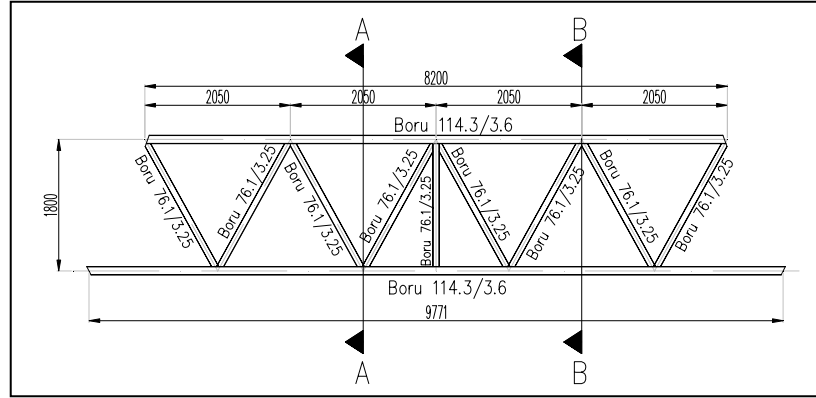
Yan cephede y-y doğrultusunda oluşturulan bu kafes sistem deprem yüklerine karşı eklenmiştir. Dolayısıyla kesit bütün olarak basınç etkisindedir.

Üst ve Alt Başlık Sınıfı;

$$\frac{d}{t} = \frac{114.4}{3.60} = 31.78$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer; $33 \leq \varepsilon = 33$

$31.78 < 33$ Kesit Sınıfı 1



Şekil 5.18: Yan kafes kiriş görünüşü (mm)

Diyagonal ve dikmeler için;

$$\frac{d}{t} = \frac{76.1}{3.25} = 23.42$$

Sınıfı-1 için sınır değer; $50 \leq \varepsilon = 50$

$23.42 < 50$ Kesit Sınıfı 1

DBYBHY' e göre en-kesit koşullarının incelenmesi:

Süneklik düzeyi normal sistemler için;

$$0.08 \frac{E_s}{\sigma_a} = 0.08 \times \frac{2100000}{2400} = 70$$

Alt ve Üst Başlık: Boru 114.3/3.6

$$\frac{D}{t} = \frac{114.3}{3.6} = 31.75 \leq 70$$

uygun

Dikme ve Diyagonal: Boru 76.1/3.25

$$\frac{D}{t} = \frac{76.1}{3.25} = 23.41 \leq 70$$

uygun

5.1.4.2 Kesit hesapları

Kesitin basınç kapasitesi:

Alt ve Üst başlık için;

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2065 \times 235}{1.10} = 441159 \text{ N} = 441 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 54 \text{ kN}$ ($1.35G + 1.35Q_{kar} + 1.35Q_{rüzgar-Y}$ kombinasyonu) alt başlık kesiti yeterlidir.

Diyagonal ve dikmeler için;

$$N_{c,Rd} = \frac{733 \times 235}{1.10} = 156595 \text{ N} = 157 \text{ kN}$$

$N_{ED} = 25 \text{ kN}$ ($1.35G + 1.5Q_{kar}$ kombinasyonu) dikme ve diyagonal kesiti yeterlidir.

Basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

Kafes elemanları her iki yönde de 2 uçtan mafsallı olarak kabul edildiğinden düğüm noktaları arası mesafe eleman boyu olarak alınacaktır. Buna göre üst ve alt başlık için;

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 205 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 192}{205^2} = 947 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{1257 \times 235}{947000}} = 0.559 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{55.2}{947} = 0.06 > 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} \leq 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma

kapasitesi hesaplanmalıdır.

$\alpha = 0.21$ (“ a ” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \left[1 + 0.21(0.559 - 0.2) + 0.559^2 \right] = 0.694$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.694 + \sqrt{0.694^2 - 0.559^2}} = 0.905$$

$N_{b,y,Rd} = 0.905 \times 267.5 = 242 \text{ kN} > N_{ED}$ burkulma kapasitesi yeterlidir.

Diyagonal elemanlar için de inceleme yaparsak;

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 242 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 48.8}{242^2} = 173 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{733 \times 235}{172706}} = 0.998 > 0,2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{25}{173} = 0.145 > 0,04$$

$$\lambda \leq 0.2 \text{ ve } \frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} \leq 0.04 \text{ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma}$$

kapasitesi hesaplanmalıdır.

Elemanlar boru kesit olduğundan y-y ve z-z eksenini etrafında burkulma için “a” burkulma eğrisi dikkate alınır.

$$\alpha = 0.21 \text{ (“ a ” burkulma eğrisi için)}$$

$$\Phi_y = 0.5 \left[1 + 0.21(0.998 - 0.2) + 0.998^2 \right] = 1.08$$

$$\chi_y = \frac{1}{1.08 + \sqrt{1.08^2 - 0.998^2}} = 0.67$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.67 \times 157 = 105.2 \text{ kN} > N_{ED} \text{ burkulma kapasitesi yeterlidir.}$$

DBYBHY madde 4.4.1.1’ e göre kesit kapasitesinin incelenmesi:

Başlık: Boru 114.3/3.6

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{192}{12.52}} = 3.92 \text{ cm} \quad \lambda_x = \lambda_y = \frac{205}{3.92} = 52.35$$

$\lambda_x > 20$ olduğundan kirişte burkulma hesabı yapılmalıdır.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{2400}} = 131.4$$

$(\lambda_x; \lambda_y) \leq \lambda_p$ olduğundan;

$$20 < \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{52.35}{131.4} \right) - 0.2 \left(\frac{52.35}{131.4} \right)^3 = 1.97$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{5500} \left(\frac{52.35}{131.4} \right)^2 \right] \times 2400}{1.97} = 1218 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1.7 \times 1218 \times 12.52 = 25924 \text{ kg} = 2592 \text{ kN} > N_{ED} = 55 \text{ kN}$$

Diyagonal: Boru 76.1/3.25

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{48.8}{7.33}} = 6.66 \text{ cm} \quad \lambda_x = \lambda_y = \frac{255}{6.66} = 38.3$$

$\lambda_x > 20$ olduğundan kirişte burkulma hesabı yapılmalıdır.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{2400}} = 131.4$$

$(\lambda_x; \lambda_y) \leq \lambda_p$ olduğundan;

$$20 < \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{38.3}{131.4} \right) - 0.2 \left(\frac{38.3}{131.4} \right)^3 = 1.85$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{6800} \left(\frac{38.3}{131.4} \right)^2 \right] \times 2400}{1.85} = 1297 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1.7 \times 1297 \times 7.33 = 16165 \text{ kg} = 162 \text{ kN} > N_{ED} = 68 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$

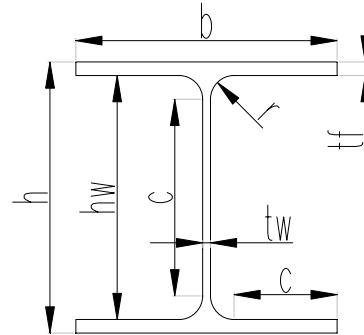
5.1.5 Yan cephe kolonları kesit hesabı

5.1.5.1 Kesit özellikleri

Seçilen profil: HE340A

Kesit özellikleri:

$b =$	300 mm	$A =$	133.5 cm ²
$h =$	330 mm	$I_y =$	27690 cm ⁴
$t_f =$	16.5 mm	$W_{y,pl} =$	1850 cm ³
$t_w =$	9.5 mm	$r =$	27 mm



Malzeme özellikleri:

S275 Çelikten Sıcak Hadde H profil

$$f_y = 275 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92$$

Tasarım için kullanılacak iç kuvvetler:

$$N_{ED} = 126 \text{ kN} \quad 1.35G + 1.5Q_{kar} \text{ (En büyük eksenel yük)}$$

$$N_{ED} = 60 \text{ kN} \quad 1.35G + 1.35Q_{kar} + 1.35Q_{rüzgar-X}$$

$$M_{ED} = 72 \text{ kNm} \quad \text{(Basınç ve eğilme etkisi)}$$

$$V_{ED} = 6 \text{ kN}$$

Kesit sınıflandırması:

Basınç etkisindeki elemanlar için;

Başlık Sınıfı;

$$c = \frac{b - t_w}{2} - r = \frac{300 - 9.5}{2} - 27 = 118.25 \text{ mm}$$

$$c/t_f = \frac{118.25}{16.5} = 7.17$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer; $9\varepsilon = 8.28$

$7.17 < 8.28$ Kesit Sınıfı 1

Gövde Sınıfı;

$$c = h - 2t_f - 2r = 330 - 2 \times 16.5 - 2 \times 27 = 243 \text{ mm}$$

$$c/t_w = \frac{243}{9.5} = 25.58$$

Gövde Sınıfı-1 için sınır değer ; $33\varepsilon = 30.36$

$25.58 < 30.36$ Kesit Sınıfı 1

Bütün kesit için kesit, Sınıf-1 olarak alınır.

5.1.5.2 Kesit hesapları:**Kesitin basınç kapasitesi:**

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{13350 \times 275}{1.10} = 3338000 \text{ N} = 3338 \text{ kN} > N_{ED} \text{ kesit yeterlidir.}$$

Kesitin moment kapasitesi:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1850000 \times 275}{1.10} = 462.5 \times 10^6 \text{ Nmm} = 462.5 \text{ kNm} > M_{ED}$$

Kesitin kesme kuvveti kapasitesi:

$$h_w = h - 2b = 330 - 2 \times 16.5 = 297 \text{ mm}$$

$$A_v = 13350 - 2 \times 300 \times 16.6 + (9.5 + 2 \times 27) \times 16.5 = 4438 \text{ mm}^2$$

$\eta = 1.0$ alınırsa,

$$\eta h_w t_w = 1.0 \times 297 \times 9.5 = 3386 \text{ mm}^2$$

$4438 > 3386$ koşul sağlanıyor A_v değeri kullanılacaktır.

Sonuç olarak;

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{4486 \times \left(\frac{275}{\sqrt{3}} \right)}{1.10} = 649200 \text{ N} = 649.2 \text{ kN}$$

Gövde berkitmesi kullanılmayan elemanlarda kesme burkulması kontrolü:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad \eta = 1.0$$

$$72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \times \frac{0.92}{1.0} = 66.4$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{297}{9.5} = 31.26$$

$31.26 < 66.4$ koşul sağlanıyor. Gövde berkitmesine gerek yok.

Moment ve basınç kuvveti etkileşiminin incelenmesi:

$$\frac{0.5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \times 297 \times 9.5 \times 275}{1.10} = 352688 \text{ N} = 353 \text{ kN} > N_{ED} \text{ koşulu sağlanıyor.}$$

$$0.25 N_{pl,Rd} = 0.25 \times 3338 = 834.5 > N_{ED} \text{ koşulu sağlanıyor.}$$

Dolayısıyla y-y eksen moment kapasitesine, eksenel basınç kuvvetinin etkisi ihmal edilebilir.

Moment ve kesme kuvveti etkileşiminin incelenmesi:

$$V_{ED} \leq 0.5 V_{pl,Rd}$$

Koşulunun sağlanması durumunda kesme kuvvetini moment kapasitesi üzerindeki etkisi ihmal edilir.

Buna göre;

$$0.5 V_{pl,Rd} = 0.5 \times 649.2 = 324.6 \text{ kN} > V_{ED} \text{ koşul sağlanıyor.}$$

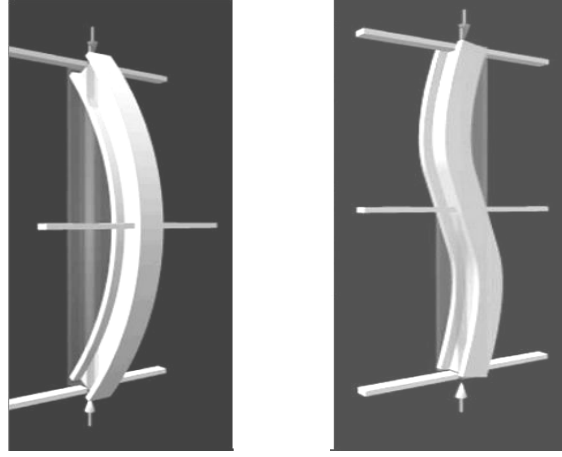
Basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

Kolonlar her iki yönde de 2 uçtan mafsallı olarak mesnetlenmiştir. Ancak kuvvetli yönde sistem “yanal ötelenmesi önlenmemiş” olarak kabul edileceğinden, etkili boy çarpanı $K=2.0$ alınacaktır. Dolayısı ile;

$$L_{cr,y} = KL = 2 \times 13.9 = 27.8 \text{ m alınacaktır.}$$

Zayıf yönde ise sistem “yanal ötelenmesi önlenmiş” olarak kabul edilerek etkili boy çarpanı $K=1.0$ alınmıştır. Kolonlar bu yönde kuşaklarla tutulduğundan kritik burkulma boyu için;

$$L_{cr,z} = 4.00 \text{ m alınacaktır.}$$



Şekil 5.19: Eksenel yük etkisinde kolondaki şekil değişimi

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 27690}{2780^2} = 743 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 7436}{400^2} = 9632 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{13350 \times 275}{743000}} = 2.22 > 0.2$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{13350 \times 275}{9632000}} = 0.62 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{126}{743} = 0.17 > 0.04$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,z}} = \frac{126}{9632} = 0.014 < 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} < 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma

kapasitesi hesaplanmalıdır.

$$\frac{h}{b} = \frac{290}{300} = 0.97 < 1.20$$

olduğundan y-y eksenini etrafında burkulma için “b”, z-z eksenini etrafında burkulma için “c” burkulma eğrileri dikkate alınır.

y-y eksenine göre burkulma hesabı:

$\alpha = 0.34$ (“b” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \left[1 + 0.34(2.22 - 0.2) + 2.22^2 \right] = 3.31$$

$$\chi_y = \frac{1}{3.31 + \sqrt{3.31^2 - 2.22^2}} = 0.17$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.17 \times 3338 = 579 \text{ kN} > N_{ED} \text{ kuvvetli ekseninde burkulma kapasitesi}$$

yeterlidir.

z-z eksenine göre burkulma hesabı:

$$\alpha = 0.49 \text{ ("c" burkulma eğrisi için)}$$

$$\Phi_z = 0.5 \left[1 + 0.49(0.62 - 0.2) + 0.62^2 \right] = 0.795$$

$$\chi_z = \frac{1}{0.795 + \sqrt{0.795^2 - 0.62^2}} = 0.774, \chi \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.774 \times 3338 = 2584 \text{ kN} > N_{ED} \text{ zayıf ekseninde burkulma kapasitesi yeterlidir}$$

Moment etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

$$C_1 = 1.132$$

$$I_w = 1824 \times 10^{-3} \text{ cm}^6$$

$$I_T = 127.2 \text{ cm}^4$$

$$G = 81000 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{cr,y} = 1.132 \frac{\pi^2 \times 21000 \times 27690}{2780^2} \left(\frac{1.824}{27690} + \frac{2780^2 \times 8100 \times 127.2}{\pi^2 \times 21000 \times 27690} \right)^{0.5}$$

$$= 31312 \text{ kNcm} = 313 \text{ kNm}$$

H kesitler için $\frac{h}{b} < 1.2$ olduğundan " b " burkulma eğrisi dikkate alınır. Dolayısıyla

$$\alpha_{LT} = 0.34 \text{ alınmalıdır. Buna göre;}$$

$$W_y = W_{pl,y} \text{ (Sınıf 1 ve 2 kesitler için)}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1850000 \times 275}{313.1 \times 10^6}} = 1.28$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + 0.34(1.28 - 0.2) + 1.28^2 \right] = 1.50$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1.50 + \sqrt{1.50^2 - 1.28^2}} = 0.44 < 1.0 \text{ uygundur.}$$

Sonuç olarak,

$$M_{b,Rd} = 0.44 \times 462.5 = 203 \text{ kNm} > M_{ED}$$

Moment ve basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

Ek A yöntem 1'e göre Sınıf 1 ve 2 kesitler için etkileşim faktörleri aşağıdaki ifadelerle elde edilir. Kesitin z-z aksı etrafında moment oluşmadığından formülde z

indisli momentler dikkate alınmayacaktır. Dolayısıyla k_{yy} ve k_{zy} ’ yi hesaplamak yeterli olacaktır.

Etkileşim faktörlerinin elde edilmesi için gerekli parametreleri hesaplayalım.

$$C_{my,0} = 1 - 0.18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = 1 - 0.18 \times \frac{60000}{743000} = 0.986$$

$$\lambda_y = 2.22 \quad \lambda_z = 0.62 \quad \lambda_{maks.} = 2.22$$

$$\lambda_{LT,y} = 1.28$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} = \frac{7200}{60} \times \frac{133.5}{1678} = 9.55$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_z} = 1 - \frac{127.5}{7436} = 0.983$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}} = 0.986 + (1 - 0.986) \times \frac{\sqrt{9.55} \times 0.983}{1 + \sqrt{9.55} \times 0.983} = 0.995$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)}} = 0.995^2 \times \frac{0.983}{\sqrt{1 - \left(\frac{60}{9632} \right)}} = 0.976$$

$$\eta_y = \frac{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)}{1 - \chi_y \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)} = \frac{1 - \left(\frac{60}{743} \right)}{1 - 0.17 \left(\frac{60}{743} \right)} = 0.932$$

$$\eta_z = \frac{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)}{1 - \chi_z \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)} = \frac{1 - \left(\frac{60}{9632} \right)}{1 - 0.774 \left(\frac{60}{9632} \right)} = 0.999$$

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{1850}{1678} = 1.10 \leq 1.5$$

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = \frac{755.9}{495.7} = 1.53 \cong 1.5$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{60000}{3338000} = 0.018$$

$$b_{LT} = 0.5 a_{LT} \lambda_0^2 \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = 0 \quad (M_{z,Ed} = 0)$$

$$d_{LT} = 2a_{LT} \frac{\lambda_0}{0.1 + \lambda_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}} = 0 \quad (M_{z,Ed} = 0)$$

C_{ij} faktörleri;

$$\begin{aligned} C_{yy} &= 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{mak} - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{mak}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} \\ &= 1 + (1.10 - 1) \times \left[\left(2 - \frac{1.6}{1.10} \times 0.995^2 \times 2.22 - \frac{1.6}{1.10} \times 0.995^2 \times 2.22^2 \right) \times 0.018 - 0 \right] \\ &= 0.98 \geq \frac{1678}{1850} = 0.91 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{zy} &= 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{my}^2 \lambda_{mak}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} \\ &= 1 + (1.10 - 1) \times \left[\left(2 - 14 \frac{0.995^2 \times 2.22^2}{1.10^5} \right) \times 0.018 - 0 \right] \\ &= 0.925 \geq 0.6 \times \sqrt{\frac{1.10}{1.50}} \times \frac{1678}{1850} = 0.47 \end{aligned}$$

k_{ij} etkileşim faktörleri;

$$k_{yy} = 0.995 \times 0.976 \times \frac{0.932}{1 - 60/743} \times \frac{1}{0.98} = 1.01$$

$$k_{zy} = 0.995 \times 0.976 \times \frac{0.932}{1 - 60/743} \times \frac{1}{0.925} \times 0.6 \times \sqrt{\frac{1.10}{1.50}} = 0.547$$

Elde ettiğimiz etkileşim parametreleri formülündeki yerlerine koyarsak,

$$\frac{60}{0.17 \times 3338} + 1.01 \times \frac{72}{0.44 \times 462.5} = 0.46 \leq 1$$

$$\frac{60}{0.774 \times 3338} + 0.547 \times \frac{72}{0.27 \times 346} = 0.445 \leq 1$$

elde edilir.

Sonuç olarak HEA340 profili burkulma dayanımı eksenel basınç kuvveti ve moment tesiri altında yeterlidir.

Deplasman kontrolü:

$q = 0.65 \text{ kN/m}^2$ (Ortalama rüzgar yüklemesi)

$$f = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EI} = \frac{5}{384} \frac{(5 \times 0.65) \times 1390^4}{2100000 \times 27690} = 2.71 \text{ cm} < \frac{L}{500} = \frac{1390}{500} = 2.78 \text{ cm}$$

Kolon boyutlandırılmasında kesit dayanımından çok, eleman boyunun büyük olmasından dolayı sehim etkili olmuştur.

5.1.6 Boru gergi hesabı

5.1.6.1 Kesit özellikleri:

Gergi-1: Boru 355.6/6.3

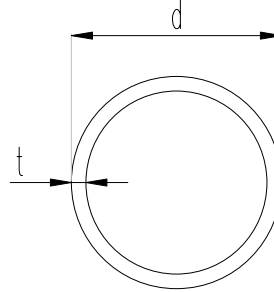
$$d = 355.6 \text{ mm}$$

$$t = 6.30 \text{ mm}$$

$$A = 69.13 \text{ cm}^2$$

$$I = 10547 \text{ cm}^4$$

$$W_{pl} = 768.75 \text{ cm}^3$$



Gergi-2: Boru 244.5/7.1

$$d = 244.5 \text{ mm}$$

$$t = 7.10 \text{ mm}$$

$$A = 52.95 \text{ cm}^2$$

$$I = 37.34 \text{ cm}^4$$

$$W_{pl} = 400.3 \text{ cm}^3$$

Gergi-3: Boru 193.7/4.5

$$d = 193.7 \text{ mm}$$

$$t = 4.5 \text{ mm}$$

$$A = 26.75 \text{ cm}^2$$

$$I = 1197.5 \text{ cm}^4$$

$$W = 161.1 \text{ cm}^3$$

Kesit tesirleri:

Gergi-1:

$$N_{c,Ed} = 85 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 293 \text{ kN}$$

$$M_{r,d} = 130 \text{ kNm}$$

Gergi-2:

$$N_{c,Ed} = 75 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 337 \text{ kN}$$

$$M_{r,d} = 68 \text{ kNm}$$

Gergi-3:

$$N_{c,Ed} = 80 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 337 \text{ kN}$$

$$M_{r,d} = 18 \text{ kNm}$$

Malzeme özellikleri:

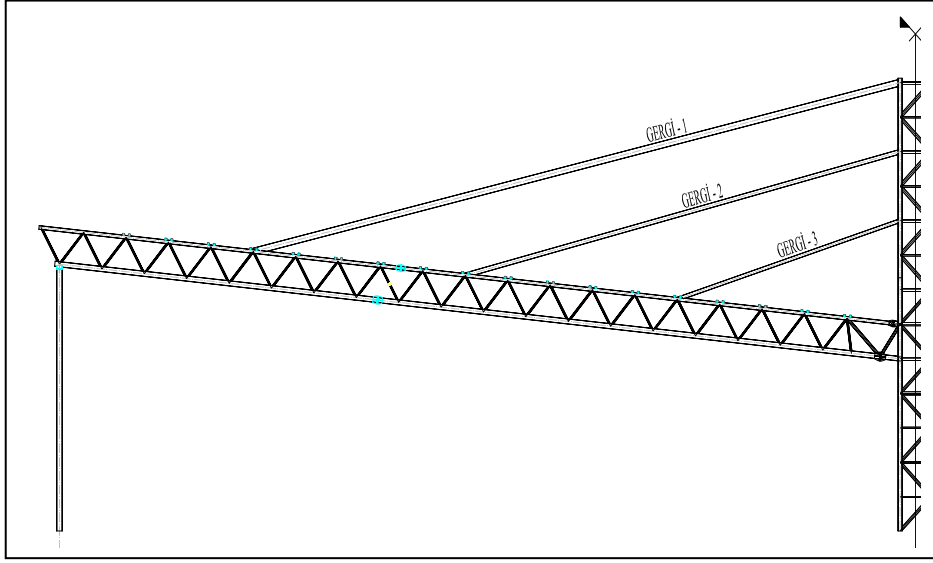
S235 çelikten sıcak hadde boru profil kullanılmıştır.

$$f_y = 235 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1.00$$

Sistemde kullanılan Gergi-2 ve Gergi-3 elemanları basınç aktaran ve ana taşıyıcı kiriş için de birer mesnet özelliği gören rijit elemanlardır. Ancak Gergi-1 elemanı, her ne kadar hesaplardan elde edilen yükler etkisinde yeterli gözükse de, yapı ömrü boyunca oluşabilecek etkiler karşısında, narinliği çok büyük olduğundan sorun yaratabilir. Bundan dolayı kiriş için bir mesnet vazifesi görmediği kabulü ile sistem

özölmüştür. Ancak eleman kapasitesini görmek açısından bu bölümde basınç hesabı yapılacaktır.



Şekil 5.20: Gerçi elemanların yerleşimi

Kesit sınıflandırması:

Gerçi-1;

$$\frac{d}{t} = \frac{355.6}{6.3} = 56.44$$

Başlık Sınıfı-3 için sınır değeri; $70 \varepsilon = 70$

$56.44 < 70$ Kesit Sınıfı 3

Gerçi-2;

$$\frac{d}{t} = \frac{244.5}{7.1} = 34.44$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değeri; $50 \varepsilon = 50$

$34.44 < 50$ Kesit Sınıfı 2

Gerçi-3;

$$\frac{d}{t} = \frac{193.7}{4.5} = 43.04$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değeri; $50 \varepsilon = 50$

$43.04 < 50$ Kesit Sınıfı 1

5.1.6.2 Kesit hesapları:

Kesitlerin basınç ve çekme kapasiteleri:

Gergi-1;

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6913 \times 235}{1.10} = 1477000 \text{ N} = 1477 \text{ kN} < N_{Ed}$$

Gergi-2;

$$N_{c,Rd} = \frac{5295 \times 235}{1.10} = 1131000 = 1131 \text{ kN} < N_{Ed}$$

Gergi-3;

$$N_{c,Rd} = \frac{2675 \times 235}{1.10} = 571000 = 571 \text{ kN} < N_{Ed}$$

Kesitlerin moment kapasiteleri:

Gergi-1;

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{768750 \times 235}{1.10} = 164.2 \times 10^6 \text{ N} = 164.2 \text{ kN} < M_{Ed}$$

Gergi-2;

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{400270 \times 235}{1.10} = 85.5 \times 10^6 \text{ N} = 85.5 \text{ kN} < M_{Ed}$$

Gergi-3;

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{161120 \times 235}{1.10} = 34.4 \times 10^6 \text{ N} = 34.4 \text{ kN} < M_{Ed}$$

Basınç etkisinde burkulma kapasitelerinin incelenmesi:

Gergi-1 :

Gergi elemanları her iki yönde de 2 uçtan mafsallı olduğundan düğüm noktaları arası mesafe burkulma boyu olarak alınacaktır.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3877 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 10547.2}{3877^2} = 145434 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{6913 \times 235}{1.45 \times 10^5}} = 3.34 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{85}{145} = 0.58 > 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} < 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma kapasitesi

hesaplanmalıdır.

$\alpha = 0.21$ (“ a ” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (3.34 - 0.2) + 3.34^2] = 6.42$$

$$\chi_y = \frac{1}{6.42 + \sqrt{6.42^2 - 3.34^2}} = 0.08$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.08 \times 1477 = 124 \text{ kN} > N_{ED}$$

uygun

Gergi-2 :

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2620 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 3733.8}{2620^2} = 112737 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{5295 \times 235}{1.13 \times 10^5}} = 3.32 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{75}{113} = 0.75 > 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} < 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma kapasitesi

hesaplanmalıdır.

$\alpha = 0.21$ (“ a ” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (3.32 - 0.2) + 3.32^2] = 6.35$$

$$\chi_y = \frac{1}{6.35 + \sqrt{6.35^2 - 3.32^2}} = 0.09$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.09 \times 1131 = 96 \text{ kN} > N_{ED}$$

uygun

Gergi-3 :

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 1380 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 1197.5}{1380^2} = 130 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{2675 \times 235}{1.3 \times 10^5}} = 2.20 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{80}{130} = 0.61 > 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} < 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma kapasitesi

hesaplanmalıdır.

$\alpha = 0.21$ (“ a ” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (2.20 - 0.2) + 2.20^2] = 3.12$$

$$\chi_y = \frac{1}{3.12 + \sqrt{3.12^2 - 2.20^2}} = 0.19$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.19 \times 571 = 108.5 \text{ kN} > N_{ED}$$

uygun

Moment etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

Gergi-2:

Eleman boyu ve etki eden yükler açısından en riskli durumda bulunan Gergi-2 elemanı için hesap yapılacaktır.

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} M_{pl,Rd}$$

$$r_1 = \frac{244.5}{2} = 122.25 \text{ mm}$$

$$r_2 = \frac{244.5}{2} - \frac{7.1}{2} = 118.7 \text{ mm}$$

$$I_t = \frac{\pi(r_2^4 - r_1^4)}{2} = \frac{\pi(122.25^4 - 118.7^4)}{2} = 7.48 \times 10^7 \text{ mm}^4 = 7467.8 \text{ cm}^4$$

$$G = 81000 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L_{cr}} \left(\sqrt{EI_z GI_t} \right) = \frac{\pi}{2620} \left(\sqrt{21000 \times 7467.8 \times 8100 \times 3733.8} \right)$$

$$= 156779 \text{ kNcm} = 1568 \text{ kNm} > M_{Ed}$$

uygun

$\lambda_{LT,0} = 0.4$ ve $\beta = 0.75$ olarak önerilmektedir.

$\alpha_{LT} = 0.21$ alınır. Buna göre;

$$\lambda_{LT,y} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{400270 \times 235}{1.56 \times 10^8}} = 0.24$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 [1 + 0.21(0.24 - 0.4) + 0.75 \times 0.24^2] = 0.51$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0.51 + \sqrt{0.51^2 - 0.24^2}} = 1.04 > 1.0 \text{ koşul sağlanmadı.}$$

Düzeltilme faktörünü de hesaplayalım,

$$k_c = 0.94$$

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) [1 - 2(\lambda_{LT} - 0.8)^2] = 1 - 0.5(1 - 0.94) [1 - 2(0.24 - 0.8)^2] = 0.988$$

$$\chi_{LT,mod} = \chi_{LT} / f = 1.04 / 0.988 = 1.012 > 1.0 \text{ koşul sağlanmadı. } \chi_{LT,mod} = 1 \text{ alınacak.}$$

Sonuç olarak,

$$M_{b,Rd} = 1 \times 85.5 = 85.5 \text{ kNm} > M_{Ed}$$

Moment ve basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

$$C_{my,0} = 1 - 0.18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = 1 - 0.18 \times \frac{75}{406} = 0.97$$

$$\lambda_y = \lambda_z = 1.75 \quad \lambda_{maks.} = 1.75$$

$$\lambda_{LT} = 0.24$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} = \frac{6800}{75} \times \frac{52.95}{305.42} = 15.72$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_z} = 1 - \frac{7468}{3734} = -1 < 0 \Rightarrow a_{LT} = 0 \text{ alınır.}$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}} = 0.97 + (1 - 0.97) \times \frac{\sqrt{15.72} \times 0}{1 + \sqrt{15.72} \times 0} = 0.97$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)}} = 0.97^2 \times \frac{0}{\sqrt{1 - \left(\frac{75}{406} \right)}} = 0$$

$$\eta_y = \eta_z = \frac{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)}{1 - \chi_y \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)} = \frac{1 - \left(\frac{75}{406} \right)}{1 - 0.28 \left(\frac{75}{406} \right)} = 0.81$$

$$w_y = w_z = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{400.27}{305.42} = 1.31 \leq 1.50$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{75000}{1131000} = 0.066$$

$$b_{LT} = 0.5 a_{LT} \lambda_0^2 \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = 0 \quad (M_{z,Ed} = 0)$$

$$d_{LT} = 2 a_{LT} \frac{\lambda_0}{0.1 + \lambda_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}} = 0 \quad (M_{z,Ed} = 0)$$

C_{ij} faktörleri;

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{mak}^2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{mak}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$= 1 + (1.31 - 1) \times \left[\left(2 - \frac{1.6}{1.31} \times 0.97^2 \times 1.75 - \frac{1.6}{1.31} \times 0.97^2 \times 1.75^2 \right) \times 0.066 - 0 \right]$$

$$= 0.93 \geq \frac{305.42}{400.27} = 0.76$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{my}^2 \lambda_{mak}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$= 1 + (1.31 - 1) \times \left[\left(2 - 14 \times \frac{0.97^2 \times 1.75^2}{1.31^5} \right) \times 0.066 - 0 \right]$$

$$= 0.83 \geq 0.6 \times \sqrt{\frac{1.31}{1.31}} \times \frac{305.42}{400.27} = 0.456$$

k_{ij} etkileşim faktörleri;

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - N_{ED} / N_{cr,y}} \frac{1}{C_{yy}}, \quad k_{yy} = 0.90 \times 0 \times \frac{0.81}{1 - 75 / 406} \times \frac{1}{0.93} = 0$$

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - N_{ED} / N_{cr,y}} \frac{1}{C_{zy}} 0.6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

$$k_{zy} = 0.97 \times 0 \times \frac{0.81}{1 - 75 / 406} \times \frac{1}{0.83} \times 0.6 \sqrt{\frac{1.31}{1.31}} = 0$$

Elde ettiğimiz etkileşim parametrelerini formüldeki yerlerine koyarsak,

$$\frac{75000}{0.28 \times 5295 \times 235 / 1.10} + 0 \times \frac{68 \times 10^6}{1 \times 4 \times 10^5 \times 235 / 1.10} = 0.23 < 1$$

uygun

5.1.7 Yan ve ön cephe kuşaklarının kesit hesabı

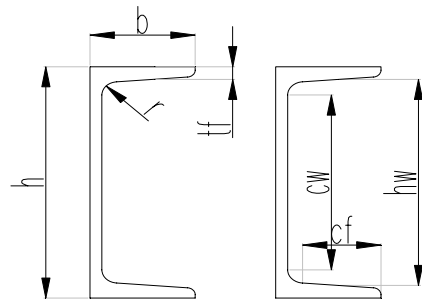
Yapıda mesnet açıklığı ve sistemde yüklenme konumuna göre 2 ayrı boyutta profil kullanılmıştır.

5.1.7.1 Yan cephe kuşakları

➤ Seçilen profil: UNP160

Kesit özellikleri:

$$\begin{aligned} b &= 65 \text{ mm} & A &= 24 \text{ cm}^2 \\ h &= 160 \text{ mm} & I_y &= 925 \text{ cm}^4 \\ t_f &= 10.5 \text{ mm} & W_{y,pl} &= 138 \text{ cm}^3 \\ t_w &= 7.5 \text{ mm} & r &= 10.5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Malzeme özellikleri:

S235 Çelikten Sıcak Hadde U profil

$$f_y = 235 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1.00$$

Eleman uç ve iç kuvvetleri:

1.35G+1.5Q_{rüzgar-X} kombinasyonu en olumsuz kesit tesirlerini oluşturmaktadır.

$$N_{ED} = 6,64 \text{ kN}$$

$$M_{ED} = 7,8 \text{ kNm}$$

Eleman sehim kontrolü:

$$Q_{rüzgar} = 3.3 \times (0.80 \times 0.8) = 2.11 \text{ kN/m}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{384} \frac{2.112 \times 500^4}{2100000 \times 925} = 0.885 \leq \frac{500}{300} = 1.67 \text{ cm}$$

Kesit sınıflandırması:

Basınç etkisindeki elemanlar için;

Başlık Sınıfı;

$$c = b - t_w - r = 65 - 7.5 - 10.5 = 47 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{47}{10.5} = 4.48$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer; $9\varepsilon = 9$

$$4.48 < 9 \text{ Kesit Sınıfı 1}$$

Gövde Sınıfı;

$$c = h - 2t_f - 2r = 160 - 2 \times 10.5 - 2 \times 10.5 = 118 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{118}{7.5} = 15.7$$

Gövde Sınıfı-1 için sınır değer; $33\varepsilon = 33$

$$15.7 < 33 \text{ Kesit Sınıfı 1}$$

Bütün kesit için kesit, Sınıf-1 olarak alınır.

Kesit hesapları:**Kesitin basınç kapasitesi:**

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2400 \times 235}{1.10} = 512727 \text{ N} = 513 \text{ kN} > N_{ED} \text{ kesit yeterlidir.}$$

Kesitin moment kapasitesi:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{138000 \times 235}{1.10} = 295 \times 10^5 \text{ Nmm} = 29.5 \text{ kNm} > M_{ED} \text{ kesit}$$

yeterlidir.

5.1.7.2 Ön cephe kuşakları**➤ Seçilen profil: UNP200****Kesit özellikleri:**

$$\begin{aligned} b &= 75 \text{ mm} & A &= 32.2 \text{ cm}^2 \\ h &= 200 \text{ mm} & I_y &= 1910 \text{ cm}^4 \\ t_f &= 11.5 \text{ mm} & W_{y,el} &= 191 \text{ cm}^3 \\ t_w &= 8.5 \text{ mm} & W_{y,pl} &= 228 \text{ cm}^3 \\ r &= 11.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Malzeme özellikleri:

S235 Çelikten Sıcak Hadde U profil

$$f_y = 235 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1.00$$

Eleman uç ve iç kuvvetleri:

1.35G+1.5Q_{rüzgar-Y} kombinasyonu en olumsuz kesit tesirlerini oluşturmaktadır.

$$N_{ED} = 12,06 \text{ kN}$$

$$M_{ED} = 12,35 \text{ kNm}$$

$$M_{ED} = 2,35 \text{ kNm}$$

Eleman sehim kontrolü:

$$Q_{rüzgar} = 3.3 \times (0.80 \times 0.8) = 2.11 \text{ kN/m}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{384} \frac{2.112 \times 746.3^4}{2100000 \times 1910} = 2.13 \leq \frac{746.3}{300} = 2.49 \text{ cm}$$

Kesit sınıflandırması:

Basınç etkisindeki elemanlar için;

Başlık Sınıfı;

$$c = b - t_w - r = 75 - 8.5 - 11.5 = 55 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{55}{11.5} = 4.78$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer; $9 \varepsilon = 9$

$4.78 < 9$ Kesit Sınıfı 1

Gövde Sınıfı;

$$c = h - 2t_f - 2r = 200 - 2 \times 11.5 - 2 \times 11.5 = 154 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{154}{8.5} = 18.12$$

Gövde Sınıfı-1 için sınır değer; $33 \varepsilon = 33$

$18.12 < 33$ Kesit Sınıfı 1

Bütün kesit için kesit, Sınıf-1 olarak alınır.

Kesit hesapları:

Kesitin basınç kapasitesi:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3220 \times 235}{1.10} = 687909 \text{ N} = 688 \text{ kN} > N_{ED} \text{ kesit yeterlidir.}$$

Kesitin moment kapasitesi:

Kesit sınıfı 1 veya 2 olan kesitler için;

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{228000 \times 235}{1.10} = 487 \times 10^5 \text{ Nmm} = 48.7 \text{ kNm} > M_{ED} \text{ kesit yeterlidir.}$$

5.1.8 Çatı ve düşey stabilite elemanlarının kesit hesapları

5.1.8.1 Düşey stabilite elemanlarının hesabı:

Kesit özellikleri:

Boru 165.1/3.2

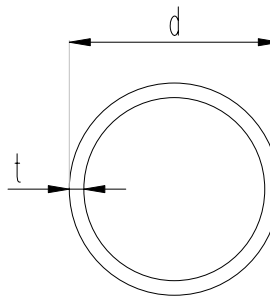
$$d = 165.1 \text{ mm}$$

$$t = 3.20 \text{ mm}$$

$$A = 16.28 \text{ cm}^2$$

$$I = 533.5 \text{ cm}^4$$

$$W_{pl} = 84 \text{ cm}^3$$



Kesit tesirleri:

$$N_{c,Ed} = 90 \text{ kN} (1.0G + 1.0Q + 1.0E_Y)$$

Malzeme özellikleri:

S235 çelikten sıcak hadde boru profil kullanılmıştır.

$$f_y = 235 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1.00$$

Kesit sınıflandırması:

$$d/t = \frac{165.1}{3.2} = 51.6$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer; $70\varepsilon = 70$

$51.6 < 70$ Kesit Sınıfı 1

DBYBHY' e göre en-kesit koşullarının incelenmesi:

Süneklik düzeyi normal sistemler için;

$$0.08 \frac{E_s}{\sigma_a} = 0.08 \times \frac{2100000}{2400} = 70$$

$$\frac{D}{t} = \frac{165.1}{3.2} = 51.6 \leq 70$$

uygun

Kesit hesapları:

Kesitin basınç kapasitesi:

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1628 \times 235}{1.10} = 347800 \text{ N} = 347.8 \text{ kN} < N_{Ed}$$

Basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 645 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 533.5}{645^2} = 266 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{1628 \times 235}{266000}} = 1.20 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{90}{266} = 0.34 > 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} < 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma kapasitesi

hesaplanmalıdır.

$\alpha = 0.21$ (“ a ” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (1.20 - 0.2) + 1.20^2] = 1.325$$

$$\chi_y = \frac{1}{1.325 + \sqrt{1.325^2 - 1.20^2}} = 0.483$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.483 \times 347.8 = 168 \text{ kN} > N_{ED}$$

uygun

DBYBHY madde 4.6.1.2' e göre kesit narinliğinin incelenmesi:

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{533.5}{16.28}} = 5.72 \text{ cm} \quad \lambda_x = \lambda_y = \frac{645}{5.72} = 113$$

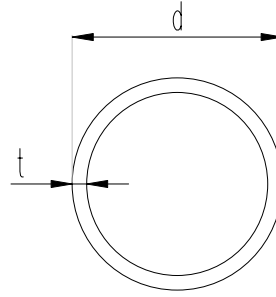
$$4.0 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 4.0 \sqrt{\frac{2100000}{2400}} = 118.32 \text{ cm} > \lambda_x = \lambda_y = 113 \text{ kesit uygundur.}$$

5.1.8.2 Çatı düzlemi stabilite elemanları:**Kesit özellikleri:****Boru 88.9/3.2**

$$d = 88.9 \text{ mm} \quad I = 79.21 \text{ cm}^4$$

$$t = 3.20 \text{ mm} \quad W_{pl} = 17.82 \text{ cm}^3$$

$$A = 8.62 \text{ cm}^2$$

**Kesit tesirleri:**

Çatı düzlemi stabilite elemanlarının SAP 2000 programı ile analizinde non-lineer analiz yaptırılarak, elemanların sadece çekme kuvveti etkisinde çalışması sağlanmıştır.

$$N_{t,Ed} = 88 \text{ kN} (1.0G+1.0Q+1.0E_Y)$$

Malzeme özellikleri:

S235 çelikten sıcak hadde boru profil kullanılmıştır.

$$f_y = 235 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1.00$$

DBYBHY' e göre en-kesit narinliğinin incelenmesi:

Çekme kuvveti etkisinde çalıştırılacak elemanlarda çubuk narinliğinin 250' den büyük olması gerekmektedir.

Boru profilin atalet yarıçapı, $i = 3.03 \text{ cm}$

$$\lambda = \frac{s_k}{i} = \frac{480}{3.03} = 158.4$$

uygun

Kesit hesapları:**Kesitin çekme kuvveti kapasitesi:**

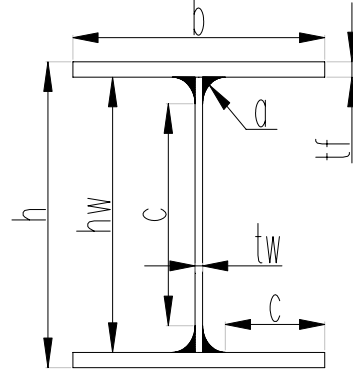
$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1245 \times 235}{1.10} = 265977 \text{ N} = 266 \text{ kN} < N_{Ed}$$

5.2 Model - 2

5.2.1 Ana taşıyıcı kiriş hesabı

5.2.1.1 Kesit özellikleri:

$$\begin{aligned} b &= 400 \text{ mm} & W_{el,y} &= 10603 \text{ cm}^3 \\ h &= 1000 \text{ mm} & W_{el,z} &= 1173.3 \text{ cm}^3 \\ t_f &= 22.0 \text{ mm} & W_{pl,y} &= 12075 \text{ cm}^3 \\ t_w &= 15 \text{ mm} & W_{pl,z} &= 1760 \text{ cm}^3 \\ a &= 10 \text{ mm} \\ A &= 320.3 \text{ cm}^2 \\ I_y &= 530139 \text{ cm}^4 \\ I_z &= 23467 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$



Malzeme özellikleri:

S235 Çelik plakadan yapma I profil,

$$f_y = 235 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1.00$$

Eleman uç ve iç kuvvetleri:

En olumsuz kesit tesirleri aşağıdaki kombinasyonla belirtilen değerlerde bulunmuştur.

Kısım-1:

$$1.35G + 1.35Q_{kar} + 1.35Q_{rüzgar-X}$$

$$N_{ED} = -70 \text{ kN}$$

$$V_{ED} = 150 \text{ kN}$$

$$M_{ED} = -1865 \text{ kNm}$$

$$1.35G + 1.35Q_{kar} + 1.35Q_{rüzgar-X}$$

$$N_{ED} = -745 \text{ kN}$$

$$M_{ED} = -577 \text{ kNm}$$

Kısım-2:

$$1.35G + 1.5Q_{kar}$$

$$N_{ED} = -1945 \text{ kN}$$

$$V_{ED} = -100 \text{ kN}$$

$$1.35 (\text{Öz yük} + \text{Kaplama}) + 1.50 \text{ Kar}_{\text{sol}}$$

$$N_{ED} = -1635 \text{ kN}$$

$$V_{ED} = -45 \text{ kN}$$

$$M_{ED} = 395 \text{ kNm}$$

Kesit sınıflandırması:

Basınç etkisindeki başlık elemanları için;

$$c = \frac{b - t_w}{2} - a = \frac{400 - 18}{2} - 12 = 179 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{182.5}{22} = 8.30$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değeri ; $9 \varepsilon = 9.00$

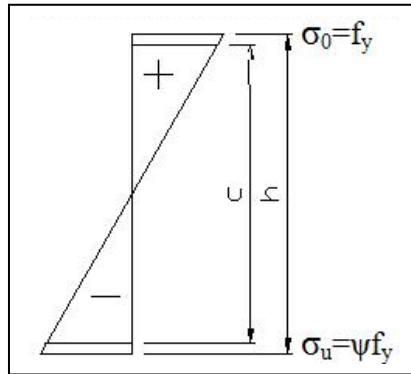
$$8.30 < 9.00 \text{ Kesit Sınıfı 1}$$

Gövde sınıflandırması:

Kiriş gövdesi basınç ve eğilme etkisindedir.

$$c = h - 2t_f - 2r = 1000 - 2 \times 22.0 - 2 \times 10 = 936 \text{ mm}$$

$$\frac{N}{N_{pl}} = \frac{N_{Ed}}{A f_y} = \frac{1980000}{31730 \times 235} = 0.266 \Rightarrow N = 0.266 A f_y$$



Şekil 5.21: Elastik hesapta eğilme momenti dağılımı

Bütün kesite basınç kuvvetinden dolayı $0.266 f_y$ değerinde homojen bir gerilme meydana gelecektir. Bu gerilmeye momentten dolayı oluşan gerilme de eklenecektir.

$$\sigma_0 = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} z$$

$$\text{Gövde alt kenarında: } \sigma_0 = f_y = 0.266 f_y + \frac{M}{I} z \Rightarrow \frac{M}{I} z = 0.734 f_y$$

$$\text{Gövde üst kenarında: } \sigma_0 = f_y = 0.266 f_y - \frac{M}{I} z = 0.266 f_y - 0.734 f_y = -0.468 f_y$$

Sonuç olarak; $\psi = \frac{-0.468 f_y}{f_y} = -0.468 > -1$

Kesit sınıfı 3 için

$$\psi > -1 \Rightarrow \frac{42\varepsilon}{0.67 + 0.33\psi} = \frac{42}{0.67 + 0.33(-0.468)} = 87.3 > \frac{c}{t_w} = \frac{936}{15} = 62.4$$

Bütün kesit için kesit, Sınıf-3 olarak alınır.

DBYBHY' e göre en-kesit koşullarının incelenmesi:

Süneklik düzeyi normal sistemler için;

Başlık için narinlik koşullarının incelenmesi:

$$0.5 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 0.5 \sqrt{\frac{2100000}{2400}} = 14.79 \text{ cm} > \frac{b}{2t} = \frac{40}{2 \times 2.2} = 9.10 \quad \text{uygun}$$

Gövde için narinlik koşullarının incelenmesi;

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| = \left| \frac{-198000}{2400 \times 320.3} \right| = 0.26 > 0.10 \text{ olduğundan;}$$

$$1.66 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \left(2.1 - \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| \right) = 1.66 \sqrt{\frac{2100000}{2400}} (2.1 - 0.26) = 90.35 > \frac{h}{t_w} = \frac{956}{15} = 63.7$$

5.2.1.2 Kesit hesapları:

Kesitin basınç kapasitesi:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{32030 \times 235}{1.10} = 6842000 \text{ N} = 6842 \text{ kN} > N_{ED} \text{ kesit yeterlidir.}$$

Kesitin moment kapasitesi:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10602800 \times 235}{1.10} = 227 \times 10^7 \text{ Nmm} = 2265 \text{ kNm} > M_{ED} \text{ kesit yeterlidir.}$$

Kesitin kesme kuvveti kapasitesi:

Yapma I profiller için kesme alanı;

$$A_v = \eta \Sigma (h_w t_w)$$

$$h_w = h - 2t_f = 1000 - 2 \times 22 = 956 \text{ mm}$$

$$A_v = 1.2 \times 956 \times 15 = 17208 \text{ mm}^2$$

Sonuç olarak;

$$V_{pl,Rd} = \frac{17208 \times \left(\frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1.10} = 2122487 \text{ N} = 2123 \text{ kN}$$

Gövde berkitmesi kullanılmayan elemanlarda kesme burkulması kontrolü:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad \eta = 1.0$$

$$72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \times \frac{1.00}{1.0} = 72$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{956}{15} = 63.73 < 72 \quad \text{uygun}$$

Moment ve basınç kuvveti etkileşiminin incelenmesi:

$$\frac{0.5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \times 956 \times 15 \times 235}{1.10} = 1684950 \text{ N} = 1685 \text{ kN} < N_{ED} \text{ koşulu sağlanmıyor.}$$

$$0.25 N_{pl,Rd} = 0.25 \times \frac{32030 \times 235}{1.10} = 1710693 \text{ N} = 1711 < N_{ED} \text{ koşulu sağlanmıyor.}$$

Dolayısıyla y-y eksen moment kapasitesine, eksenel basınç kuvvetinin etkisi incelenecektir.

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1980}{6842} = 0.29$$

$$a = (A - 2bt_f) / A = (320.3 - 2 \times 40 \times 2.2) / 320.3 = 0.45 \leq 0.5 \quad \text{uygun}$$

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \frac{1-n}{1-0.5a} = 2265 \times \frac{1-0.29}{1-0.5 \times 0.45} = 2075 > M_{ED} \quad \text{uygun}$$

Ayrıca Sınıf-3 kesitlerde;

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1.10} = 213.6 \text{ N/mm}^2 \text{ koşulu da sağlanmalıdır.}$$

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{1980000}{320300} = 6.18 \text{ N/mm}^2 < 213.6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{uygun}$$

Moment ve kesme kuvveti etkileşiminin incelenmesi:

$0.5 V_{pl,Rd} = 0.5 \times 2123 = 1061.5 \text{ kN} > V_{ED}$ koşul sağlanıyor. Kesme kuvvetinin moment dayanımına etkisi ihmal edilebilir.

Basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

Kiriş, gergi elemanlarının yarattığı mesnetlenme koşullarına göre incelenecektir. Buna göre; kuvvetli yönde burkulma boyunun en uzun olduğu Gergi-1 elemanına

kadar olan kısım ve basınç etkisinin en büyük olduğu Gergi-3 ile orta kolon arası mesafe incelenecektir.

Kısım-1:

$$L_{cr,y} = 2500 \text{ cm}$$

$$L_{cr,z} = \frac{5090}{20} = 255 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 530139.3}{2500^2} = 17580 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 23467}{255^2} = 77819 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{32030 \times 235}{17.6 \times 10^6}} = 0.65 > 0.2$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{32030 \times 235}{77.8 \times 10^6}} = 0.31 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{745}{17580} = 0.04 > 0.04$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,z}} = \frac{745}{77820} = 0.01 < 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr}} < 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma

kapasitesi hesaplanmalıdır.

Yapma I profiller için, y-y eksenı etrafında burkulma için “b eğrisi, z-z eksenı etrafında “c” eğrisi dikkate alınır.

y-y eksenine göre burkulma:

$\alpha = 0.34$ (“b” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \left[1 + 0.34 \times (0.65 - 0.2) + 0.65^2 \right] = 0.79$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.79 + \sqrt{0.79^2 - 0.65^2}} = 0.81, \chi \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

$N_{b,y,Rd} = 0.81 \times 6842 = 5542 \text{ kN} > N_{ED}$ kuvvetli ekseninde burkulma kapasitesi yeterlidir

z-z eksenine göre burkulma:

$\alpha = 0.49$ (“b” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_z = 0.5 \left[1 + 0.34 \times (0.31 - 0.2) + 0.31^2 \right] = 0.58$$

$$\chi_z = \frac{1}{0.58 + \sqrt{0.58^2 - 0.31^2}} = 0.94, \chi \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

$$N_{b,z,Rd} = 0.94 \times 6842 = 6432 \text{ kN} > N_{ED} \text{ zayıf ekseninde burkulma kapasitesi yeterlidir}$$

Kısım-2:

$$L_{cr,y} = 1260 \text{ cm}$$

$$L_{cr,z} = \frac{5090}{20} = 255 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 530139.3}{1260^2} = 69210 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 23467}{255^2} = 77819 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{32030 \times 235}{69.2 \times 10^6}} = 0.33 > 0.2$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{32030 \times 235}{77.8 \times 10^6}} = 0.31 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{1945}{69210} = 0.03 < 0.04$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,z}} = \frac{1945}{77820} = 0.03 < 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ koşulu sağlanmadığından, azaltılmış burkulma kapasitesi hesaplanmalıdır.

Yapma I profiller için, y-y ekseninde etrafında burkulma için “b” eğrisi, z-z ekseninde etrafında “c” eğrisi dikkate alınır.

y-y eksenine göre burkulma:

$$\alpha = 0.34 \text{ (“b” burkulma eğrisi için)}$$

$$\Phi_y = 0.5 \left[1 + 0.34 \times (0.33 - 0.2) + 0.33^2 \right] = 0.58$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.58 + \sqrt{0.58^2 - 0.33^2}} = 0.95, \chi \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.95 \times 6842 = 6441 \text{ kN} > N_{ED} \text{ kuvvetli ekseninde burkulma kapasitesi yeterlidir}$$

z-z eksenine göre burkulma:

$$\alpha = 0.49 \text{ (“b” burkulma eğrisi için)}$$

$$\Phi_z = 0.5 \left[1 + 0.49 \times (0.33 - 0.2) + 0.33^2 \right] = 0.58$$

$$\chi_z = \frac{1}{0.58 + \sqrt{0.58^2 - 0.33^2}} = 0.94, \chi \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

$$N_{b,z,Rd} = 0.94 \times 6842 = 6432 \text{ kN} > N_{ED} \text{ zayıf ekseninde burkulma kapasitesi yeterlidir}$$

Moment etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

Moment etkisinin ve burkulma boyunun daha büyük olduğu Kısım-1 için hesap yapılacaktır.

$$C_1 = 1.77$$

$$I_w = \frac{(h - t_f)^2 b^3 t_f}{24} = \frac{(100 - 2.2)^2 \times 40^3 \times 2.2}{24} = 5.61 \times 10^7 \text{ cm}^6$$

$$I_T = \frac{2bt_f^3 + (h - t_f)t_w^3}{3} = \frac{2 \times 40 \times 2.2^3 + (100 - 2.2) \times 1.5^3}{3} = 394 \text{ cm}^4$$

$$G = 81000 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{cr,y} = 1.77 \times \frac{\pi^2 \times 21000 \times 23467}{255^2} \left(\frac{5.61 \times 10^7}{23467} + \frac{255^2 \times 8100 \times 394}{\pi^2 \times 21000 \times 23467} \right)^{0.5}$$

$$= 6531492 \text{ kNcm} = 65315 \text{ kNm} > M_{Ed}$$

uygun

χ_{LT} : Yanal burulmalı burkulma azaltma faktörü

$\lambda_{LT,0} = 0.4$ ve $\beta = 0.75$ olarak önerilmektedir.

$\alpha_{LT} = 0.49$ alınır. Buna göre;

$$\lambda_{LT,y} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{12074900 \times 235}{65.3 \times 10^9}} = 0.21$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + 0.49(0.21 - 0.4) + 0.75 \times 0.21^2 \right] = 0.48$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0.47 + \sqrt{0.47^2 - 0.2^2}} = 1.07 > 1.0 \text{ koşul sağlanmadı.}$$

Düzeltilme faktörünü de hesaplayalım,

$$k_c = \frac{1}{1.33 - 0.33\psi} \text{ ve } \psi = 0 \quad k_c = \frac{1}{1.33} = 0.752$$

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) \left[1 - 2(\lambda_{LT} - 0.8)^2 \right] = 1 - 0.5(1 - 0.752) \left[1 - 2(0.2 - 0.8)^2 \right] = 0.964$$

$$\chi_{LT,mod} = \chi_{LT} / f = 1.07 / 0.964 = 1.04 > 1.0 \text{ koşul sağlanmadı. } \chi_{LT,mod} = 1 \text{ alınacak.}$$

Sonuç olarak,

$$M_{b,Rd} = 1 \times 2265 = 2265 \text{ kNm} > M_{ED}$$

Moment ve basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

EkA yöntem 1'e göre Sınıf 1 ve 2 kesitler için etkileşim faktörleri aşağıdaki ifadelerle elde edilir. Kesitin z-z aksı etrafında moment değerleri çok küçük olduğundan formülde z indisi momentler dikkate alınmayacaktır. Dolayısıyla k_{yy} ve k_{zy} 'yi hesaplamak yeterli olacaktır.

Etkileşim faktörlerinin elde edilmesi için gerekli parametreleri hesaplayalım.

$$C_{my,0} = 1 - 0.18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = 1 - 0.18 \times \frac{1865}{17580} = 0.99$$

$$\lambda_y = 0.65 \quad \lambda_z = 0.31 \quad \lambda_{maks.} = 0.65$$

$$\lambda_{LT} = 0.21$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} = \frac{186500}{70} \times \frac{320.3}{10603} = 80.48$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_z} = 1 - \frac{394}{23467} = 0.98$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}} = 0.99 + (1 - 0.99) \times \frac{\sqrt{80.48} \times 0.98}{1 + \sqrt{80.48} \times 0.98} = 0.99$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)}} = 0.999^2 \times \frac{0.98}{\sqrt{1 - \left(\frac{70}{17580} \right)}} = 0.99$$

$$\eta_y = \frac{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)}{1 - \chi_y \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)} = \frac{1 - \left(\frac{70}{17580} \right)}{1 - 0.81 \left(\frac{70}{17580} \right)} = 1.00$$

$$\eta_z = \frac{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)}{1 - \chi_z \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)} = \frac{1 - \left(\frac{70}{77820} \right)}{1 - 0.94 \left(\frac{70}{77820} \right)} = 1.00$$

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{12075}{10603} = 1.14 \leq 1.5$$

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = \frac{1760}{1173.3} = 1.50 \leq 1.5$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{70000}{32030 \times 235 / 1.10} = 0.01$$

$$b_{LT} = 0.5a_{LT}\lambda_0^2 \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT}M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = 0 \quad (M_{z,Ed} = 0)$$

$$d_{LT} = 2a_{LT} \frac{\lambda_0}{0.1 + \lambda_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my}\chi_{LT}M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz}M_{pl,z,Rd}} = 0 \quad (M_{z,Ed} = 0)$$

C_{ij} faktörleri;

$$\begin{aligned} C_{yy} &= 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{mak}^2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{mak}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} \\ &= 1 + (1.14 - 1) \times \left[\left(2 - \frac{1.6}{1.14} \times 0.999^2 \times 0.65 - \frac{1.6}{1.14} \times 0.999^2 \times 0.65^2 \right) \times 0.01 - 0 \right] \\ &= 1.00 \geq \frac{10603}{12075} = 0.88 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{zy} &= 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{my}^2 \lambda_{mak}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} \\ &= 1 + (1.14 - 1) \times \left[\left(2 - 14 \times \frac{0.999^2 \times 0.65^2}{1.14^5} \right) \times 0.01 - 0 \right] \\ &= 1.00 \geq 0.6 \times \sqrt{\frac{1.14}{1.5}} \times \frac{10603}{12075} = 0.77 \end{aligned}$$

k_{ij} etkileşim faktörleri;

$$\begin{aligned} k_{yy} &= C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{ED}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}} \\ k_{yy} &= 0.999 \times 1.00 \times \frac{1.00}{1 - \frac{70}{17580}} \times \frac{1}{1.00} = 0.98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{zy} &= C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{ED}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0.6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \\ k_{zy} &= 0.999 \times 1.00 \times \frac{1.00}{1 - \frac{70}{17580}} \times \frac{1}{1.00} \times 0.6 \sqrt{\frac{1.14}{1.5}} = 0.52 \end{aligned}$$

Elde ettiğimiz etkileşim parametreleri formüldeki yerlerine koyarsak,

$$\frac{70000}{0.81 \times 32030 \times \frac{235}{1.10}} + 0.98 \times \frac{1865 \times 10^6}{1 \times 1.06 \times 10^7 \times \frac{235}{1.10}} = 0.72 < 1$$

$$\frac{70000}{0.94 \times 32030 \times 235 / 1.10} + 1.00 \times \frac{1865 \times 10^6}{1 \times 1.06 \times 10^7 \times 235 / 1.10} = 0.05 < 1$$

Sonuç olarak yapma I profili burkulma dayanımı aksenal basınç kuvveti ve moment tesiri altında yeterlidir.

DBYBHY madde 4.4.1.1' e göre kesit kapasitesinin incelenmesi:

$$i_x = \sqrt{\frac{530139}{320.3}} = 40.68 \text{ cm} \quad i_y = \sqrt{\frac{23467}{320.3}} = 8.56$$

$$\lambda_x = \frac{2500}{40.68} = 61.46 \quad \lambda_y = \frac{250}{8.56} = 29.21$$

$\lambda_x > 20$ olduğundan kirişte burkulma hesabı yapılmalıdır.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 21000000}{2400}} = 131.4$$

$(\lambda_x; \lambda_y) \leq \lambda_p$ olduğundan;

$$20 < \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - 0.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^3$$

$$n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{61.46}{131.4} \right) - 0.2 \left(\frac{61.46}{131.4} \right)^3 = 2.04$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{50000} \left(\frac{61.46}{131.4} \right)^2 \right] \times 2400}{2.04} = 1176.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1.7 \times 1176.5 \times 320.3 = 640597 \text{ kg} = 6406 \text{ kN}$$

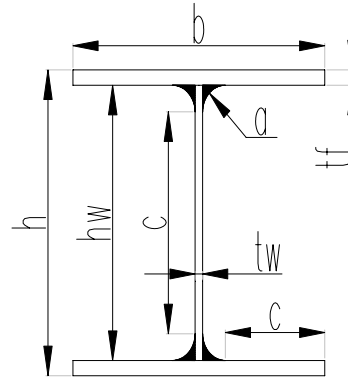
uygun

5.2.2 Orta kolon kesit hesabı

5.2.2.1 Kesit özellikleri:

Seçilen profil: 2PL.25.500+PL.15.1050

$b =$	500 mm	$A =$	407.5 cm ²
$h =$	1100 mm	$I_y =$	867099 cm ⁴
$t_f =$	25.0 mm	$I_z =$	52083 cm ⁴
$t_w =$	15 mm	$W_{el,y} =$	2083 cm ³
$a =$	12 mm	$W_{y,pl} =$	17637 cm ³



Eleman uç ve iç kuvvetleri:

En olumsuz kesit tesirleri aşağıdaki kombinasyonlarda belirtilen değerlerde bulunmuştur.

0.00 ~ +8.90 kotu arası;

$$1.35G+1.5Q_{kar}$$

$$N_{ED}= 2230 \text{ kN}$$

$$1.35G+1.35Q_{kar}+1.35Q_{rüzgar-X}$$

$$N_{ED}= 1085 \text{ kN}$$

$$M_{ED}= 2270 \text{ kNm}$$

$$V_{ED}= 60 \text{ kN}$$

$$1.0G+1.0Q_{kar}+1.0E_Y$$

$$N_{ED}= 740 \text{ kN}$$

$$M_{ED}= 2100 \text{ kNm}$$

$$V_{ED}= 310 \text{ kN}$$

+8.90 ~ +23.40 kotu arası;

$$1.35G+1.5Q_{kar}$$

$$N_{ED}= 1497 \text{ kN}$$

$$1.35G+1.5Q_{kar}$$

$$N_{ED}= 1051 \text{ kN}$$

$$M_{ED}= 1991 \text{ kNm}$$

$$V_{ED}= 477 \text{ kN}$$

$$1.35G+1.35Q_{kar}+1.35Q_{rüzgar-X}$$

$$N_{ED}= 210 \text{ kN}$$

$$M_{ED}= 2965 \text{ kNm}$$

$$V_{ED}= 822 \text{ kN}$$

Malzeme özellikleri:

S235 Çelik plakadan yapma I profil,

$$f_y = 235 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1.00$$

Kesit sınıflandırması:**Başlık sınıflandırması:**

Basınç etkisindeki elemanlar için;

$$c = \frac{b-t_w}{2} - r = \frac{500-15}{2} - 12 = 230.5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{230.5}{25} = 9.22$$

Başlık Sınıfı-2 için sınır değer ; $10\varepsilon = 10.00$

$9.22 < 10.00$ Kesit Sınıfı 2

Gövde Sınıflandırması:

Kolon gövdesi basınç etkisindedir.

$$c = h - 2t_f - 2r = 1100 - 2 \times 25 - 2 \times 12 = 1026 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{1026}{15} = 68.4$$

Gövde Sınıfı-3 için sınır değer ; $42 \varepsilon = 42.00$

$68.4 > 42.00$ Kesit Sınıfı 4

Bütün kesit için kesit sınıfı 4 alınır. Kesit elastik bölgede çalışacaktır. Dolayısıyla azaltılmış en kesitin mukavemet değerleri belirlenmelidir.

Başlık etkili genişliği:

Başlık homojen basınç gerilmesi altındadır.

$$\Psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1.00 \Rightarrow k_\sigma = 0.43 \text{ alınır. (Başlık tek taraftan mesnetlidir.)}$$

Başlık levhasının narinliği; $\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t_f}{28.4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}}$ formülü ile elde edilecektir.

Başlık tek taraftan mesnetli olduğundan; $\bar{b} = c = 230.5 \text{ mm}$ olacaktır.

$$\bar{\lambda}_p = \frac{230.5/25}{28.4 \times 1.00 \times \sqrt{0.43}} = 0.495 < 0.673 \Rightarrow \rho = 1.00 \text{ alınır.}$$

$b_{eff} = \rho \bar{b} = 1 \times 230.5 = 230.5$ (Başlık sınıfı 2 olduğundan başlık kesitinin küçültülmesine gerek olmamıştır.)

Gövde etkili genişliği:

Gövde homojen basınç gerilmesi altındadır.

$$\Psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1.00 \Rightarrow k_\sigma = 4 \text{ alınır. (Gövde iki taraftan mesnetlidir.)}$$

Gövde levhasının narinliği; $\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t_w}{28.4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}}$ formülü ile elde edilecektir.

Gövde çift taraftan mesnetli olduğundan; $\bar{b} = c = 1026 \text{ mm}$ olacaktır.

$$\bar{\lambda}_p = \frac{1026/15}{28.4 \times 1.00 \times \sqrt{4}} = 1.204 > 0.673 \Rightarrow \rho = (\bar{\lambda}_p - 0.22) / \bar{\lambda}_p^2 \text{ formülü ile elde}$$

edilecektir.

$$\rho = \frac{(1.204 - 0.22)}{1.204^2} = 0.679$$

$$b_{eff} = \rho \bar{b} = 0.679 \times 1026 = 696.3$$

$$\Psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1.00 \text{ olduğundan } b_{w,e,1} = b_{w,e,2} = 0.5b_{eff} = 348.17 \text{ mm olacaktır. Gövde}$$

sınıfı 4 olduğundan kesit küçültülmüştür. Kesitin yeni durumuna göre mukavemet değerlerini hesaplayalım.

5.2.2.2 Kesit hesapları:

Kesitin basınç kapasitesi:

Kesit sınıfı 4 kesitler için;

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{35445 \times 235}{1.10} = 7572300 \text{ N} = 7572.3 \text{ kN} < N_{Ed} \quad \text{uygun}$$

Kesitin moment kapasitesi:

Kesit sınıfı 4 olan kesitler için;

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{15665000 \times 235}{1.10} = 3347 \times 10^6 \text{ N} = 3347 \text{ kNm} < M_{Ed}$$

Kesitin kesme kuvveti kapasitesi:

Kesit sınıfı 4 olduğundan, kesitin elastik kesme kuvveti kapasitesi incelenmelidir.

$$\frac{A_f}{A_w} = \frac{500 \times 25}{696.3 \times 15} = 1.2 > 0.6$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{822000}{696.3 \times 15} = 78.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})} = \frac{78.7}{235 (\sqrt{3} \times 1.10)} = 0.64 < 1.0 \quad \text{uygun}$$

Gövde berkitmesi kullanılmayan elemanlarda kesme burkulması kontrolü:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad \eta = 1.0$$

$$72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \times \frac{1.00}{1.0} = 72$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{1050}{15} = 70 < 72 \text{ olduğundan kesme burkulması hesabına gerek yoktur. Ancak}$$

mesnet noktalarında berkitmeler eklenerek kesitin kesme güvenliği artırılacaktır.

Moment ve basınç kuvveti etkileşiminin incelenmesi:

Kesit sınıfı 4 elemanlarda;

$$\sigma_{Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{2230000}{35445} = 62.91 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1.10} = 216.6 \text{ N/mm}^2 > 62.91 \text{ N/mm}^2 \quad \text{uygun}$$

Ayrıca normal kuvvet ve moment etkisi için;

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M_0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{eff,y,min} f_y / \gamma_{M_0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{eff,z,min} f_y / \gamma_{M_0}} \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

$$\frac{1085000}{35445 \times 235 / 1.10} + \frac{2270 \times 10^6 + 0}{15664910 \times 235 / 1.10} + 0 = 0.82 < 1.0$$

uygun

$$\frac{210000}{35445 \times 235 / 1.10} + \frac{2965 \times 10^6 + 0}{15664910 \times 235 / 1.10} + 0 = 0.91 < 1.0$$

uygun

Moment basınç etkileşimi bulunmamaktadır.

Basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

Kolonlar, çatı kirişinin mesnetlendiği + 8800 kotunda zayıf yönde merkezi çaprazlı perdelerle tutulmuştur. Ayrıca +16.20 ve +23.40 kotlarında kolonlar arasına yerleştirilen elemanlarla, kolonun zayıf yönde burkulma boyunun azaltılması amaçlanmıştır. Bu durumda kolonun +8800 kotu hizasına kadar “yanal ötelenmesi önlenmiş” daha üst kotlarda ise “yanal ötelenmesi önlenmemiş” sistem kabulü ile kritik burkulma boyları dikkate alınacaktır.

Kolonun kuvvetli olduğu yönde, kiriş açıklığına bağlanan gergi boruları rijit elemanlar olmasına karşın, bağlı olduğu kirişler de hareket ettiğinden, kolonun yatay hareketinin tam olarak engellendiği söylenemez. Dolayısı ile sistem, çerçeve düzleminde “yanal ötelenmesi önlenmemiş sistem” olarak ele alınıp kritik burkulma boyları bu duruma göre hesaplanacaktır. Burkulma boyları için TS. 648 dikkate alınmıştır. Buna göre

- $\pm 0.00 \sim +8800$ kotları arası;

$$L_{cr} = K \cdot s_k$$

$$L_{cr,y} = 1.2 \times 880 = 1056 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 8.80 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 861570}{1056^2} = 160133 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 52083.3}{880^2} = 13940 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{35445 \times 235}{160 \times 10^6}} = 0.23 > 0.2$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{35445 \times 235}{13.94 \times 10^6}} = 0.77 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{2230}{160133} = 0.01 < 0.04$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,z}} = \frac{2230}{13940} = 0.16 > 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr_z}} < 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma

kapasitesi hesaplanmalıdır.

Yapma I profiller için, y-y eksenini etrafında burkulma için “b”, z-z eksenini etrafında burkulma için “c” burkulma eğrileri dikkate alınır.

y-y eksenine göre burkulma:

$\alpha = 0.34$ (“b” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \left[1 + 0.34 \times (0.23 - 0.2) + 0.23^2 \right] = 0.53$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.53 + \sqrt{0.53^2 - 0.23^2}} = 0.99, \chi \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

$N_{b,z,Rd} = 0.99 \times 7572 = 7496 \text{ kN} > N_{ED}$ kuvvetli ekseninde burkulma kapasitesi yeterlidir

z-z eksenine göre burkulma:

$\alpha = 0.49$ (“c” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_z = 0.5 \left[1 + 0.49 \times (0.77 - 0.2) + 0.77^2 \right] = 0.94$$

$$\chi_z = \frac{1}{0.94 + \sqrt{0.94^2 - 0.77^2}} = 0.68, \chi \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

$N_{b,z,Rd} = 0.68 \times 7572 = 5119 \text{ kN} > N_{ED}$ zayıf ekseninde burkulma kapasitesi yeterlidir

▪ +8800 ~ +23400 kotları arası;

$$L_{cr} = K \cdot S_k$$

$L_{cr,y} = 1.2 \times 740 = 888 \text{ cm}$ (rijit gergi boruları ile tutulu en büyük boy, yanal ötelenmesi önlenmemiş)

$L_{cr,z} = 1.2 \times 740 = 880 \text{ cm}$ (+16.20 ve +23.40 kotlarında tutulu en büyük boy, yanal ötelenmesi önlenmemiş)

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 861570}{888^2} = 226456 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 52083.3}{880^2} = 13690 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{35445 \times 235}{226.5 \times 10^6}} = 0.19 < 0.2$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{35445 \times 235}{13.69 \times 10^6}} = 0.78 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{1497}{226456} = 0.01 < 0.04$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,z}} = \frac{1497}{13690} = 0.11 > 0.04$$

$$\lambda_z \leq 0.2 \text{ ve } \frac{N_{ED}}{N_{cr_z}} < 0.04 \text{ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma}$$

kapasitesi hesaplanmalıdır.

Yapma I profiller için, z-z eksenini etrafında burkulma için “c” burkulma eğrileri dikkate alınır.

z-z eksenine göre burkulma:

$$\alpha = 0.49 \text{ (“c” burkulma eğrisi için)}$$

$$\Phi_z = 0.5 \left[1 + 0.49 \times (0.78 - 0.2) + 0.78^2 \right] = 0.95$$

$$\chi_z = \frac{1}{0.95 + \sqrt{0.95^2 - 0.78^2}} = 0.67, \chi \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

$$N_{b,z,Rd} = 0.67 \times 7572 = 5109 \text{ kN} > N_{ED} \text{ zayıf ekseninde burkulma kapasitesi yeterlidir}$$

Moment etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{eff} f_y}{\gamma_{M_1}} \text{ (Kesit sınıfı 4 olan elemanlar için)}$$

$$C_1 = 1.132$$

$$I_w = \frac{(h - t_f)^2 b^3 t_f}{24} = \frac{(110 - 2.5)^2 \times 50^3 \times 2.5}{24} = 1.50 \times 10^8 \text{ cm}^6$$

$$I_T = \frac{2bt_f^3 + (h - t_f)t_w^3}{3} = \frac{2 \times 50 \times 2.5^3 + (110 - 2.5) \times 1.5^3}{3} = 642 \text{ cm}^4$$

$$G = 81000 \text{ N/mm}^2$$

- $\pm 0.00 \sim +8800$ kotları arası;

$$M_{cr,y} = 1.132 \times \frac{\pi^2 \times 21000 \times 52083.3}{880^2} \left(\frac{1.50 \times 10^8}{52083.3} + \frac{880^2 \times 8100 \times 642}{\pi^2 \times 21000 \times 52083.3} \right)^{0.5}$$

$$= 1409180 \text{ kNcm} = 14092 \text{ kNm}$$

$$\Phi = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \lambda_{LT}^2 \right]$$

$\lambda_{LT,0} = 0.4$ ve $\beta = 0.75$ olarak önerilmektedir.

z-z eksenine göre burkulma:

$$\lambda_{LT,y} = \sqrt{\frac{W_{eff} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{15665000 \times 235}{1.41 \times 10^{10}}} = 0.51$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + 0.34(0.51 - 0.4) + 0.75 \times 0.51^2 \right] = 0.62$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0.62 + \sqrt{0.62^2 - 0.51^2}} = 0.96$$

$$\chi_{LT} \leq 1.0 \quad \text{ve} \quad \chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = \frac{1}{0.51^2} = 3.85$$

uygun

Azaltma katsayısı için düzeltme faktörünü hesaplayalım,

$$\psi = 0.90 \Rightarrow k_c = \frac{1.0}{1.33 - 0.33\psi} = 0.97$$

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) \left[1 - 2(\lambda_{LT} - 0.8)^2 \right] = 1 - 0.5(1 - 0.97) \left[1 - 2(0.51 - 0.8)^2 \right] = 0.995$$

Sonuç olarak,

$$M_{b,Rd} = 0.995 \times 3347 = 3330 \text{ kNm} > M_{ED} = 2270$$

- $+8800 \sim +23400$ kotları arası;

$$M_{cr,y} = 1.132 \times \frac{\pi^2 \times 21000 \times 52083.3}{888^2} \left(\frac{1.50 \times 10^8}{52083.3} + \frac{888^2 \times 8100 \times 642}{\pi^2 \times 21000 \times 52083.3} \right)^{0.5}$$

$$= 1385347 \text{ kNcm} = 13853 \text{ kNm}$$

$$\Phi = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \lambda_{LT}^2 \right]$$

$\lambda_{LT,0} = 0.4$ ve $\beta = 0.75$ olarak önerilmektedir.

z-z eksenine göre burkulma:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{15665000 \times 235}{1.39 \times 10^{10}}} = 0.52$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + 0.34(0.52 - 0.4) + 0.75 \times 0.52^2 \right] = 0.62$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0.62 + \sqrt{0.62^2 - 0.52^2}} = 0.95$$

$$\chi_{LT} \leq 1.0 \quad \text{ve} \quad \chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = \frac{1}{0.52^2} = 3.85$$

uygun

Azaltma katsayısı için düzeltme faktörünü hesaplayalım,

$$\psi = 0.90 \Rightarrow k_c = \frac{1.0}{1.33 - 0.33\psi} = 0.97$$

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c)[1 - 2(\lambda_{LT} - 0.8)^2] = 1 - 0.5(1 - 0.97)[1 - 2(0.52 - 0.8)^2] = 0.987$$

Sonuç olarak,

$$M_{b,Rd} = 0.987 \times 3347 = 3305 \text{ kNm} > M_{ED} = 2965$$

Moment ve basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

EkA yöntem 1'e göre Sınıf 4 kesitler için etkileşim faktörleri aşağıdaki ifadelerle elde edilir. Kesitin z-z aksı etrafındaki moment çok küçük olduğundan formülde z indisli momentler dikkate alınmayacaktır. Dolayısıyla k_{yy} ve k_{zy} ' yi hesaplamak yeterli olacaktır.

- $\pm 0.00 \sim +8800$ kotları arası;

Etkileşim faktörlerinin elde edilmesi için gerekli parametreleri hesaplayalım.

$$C_{my,0} = 1 - 0.18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = 1 - 0.18 \times \frac{1084}{160133} = 0.999$$

$$\lambda_y = 0.23 \quad \lambda_z = 0.77 \quad \lambda_{maks.} = 0.77$$

$$\lambda_{LT,y} = 0.64$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} = \frac{2270}{1084} \times \frac{35445}{15665} = 4.74$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_z} = 1 - \frac{642}{52083.3} = 0.99$$

Elastik burulmalı burkulma kuvveti;

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left(GI_T + \frac{\pi^2 EI_w}{l_T} \right)$$

$$i_0^2 = \sqrt{\frac{I_y}{A}} + \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{861570}{354.45}} + \sqrt{\frac{52083}{354.45}} = 61.42 \text{ cm}^2$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{61.42} \left(8100 \times 642 + \frac{\pi^2 \times 21000 \times 1.50 \times 10^8}{1056^2} \right) = 539941 \text{ kN}$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}} = 0.999 + (1 - 0.999) \times \frac{\sqrt{4.74} \times 0.99}{1 + \sqrt{4.74} \times 0.99} = 1.0$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left[\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}} \right) \right]}} = 1^2 \times \frac{0.99}{\sqrt{\left[\left(1 - \frac{1084}{13940} \right) \left(1 - \frac{1084}{539941} \right) \right]}} = 0.99$$

$$\eta_y = \frac{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)}{1 - \chi_y \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)} = \frac{1 - \left(\frac{1084}{160133} \right)}{1 - 0.99 \left(\frac{1084}{160133} \right)} = 0.99$$

$$\eta_z = \frac{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)}{1 - \chi_z \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)} = \frac{1 - \left(\frac{1084}{13940} \right)}{1 - 0.68 \left(\frac{1084}{13940} \right)} = 0.92$$

$$w_y = \frac{W_{eff,y}}{W_{el,y}} = \frac{15665}{15765} = 0.99 \leq 1.5$$

$$w_z = \frac{W_{el,z}}{W_{el,z}} = \frac{2083}{2083} = 1.00 \leq 1.5$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{1084}{7572} = 0.143$$

$$b_{LT} = 0.5 a_{LT} \lambda_0^2 \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = 0 \quad (M_{z,Ed} = 0)$$

$$d_{LT} = 2 a_{LT} \frac{\lambda_0}{0.1 + \lambda_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}} = 0 \quad (M_{z,Ed} = 0)$$

C_{ij} faktörleri;

$$\begin{aligned} C_{yy} &= 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{mak} - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{mak}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} \\ &= 1 + (0.99 - 1) \times \left[\left(2 - \frac{1.6}{0.99} \times 1^2 \times 0.77 - \frac{1.6}{0.99} \times 1^2 \times 0.77^2 \right) \times 0.143 - 0 \right] \\ &= 1.0 \geq \frac{15765}{15664} = 1.01 \end{aligned}$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \times \frac{C_{my}^2 \lambda_{mak}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$= 1 + (0.99 - 1) \times \left[\left(2 - 14 \times \frac{1^2 \times 0.77^2}{0.99^5} \right) \times 0.143 - 0 \right]$$

$$= 1.01 \geq 0.6 \times \sqrt{\frac{0.99}{1.0}} \times \frac{15765}{15664} = 1.01$$

k_{ij} etkileşim faktörleri;

$$k_{yy} = 1 \times 0.99 \times \frac{0.97}{1 - 1084 / 160133} = 0.99$$

$$k_{zy} = 1 \times 0.99 \times \frac{0.92}{1 - 1084 / 160133} = 0.91$$

Elde ettiğimiz etkileşim parametreleri formüldeki yerlerine koyarsak,

$$\frac{1084}{0.23 \times 7572} + 0.99 \times \frac{2270}{0.9 \times 3347} = 0.89 \leq 1 \quad \text{uygun}$$

$$\frac{1084}{0.23 \times 15696} + 0.91 \times \frac{2270}{0.90 \times 4686} = 0.21 \leq 1 \quad \text{uygun}$$

elde edilir.

Sonuç olarak yapma I profili $\pm 0.00 \sim + 8800$ burkulma dayanımı eksenel basınç kuvveti ve moment tesiri altında yeterlidir.

- $+8800 \sim +23400$ kotları arası;

Etkileşim faktörlerinin elde edilmesi için gerekli parametreleri hesaplayalım.

$$C_{my,0} = 1 - 0.18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = 1 - 0.18 \times \frac{1051}{160133} = 0.999$$

$$\lambda_y = 0.19 \quad \lambda_z = 0.78 \quad \lambda_{maks.} = 0.78$$

$$\lambda_{LT,y} = 0.64$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} = \frac{1999000}{210} \times \frac{35445}{15665000} = 4.29$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_z} = 1 - \frac{642}{52083.3} = 0.99$$

Elastik burulmalı burkulma kuvveti;

$$i_0^2 = \sqrt{\frac{I_y}{A}} + \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{861570}{354.45}} + \sqrt{\frac{52083}{354.45}} = 61.42 \text{ cm}^2$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{61.42} \left(8100 \times 642 + \frac{\pi^2 \times 21000 \times 1.50 \times 10^8}{888^2} \right) = 728518 \text{ kN}$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}} = 0.999 + (1 - 0.999) \times \frac{\sqrt{4.29} \times 0.99}{1 + \sqrt{4.29} \times 0.99} = 1.0$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left[\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}} \right) \right]}} = 1^2 \times \frac{0.99}{\sqrt{\left[\left(1 - \frac{1051}{13690} \right) \left(1 - \frac{1051}{729518} \right) \right]}} = 0.99$$

$$\eta_y = \frac{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)}{1 - \chi_y \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)} = \frac{1 - \left(\frac{1051}{226456} \right)}{1 - 1 \left(\frac{1051}{226456} \right)} = 1$$

$$\eta_z = \frac{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)}{1 - \chi_z \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)} = \frac{1 - \left(\frac{1051}{13690} \right)}{1 - 0.67 \left(\frac{1051}{13690} \right)} = 0.92$$

$$w_y = \frac{W_{eff,y}}{W_{el,y}} = \frac{15665}{15765} = 0.99 \leq 1.5$$

$$w_z = \frac{W_{el,z}}{W_{el,z}} = \frac{2083}{2083} = 1.00 \leq 1.5$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{1051}{7572} = 0.139$$

$$b_{LT} = 0.5 a_{LT} \lambda_0^2 \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = 0 \quad (M_{z,Ed} = 0)$$

$$d_{LT} = 2 a_{LT} \frac{\lambda_0}{0.1 + \lambda_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}} = 0 \quad (M_{z,Ed} = 0)$$

C_{ij} faktörleri;

$$\begin{aligned} C_{yy} &= 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{mak} - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{mak}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} \\ &= 1 + (0.99 - 1) \times \left[\left(2 - \frac{1.6}{0.99} \times 1^2 \times 0.78 - \frac{1.6}{0.99} \times 1^2 \times 0.78^2 \right) \times 0.139 - 0 \right] \\ &= 1.0 \geq \frac{15765}{15664} = 1.01 \end{aligned}$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \times \frac{C_{my}^2 \lambda_{mak}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$= 1 + (0.99 - 1) \times \left[\left(2 - 14 \times \frac{1^2 \times 0.78^2}{0.99^5} \right) \times 0.139 - 0 \right]$$

$$= 1.01 \geq 0.6 \times \sqrt{\frac{0.99}{1.0}} \times \frac{15765}{15664} = 1.01$$

k_{ij} etkileşim faktörleri;

$$k_{yy} = 1 \times 0.99 \times \frac{1}{1 - 1051 / 226456} = 0.99$$

$$k_{zy} = 1 \times 0.99 \times \frac{0.92}{1 - 1051 / 226456} = 0.91$$

Elde ettiğimiz etkileşim parametreleri formüldeki yerlerine koyarsak,

$$\frac{1051}{1 \times 7572} + 0.99 \times \frac{1999}{0.9 \times 3347} = 0.79 \leq 1 \quad \text{uygun}$$

$$\frac{1051}{1 \times 7572} + 0.91 \times \frac{1991}{0.90 \times 3347} = 0.21 \leq 1 \quad \text{uygun}$$

elde edilir.

Sonuç olarak yapma I profili + 8800 ~ + 23400 burkulma dayanımı eksenel basınç kuvveti ve moment tesiri altında yeterlidir.

Bütün kesit için burkulma hesabı yapıldı ve kesit yeterli bulundu.

DBYBHY madde 4.4.1.1' e göre kesit kapasitesinin incelenmesi:

$\pm 0.00 \sim + 5800$ kotu arası h_1 yüksekliğine göre elde edilen mukavemet değerleriyle kontrol edilecektir.

$$i_x = \sqrt{\frac{867099}{354.5}} = 49.46 \text{ cm} \quad i_y = \sqrt{\frac{52083}{354.5}} = 12.12$$

$$\lambda_x = \frac{1056}{49.46} = 21.35 \quad \lambda_y = \frac{880}{12.12} = 72.61$$

$\lambda_x > 20$ ve $\lambda_y > 20$ olduğundan kolonda burkulma hesabı yapılmalıdır.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 2100000}{2400}} = 131.4$$

$(\lambda_x; \lambda_y) \leq \lambda_p$ olduğundan;

$$20 < \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - 0.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^3$$

$$n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{72.61}{131.4} \right) - 0.2 \left(\frac{72.61}{131.4} \right)^3 = 2.16$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{74000} \left(\frac{72.61}{131.4} \right)^2 \right] \times 2400}{2.16} = 1111 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1.7 \times 1111 \times 354.5 = 669608 \text{ kg} = 6696 \text{ kN}$$

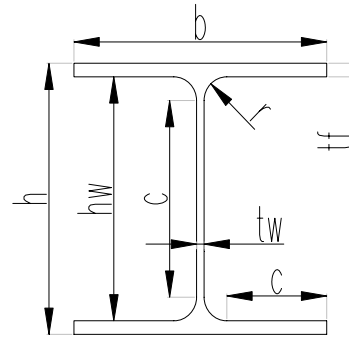
uygun

5.2.3 Ara kiriş kesit hesabı

5.2.3.1 Kesit özellikleri:

Seçilen profil: HEA 300

$$\begin{aligned} b &= 300 \text{ mm} & A &= 112.5 \text{ cm}^2 \\ h &= 290 \text{ mm} & I_y &= 17285 \text{ cm}^4 \\ t_f &= 14.0 \text{ mm} & W_{y,el} &= 1192 \text{ cm}^3 \\ t_w &= 8.5 \text{ mm} & W_{y,pl} &= 1392 \text{ cm}^3 \\ r &= 27 \text{ mm} \end{aligned}$$



Eleman uç ve iç kuvvetleri:

En olumsuz kesit tesirleri aşağıdaki kombinasyonlarda belirtilen değerlerde bulunmuştur.

$$1.0G + 1.0Q_{kar} + 1.0E_Y$$

$$N_{ED} = 400 \text{ kN (basınç)}$$

Malzeme özellikleri:

S275 Çelik HEA profil,

$$f_y = 235 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92$$

Kesit sınıflandırması:

Basınç etkisindeki elemanlar için;

Başlık Sınıfı;

$$c = \frac{b - t_w}{2} - r = \frac{300 - 8.5}{2} - 27 = 118.75 \text{ mm}$$

$$c / t_f = \frac{118.75}{14} = 8.48$$

Başlık Sınıfı-2 için sınır değer ; $10 \varepsilon = 9.20$

$8.48 < 9.20$ Kesit Sınıfı 2

Gövde Sınıfı;

$$c = h - 2t_f - 2r = 290 - 2 \times 14 - 2 \times 27 = 208 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{208}{8.5} = 24.47$$

Gövde Sınıfı-1 için sınır değer ; $33 \varepsilon = 30.36$

$24.47 < 30.36$ Kesit Sınıfı 1

Bütün kesit için kesit, Sınıf-2 olarak alınır.

DBYBHY madde 4.4.1.1' e göre kesit koşullarının incelenmesi:

Başlık narinliği;

$$0.5 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 0.5 \sqrt{\frac{2100000}{3600}} = 12.10 \text{ cm} > \frac{b}{2t} = \frac{30}{2 \times 1.4} = 10.71 \quad \text{uygun}$$

Gövde narinliği;

$$\frac{N_D}{\sigma_a A} = \frac{40000}{3600 \times 112.5} = 0.099 < 0.10$$

$$\begin{aligned} 5.0 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \left(1 - 1.7 \left| \frac{N_D}{\sigma_a A} \right| \right) &= 5 \sqrt{\frac{2100000}{3600}} (1 - 1.7 \times 0.099) \\ &= 100.5 > \frac{h}{t_w} = \frac{290}{8.5} = 34.1 \quad \text{uygun} \end{aligned}$$

5.2.3.2 Kesit hesapları:

Kesitin basınç kapasitesi:

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11250 \times 275}{1.10} = 2813000 \text{ N} = 2813 \text{ kN} > N_{ED} \text{ kesit yeterlidir.}$$

Basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

Eleman her iki yönde de 2 uçtan mafsallı olarak mesnetlendiğinden;

$$L_{cr,y} = 5 \text{ m (Çapraz elemanlarla kuvvetli yönünde tutulu)}$$

$$L_{cr,z} = 10 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 17284.6}{500^2} = 14330 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 6300}{1000^2} = 1306 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{11250 \times 275}{14329740}} = 0.46 > 0.2$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{11250 \times 275}{1305749}} = 1.54 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{400}{14330} = 0.03 < 0.04$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,z}} = \frac{400}{1306} = 0.31 > 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr,z}} < 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma kapasitesi hesaplanmalıdır.

HEA 300 profili için, $h/b = 0.97 < 1.2$ olduğundan y-y eksenini etrafında burkulma için “b”, z-z eksenini etrafında burkulma için “c” burkulma eğrileri dikkate alınır.

z-z eksenine göre burkulma eğrisi:

Düzlem dışı burkulma durumu elemanın z yönünde tutulu olmamasından dolayı ile daha olumsuz olduğundan y-y eksenini etrafındaki burkulma incelenmeyecektir.

$\alpha = 0.49$ (“c” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_z = 0.5 \left[1 + 0.49(1.54 - 0.2) + 1.54^2 \right] = 2.01$$

$$\chi_z = \frac{1}{2.01 + \sqrt{2.01^2 - 1.54^2}} = 0.30, \chi \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

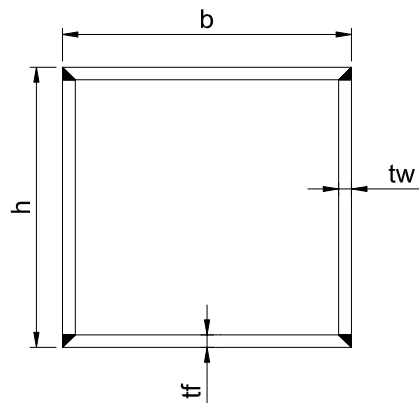
$$N_{b,z,Rd} = 0.3 \times 2813 = 850 \text{ kN} > N_{ED} \text{ zayıf ekseninde burkulma kapasitesi yeterlidir}$$

5.2.4 Ara çapraz elemanı kesit hesabı

5.2.4.1 Kesit özellikleri:

Seçilen profil: Yapma kutu profil

$$\begin{aligned} b &= 225 \text{ mm} & A &= 86 \text{ cm}^2 \\ h &= 225 \text{ mm} & I_y &= 6640 \text{ cm}^4 \\ t_f &= 10 \text{ mm} & W_{y,el} &= 590.2 \text{ cm}^3 \\ t_w &= 10 \text{ mm} & W_{y,pl} &= 693.9 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$



Eleman uç ve iç kuvvetleri:

En olumsuz kesit tesirleri aşağıdaki kombinasyonlarda belirtilen değerlerde bulunmuştur.

$$1.00(\text{Öz yük}+\text{Kaplama}) + 1.00 E_x$$

$$N_{ED}= 700 \text{ kN (basınç)}$$

Malzeme özellikleri:

S235 sıcak hadde plaka,

$$f_y = 235 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

Kesit sınıflandırması:

Basınç etkisindeki elemanlar için;

Başlık ve gövde sınıfı;

$$c = h - 2t_w = 225 - 2 \times 10 = 205 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{205}{10} = 20.5$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer ; $33 \varepsilon = 33$

$20.5 < 33$ Kesit Sınıfı 1

DBYBHY madde 4.7' e göre kesit koşullarının incelenmesi:

$$1.2 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 1.2 \sqrt{\frac{2100000}{2400}} = 35.50 \text{ cm} > \frac{b}{t} = \frac{22.5}{1} = 22.5$$

uygun

Kesitin atalet yarıçapı;

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{6640}{86}} = 8.79 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{1020}{8.79} = 116 < 4 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 4 \sqrt{\frac{2100000}{2400}} = 118.32$$

uygun

5.2.4.2 Kesit hesapları:**Kesitin basınç kapasitesi:**

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8600 \times 235}{1.10} = 1837273 \text{ N} = 1837 \text{ kN} > N_{ED} \text{ kesit yeterlidir.}$$

Basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

Eleman her iki yönde de 2 uçtan mafsallı olarak mesnetlendiğinden;

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 10.20 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 6640}{1020^2} = 1323 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \sqrt{\frac{8600 \times 235}{1322761}} = 1.24 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr}} = \frac{700}{1322761} = 0.53 > 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr}} < 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma

kapasitesi hesaplanmalıdır.

Yapma kutu profiller için, $h/t_w = 22.5 < 30$ olduğundan y-y ve z-z eksenini etrafında burkulma için “c” burkulma eğrisi dikkate alınır.

y-y eksenine göre burkulma hesabı:

$\alpha = 0.49$ (“c” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \left[1 + 0.49(1.24 - 0.2) + 1.24^2 \right] = 1.52$$

$$\chi_z = \frac{1}{1.52 + \sqrt{1.52^2 - 1.24^2}} = 0.42, \chi \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

$$N_{b,z,Rd} = 0.42 \times 1837 = 766 \text{ kN} > N_{ED}$$

uygun

5.2.5 Boru gergi hesabı

5.2.5.1 Kesit özellikleri:

Gergi-1: Boru 406.4/6.3 Gergi-2: Boru 323.9/5.9

$$d = 406.4 \text{ mm}$$

$$d = 323.9 \text{ mm}$$

$$t = 6.30 \text{ mm}$$

$$t = 5.90 \text{ mm}$$

$$A = 79.19 \text{ cm}^2$$

$$A = 58.94 \text{ cm}^2$$

$$I = 15849 \text{ cm}^4$$

$$I = 7453.2 \text{ cm}^4$$

$$W_{pl} = 1008.6 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl} = 596.7 \text{ cm}^3$$

Gergi-3: Boru 193.7/4.5

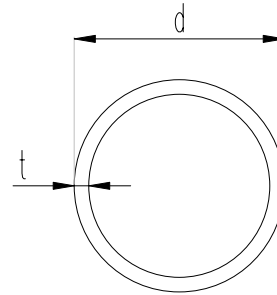
$$d = 193.7 \text{ mm}$$

$$t = 4.5 \text{ mm}$$

$$A = 26.75 \text{ cm}^2$$

$$I = 1197.5 \text{ cm}^4$$

$$W = 161.1 \text{ cm}^3$$



Model-2 gergi yerleşim ve mesnetlenme koşulları Bölüm 5.6’ da açıklanmıştır. Bu bölümde Model-2 kesit tesirlerine göre yeniden hesaplanacaktır.

Kesit tesirleri:

Gergi-1:

$$N_{c,Ed} = 146 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 377 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 150 \text{ kNm}$$

Gergi-2:

$$N_{c,Ed} = 128 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 485 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 50 \text{ kNm}$$

Gergi-3:

$$N_{c,Ed} = 15 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 275 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 6 \text{ kNm}$$

Malzeme özellikleri:

S235 çelikten sıcak hadde boru profil kullanılmıştır.

$$f_y = 235 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1.00$$

Kesit sınıflandırması:

Gergi-1;

$$d/t = \frac{406.4}{6.3} = 64.50$$

Başlık Sınıfı-2 için sınır değer ; $70\varepsilon = 70$

$64.5 < 70$ Kesit Sınıfı 2

Gergi-2;

$$d/t = \frac{323.9}{5.9} = 54.9$$

Başlık Sınıfı-2 için sınır değer ; $70\varepsilon = 70$

$54.9 < 70$ Kesit Sınıfı 2

Gergi-3;

$$d/t = \frac{193.7}{4.5} = 43.04$$

Başlık Sınıfı-1 için sınır değer ; $50\varepsilon = 50$

$43.04 < 50$ Kesit Sınıfı 1

5.2.5.2 Kesit hesapları:

Kesitlerin basınç ve çekme kapasiteleri:

Gergi-1;

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7919 \times 235}{1.10} = 1692000 \text{ N} = 1692 \text{ kN} < N_{Ed}$$

Gergi-2;

$$N_{c,Rd} = \frac{5894 \times 235}{1.10} = 1259000 = 1259 \text{ kN} < N_{Ed}$$

Gergi-3;

$$N_{c,Rd} = \frac{2675 \times 235}{1.10} = 571000 = 571 \text{ kN} < N_{Ed}$$

Kesitlerin moment kapasiteleri:

Gergi-1;

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1008600 \times 235}{1.10} = 215.5 \times 10^6 \text{ N} = 215.5 \text{ kN} < M_{Ed}$$

Gergi-2;

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{596700 \times 235}{1.10} = 127.5 \times 10^6 \text{ N} = 127.5 \text{ kN} < M_{Ed}$$

Gergi-3;

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{161120 \times 235}{1.10} = 34.4 \times 10^6 \text{ N} = 34.4 \text{ kN} < M_{Ed}$$

Basınç etkisinde burkulma kapasitelerinin incelenmesi:

Gergi-1 :

Gergi elemanları her iki yönde de 2 uçtan mafsallı olduğundan düğüm noktaları arası mesafe burkulma boyu olarak alınacaktır.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3877 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 15849.4}{3877^2} = 218.6 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{7919 \times 235}{2.18 \times 10^6}} = 2.92 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{146}{218.6} = 0.67 > 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} < 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma kapasitesi

hesaplanmalıdır.

$\alpha = 0.21$ (“ a ” burkulma eğrisi için)

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (2.92 - 0.2) + 2.92^2] = 5.04$$

$$\chi_y = \frac{1}{5.04 + \sqrt{5.04^2 - 2.92^2}} = 0.11$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.11 \times 1692 = 185 \text{ kN} > N_{ED}$$

uygun

Gergi-2 :

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2620 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 7453.2}{2620^2} = 225040 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{5894 \times 235}{2.25 \times 10^6}} = 2.48 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{130}{225} = 0.58 > 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} < 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma kapasitesi

hesaplanmalıdır.

$$N_{b,Rd} = \chi N_{c,Rd} \text{ (Kesit sınıfı 1, 2 ve 3 olan elemanlar için)}$$

$$\alpha = 0.21 \text{ (“ a ” burkulma eğrisi için)}$$

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (2.48 - 0.2) + 2.48^2] = 3.82$$

$$\chi_y = \frac{1}{3.82 + \sqrt{3.82^2 - 2.48^2}} = 0.15$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.15 \times 1259 = 187 \text{ kN} > N_{ED}$$

uygun

Gergi-3 :

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 1380 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 1197.5}{1380^2} = 130 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{2675 \times 235}{130 \times 10^5}} = 2.20 > 0.2$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} = \frac{25}{130} = 0.19 > 0.04$$

$\lambda \leq 0.2$ ve $\frac{N_{ED}}{N_{cr,y}} < 0.04$ koşulları sağlanmadığından, azaltılmış burkulma kapasitesi

hesaplanmalıdır.

$$\alpha = 0.21 \text{ (“ a ” burkulma eğrisi için)}$$

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (2.20 - 0.2) + 2.20^2] = 3.12$$

$$\chi_y = \frac{1}{3.12 + \sqrt{3.12^2 - 2.20^2}} = 0.19$$

$$N_{b,y,Rd} = 0.19 \times 571 = 108.5 \text{ kN} > N_{ED}$$

uygun

Moment etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

Eleman boyu ve etki eden yükler açısından en riskli durumda bulunan Gergi-2 elemanı için hesap yapılacaktır.

$$r_1 = \frac{323.9}{2} = 161.95 \text{ mm}$$

$$r_2 = \frac{323.9}{2} - \frac{5.9}{2} = 159 \text{ mm}$$

$$I_t = \frac{\pi(r_2^4 - r_1^4)}{2} = \frac{\pi(161.95^4 - 156.05^4)}{2} = 14.9 \times 10^7 \text{ mm}^4 = 14906 \text{ cm}^4$$

$$G = 81000 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L_{cr}} \left(\sqrt{EI_z G I_t} \right) = \frac{\pi}{2620} \left(\sqrt{21000 \times 7453.2 \times 8100 \times 14906.4} \right)$$

$$= 164838 \text{ kNcm} = 1648 \text{ kNm} > M_{Ed}$$

uygun

$\lambda_{LT,0} = 0.4$ ve $\beta = 0.75$ olarak önerilmektedir.

$\alpha_{LT} = 0.21$ alınır. Buna göre;

$$\lambda_{LT,y} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{596700 \times 235}{165 \times 10^9}} = 0.29$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 [1 + 0.21(0.29 - 0.4) + 0.75 \times 0.29^2] = 0.52$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0.52 + \sqrt{0.52^2 - 0.29^2}} = 1.02 > 1.0 \text{ koşul sağlanmadı.}$$

Düzeltilme faktörünü de hesaplayalım,

$$k_c = 0.94$$

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) [1 - 2(\lambda_{LT} - 0.8)^2] = 1 - 0.5(1 - 0.94) [1 - 2(0.29 - 0.8)^2] = 0.986$$

$$\chi_{LT,mod} = \chi_{LT} / f = 1.02 / 0.986 = 1.015 > 1.0 \text{ koşul sağlanmadı. } \chi_{LT,mod} = 1 \text{ alınacak.}$$

Sonuç olarak,

$$M_{b,Rd} = 1 \times 127.5 = 127.5 \text{ kNm} > M_{ED}$$

Moment ve basınç etkisinde burkulma kapasitesinin incelenmesi:

$$C_{my,0} = 1 - 0.18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = 1 - 0.18 \times \frac{128}{225} = 0.90$$

$$\lambda_y = \lambda_z = 2.48 \quad \lambda_{maks.} = 2.48$$

$$\lambda_{LT} = 0.29$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} = \frac{5000}{128} \times \frac{58.94}{460.22} = 5$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_z} = 1 - \frac{14906.4}{7453.2} = -1 < 0 \Rightarrow a_{LT} = 0 \text{ alınır.}$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}} = 0.90 + (1 - 0.90) \times \frac{\sqrt{5} \times 0}{1 + \sqrt{5} \times 0} = 0.90$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)}} = 0.90^2 \times \frac{0}{\sqrt{1 - \left(\frac{128}{225} \right)}} = 0$$

$$\eta_y = \eta_z = \frac{1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)}{1 - \chi_y \left(\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)} = \frac{1 - \left(\frac{128}{225.4} \right)}{1 - 0.15 \left(\frac{128}{225.4} \right)} = 0.38$$

$$w_y = w_z = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{596.7}{460.22} = 1.30 \leq 1.50$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{128000}{1259000} = 0.102$$

$$b_{LT} = 0.5 a_{LT} \lambda_0^2 \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = 0 \quad (M_{z,Ed} = 0)$$

$$d_{LT} = 2 a_{LT} \frac{\lambda_0}{0.1 + \lambda_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}} = 0 \quad (M_{z,Ed} = 0)$$

C_{ij} faktörleri;

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{mak}^2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{mak}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$= 1 + (1.30 - 1) \times \left[\left(2 - \frac{1.6}{1.30} \times 0.90^2 \times 2.48 - \frac{1.6}{1.30} \times 0.90^2 \times 2.48^2 \right) \times 0.102 - 0 \right]$$

$$= 0.80 \geq \frac{460.22}{596.70} = 0.77$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{my}^2 \lambda_{mak}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$= 1 + (1.30 - 1) \times \left[\left(2 - 14 \times \frac{0.90^2 \times 2.48^2}{1.30^5} \right) \times 0.102 - 0 \right]$$

$$= 0.49 \geq 0.6 \times \sqrt{\frac{1.30}{1.30}} \times \frac{460.22}{596.70} = 0.463$$

k_{ij} etkileşim faktörleri;

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - N_{ED} / N_{cr,y}} \frac{1}{C_{yy}}$$

$$k_{yy} = 0.90 \times 0 \times \frac{0.38}{1 - 128 / 225} \times \frac{1}{0.80} = 0$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - N_{ED} / N_{cr,y}} \frac{1}{C_{zy}} 0.6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

$$k_{zy} = 0.90 \times 0 \times \frac{0.38}{1 - 128 / 225} \times \frac{1}{0.49} \times 0.6 \sqrt{\frac{1.30}{1.30}} = 0$$

Elde ettiğimiz etkileşim parametreleri formüldeki yerlerine koyarsak,

$$\frac{128000}{0.15 \times 5894 \times 235 / 1.10} + 0 \times \frac{50 \times 10^6}{1.06 \times 5.96 \times 10^7 \times 235 / 1.10} = 0.68 < 1$$

uygun

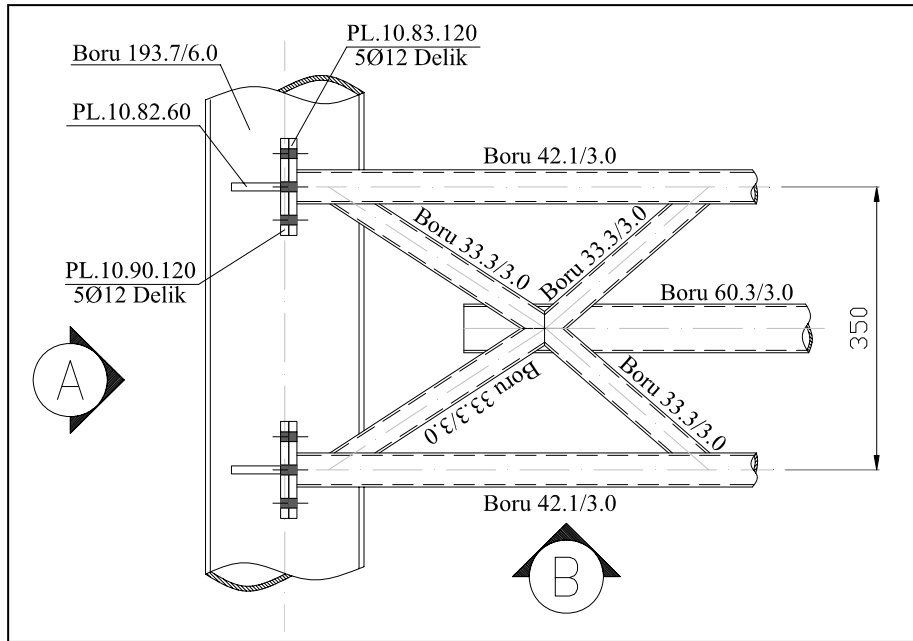
6. BİRLEŞİM HESAPLARI

6.1 Model - 1

6.1.1 Mesnet birleşim hesapları

6.1.1.1 Uzak kafes aşık mesnet detayı:

Çatı kaplaması aşıklar üzerine oturtulacaktır. Ancak ana kafes kiriş ekindeki başlık plakası boyutlarından dolayı, aşıkların ana kafes kiriş üst başlığından bir miktar yükseltilmesi gerekmiştir. Bunun için Şekil 6.1’ de tarif edilen detay oluşturulmuştur.



Şekil 6.1: Aşık mesnet planı (mm)

Aşıklar, ana kafes kiriş üst başlığına alın plakası aracılığıyla birleştirilecektir. Mesnet kesme kuvveti aktarımıyla sağlanacaktır. Detay hesabı için, aşık üst başlık profili kesme ve çekme kuvveti kapasitesi kullanılacaktır.

$$A_v = \frac{2A}{\pi} = \frac{2 \times 368}{\pi} = 234.3 \text{ mm}^2$$

$$N_{v,Rd} = \frac{A_v \times 235}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{234.3 \times 235}{\sqrt{3} \times 1.10} = 28896 \text{ N} = 29 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times 235}{\gamma_{M0}} = \frac{368 \times 235}{1.10} = 78618 \text{ N} = 79 \text{ kN}$$

Kaynak hesabı (Şekil 6.2 ve Şekil 6.4) :

S235 kalitesi için $\frac{a}{t} \geq 0,84\alpha$ olmalıdır.

$$\alpha = \frac{1.1}{\gamma_{M_j}} \times \frac{\gamma_{M_w}}{1.25} = \frac{1.1}{1.1} \times \frac{1.35}{1.25} = 1.08 \text{ formülü ile elde edilir.}$$

$$0.84\alpha = 0.84 \times 1.08 = 0.91$$

$$a \geq 0.91 \times 3 = 2.73 \text{ mm } a = 3 \text{ mm alınacaktır.}$$

$$\Sigma l_w = \pi \times 88.9 = 279.3 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M_2}} a l_w = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} \times 3 \times 279.3 = 174154 \text{ N} = 174 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 29$$

Alın plakası bulon hesabı:

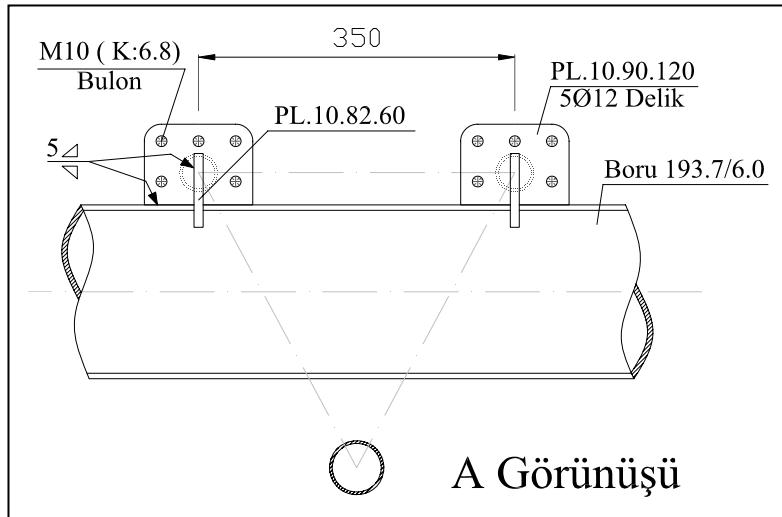
1) Makaslama kuvveti kapasitesi:

5 M10 (K:6.8) bulon kullanılacaktır.

$$f_{ub} = 600 \text{ N/mm}^2 \text{ (K:6.8 bulon için)}$$

$$A_s = 0.86A = 0.86 \times \frac{\pi \times 10^2}{4} = 68 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{a_v f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.5 \times 600 \times 68}{1.25} = 16320 \text{ N} = 16.3 \text{ kN} > N_{t,Ed} = \frac{29}{5} = 5.80 \text{ kN}$$



Şekil 6.2: Aşık mesneti A görünüşü (mm)

2) Çekme kuvveti kapasitesi:

$$F_{t,Ed} = 5.80 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times 600 \times 68}{1.25} = 29376 \text{ N} = 29.4 \text{ kN}$$

$t_p = 10$ mm kalınlıklı flanş plakası kullanılacaktır. (S235)

Somun veya bulon başı zımbalama dayanımı:

M10 bulon için;

Anahtar ağız açıklığı: 17 mm

Bulon başı köşegen ölçüsü: 18.90 mm

$$d_m = \frac{17 + 18.90}{2} = 21.88 \text{ mm}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times \pi \times 21.88 \times 10 \times 360}{1.25} = 142503 \text{ N} = 142.5 \text{ kN}$$

$$B_{t,Rd} = \min(29.4, 142.5)$$

Buna göre bulon çekme dayanımı kuvveti $B_{t,Rd} = 29.4 \text{ kN}$ ' dur.

$B_{t,Rd} > F_{t,Ed}$ olduğundan 5 adet M10 (K: 6.8) bulon yeterli olacaktır.

3) Delik cidarında ezilme kontrolü

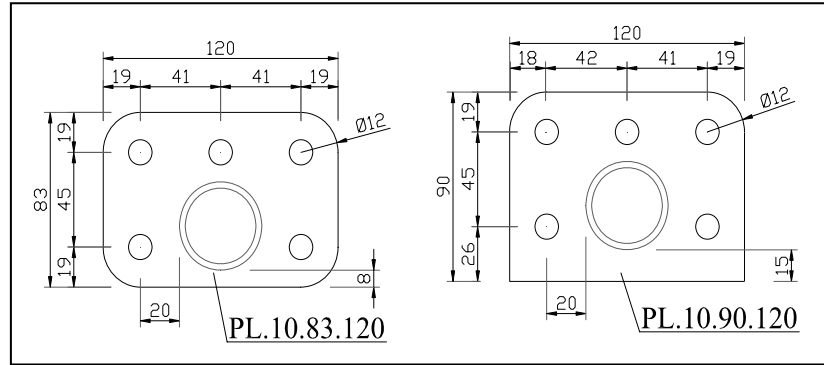
Bulon Yerleşimi (Şekil 6.3) :

$$e_1 = 1.2d_0 = 1.2 \times 12 = 14.4 \text{ mm} < 19 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1.2d_0 = 1.2 \times 12 = 14.4 \text{ mm} < 19 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2.2d_0 = 2.2 \times 12 = 26.4 \text{ mm} < 45$$

$$p_2 = 2.4d_0 = 2.4 \times 12 = 28.8 \text{ mm} < 41$$

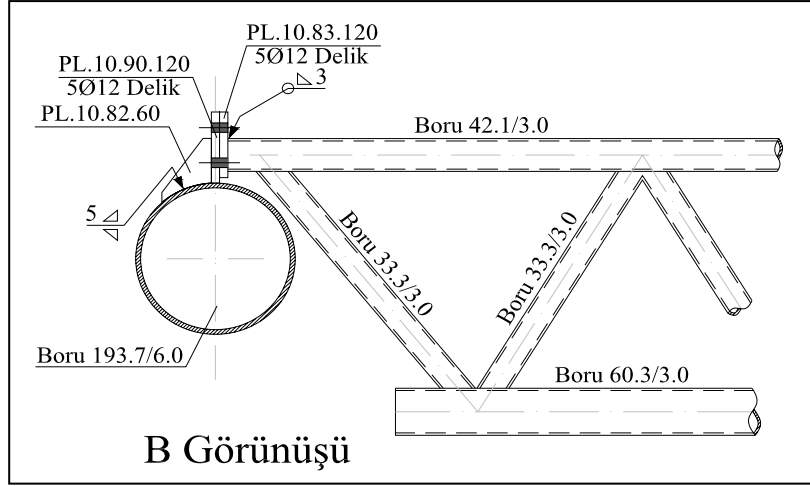


Şekil 6.3: Aşık alın plakası bulon yerleşimi (mm)

$$k_1 = \min(2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7; 2.5) = \min(2.8 \times \frac{41}{12} - 1.7; 2.5) = \min(7.87; 2.5) = 2.5$$

$$a_b = \min(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1.0) = \min(\frac{19}{3 \times 12}; \frac{600}{360}; 1.0) = \min(0.53; 1.7; 1) = 0.57$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M_2}} = \frac{2.5 \times 0.57 \times 600 \times 10 \times 10}{1.25} = 68400 \text{ N} = 68.4 \text{ kN} > F_{v,Ed} = 5.80$$

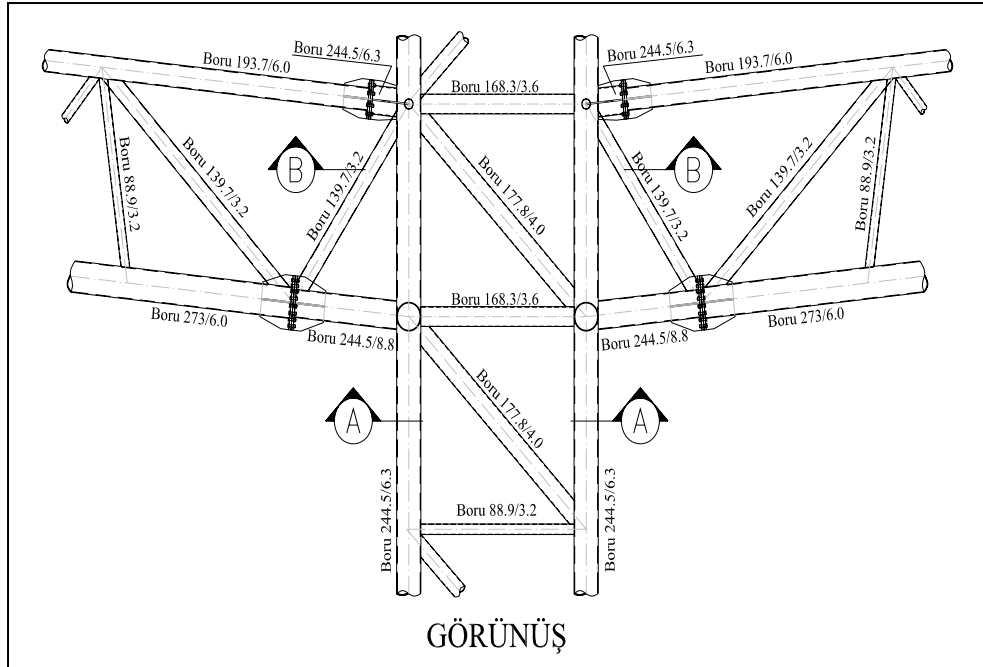


Şekil 6.4: Aşık mesneti B görünüşü (mm)

6.1.1.2 Ana kafes kiriş - kafes kolon mesnet birleşimi :

Detay hesapları eleman kesit dayanımlarına göre yapılacaktır. Birleşim, kafes kolon üzerinde bırakılacak elemanlar aracılığı ile yapılacaktır. Alt ve üst başlık birleşimi alın plakalı şekilde detaylandırılacaktır. (Şekil 6.5)

Birleşimler, kafes ve kolon düğüm noktalarına teşkil edilip kesme kuvveti etkisiyle oluşacak moment etkisinin oluşmasına engel olunmuştur. Ayrıca, birleşime bağlı düğüm noktalarına, diyagonal elemanlar eklenerek, oluşan tesirlerin birleşimleri çok zorlamayacak şekilde aktarılması amaçlanmıştır.



Şekil 6.5: Kolon- kiriş birleşimi

Birleşim detayı, kiriş alt ve üst başlık elemanlarının çekme ve kesme kuvveti kapasitesine göre hesaplanacaktır.

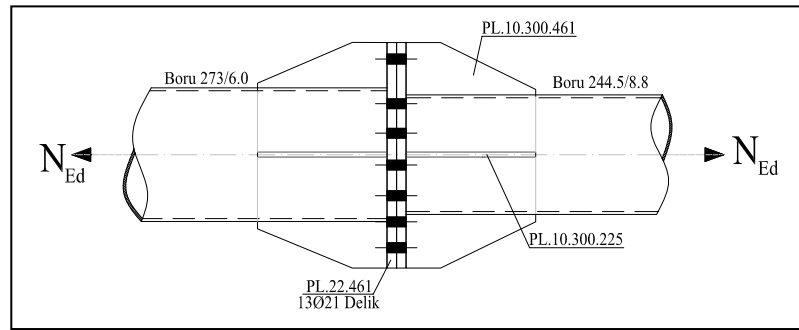
1) Alt başlık birleşimi:

a) Kiriş üzerindeki mesnetin hesabı (Şekil 6.7):

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5033 \times 235}{1.10} = 1075232 \text{ N} = 1075 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{2A}{\pi} = \frac{2 \times 5033}{\pi} = 3204 \text{ mm}^2$$

$$N_{v,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{3204 \times 235}{\sqrt{3} \times 1.10} = 395191 \text{ N} = 395 \text{ kN}$$



Şekil 6.6: Alt başlık mesnet görünüşü (mm)

Alın plakası bulon hesabı:

Mesnet, dairesel başlık plakaları ile 13 adet M20 (K: 8.8) ön-gerilmeli bulon kullanılarak GV birleşimi ile sağlanacaktır.

1) Çekme kuvveti kapasitesi (Şekil 6.6) :

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{t,Rd}}{n} = \frac{1075}{13} = 82.7 \text{ kN}$$

Bir bulonun taşıyabileceği en büyük çekme kuvveti için

$$B_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd}) \text{ ilişkisi hesaplanmalıdır.}$$

$$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2 \text{ (K: 8.8 bulon için)}$$

$$A_s = 0.86A = 0.86 \times \frac{\pi \times 20^2}{4} = 270 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times 800 \times 270}{1.25} = 155622 \text{ N} = 156 \text{ kN}$$

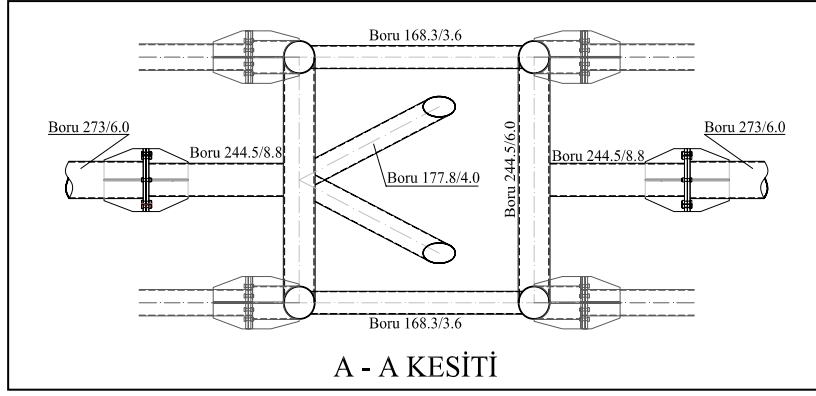
$$t_p = 22 \text{ mm kalınlıklı flanş plakası kullanılacaktır. (S235)}$$

Somun veya bulon başı zımbalama dayanımı:

M20 bulon için;

Anahtar ağız açıklığı: 30 mm

Bulon başı köşegen ölçüsü: 33.53 mm



Şekil 6.7: Alt başlık mesnet görünüşü

$$d_m = \frac{30 + 33.53}{2} = 31.77 \text{ mm}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times \pi \times 31.77 \times 22 \times 360}{1.25} = 379372 \text{ N} = 379 \text{ kN}$$

$$B_{t,Rd} = \min(156, 379)$$

Buna göre bulon çekme dayanımı kuvveti $B_{t,Rd} = 156 \text{ kN}$ ' dur.

$B_{t,Rd} > F_{t,Ed}$ olduğundan 13 adet M20 (K: 8.8) ön-germeli bulon yeterli olacaktır.

2) Kesme kuvveti kapasitesi:

$k_s = 1.0$ (Delik çapı bulon çapından 1mm geniş alınmıştır.)

$n = 1.0$ (Bulonlar tek etkili olarak çalışmaktadır.)

$\mu = 0.5$ (Yüzeye kum püskürtülerek çinko veya alüminyum bazlı bir kat boya sürülür.)

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M_3}} (0.7 f_{ub} A_s) = \frac{1 \times 1 \times 0.5}{1.25} \times (0.7 \times 800 \times 270) = 60250 \text{ N} > F_{v,Ed} = 30385$$

3) Kesme ve çekme kuvveti kapasitesi:

$$F_{t,Ed} = \frac{1075232}{13} = 82710 \text{ N}$$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (0.7 f_{ub} A_s - 0.8 F_{t,Ed})}{\gamma_{M_3}} = \frac{1 \times 1 \times 0.5 \times (0.7 \times 800 \times 270 - 0.8 \times 82710)}{1.25}$$

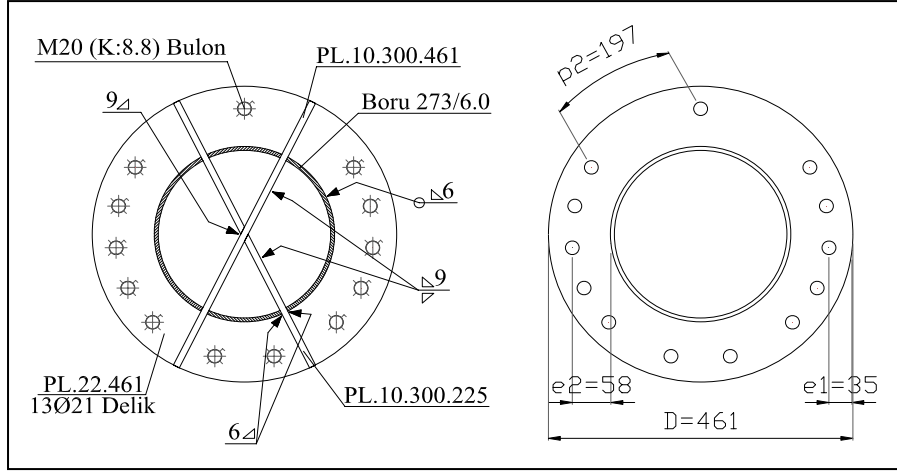
$$= 49182 > F_{v,Ed} = 30385$$

Bulon Yerleşimi: (Şekil 6.8)

$$e_1 = 1.2 d_0 = 1.2 \times 21 = 25.2 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1.2 d_0 = 1.2 \times 21 = 25.2 \text{ mm} < 58 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2.4 d_0 = 2.4 \times 21 = 50.4 \text{ mm} < 197$$



Şekil 6.8: Alt Başlık alın plakası detayı ve bulon yerleşimi

$p_2 = 197 \leq 200 \text{ mm}$ (14t ve 200 mm' den küçük olanı)

Kaynak hesapları:

Profil ile alın plakasının birleşiminde köşe kaynak kullanılmıştır.

S235 kalitesi için $\frac{a}{t} \geq 0,84\alpha$ olmalıdır.

$$\alpha = \frac{1.1}{\gamma_{M_j}} \times \frac{\gamma_{M_w}}{1.25} = \frac{1.1}{1.1} \times \frac{1.35}{1.25} = 1.08 \text{ formülü ile elde edilir.}$$

$$0.84\alpha = 0.84 \times 1.08 = 0.91$$

$$a \geq 0.91 \times 6 = 5.46 \text{ mm } a = 6 \text{ mm alınacaktır.}$$

$$\frac{6}{6} = 1 \geq 0.91$$

uygun

$$\Sigma l_w = \pi \times 273 - 4 \times 10 = 817.7 \text{ mm (berkitme plakaları için kesilen kısımlar çıkarıldı.)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M_2}} a l_w = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} \times 6 \times 817.7 = 1019735 \text{ N} = 1020 \text{ kN} < N_{t,Rd}$$

Kaynak dayanımı eleman çekme kuvveti dayanımından küçüktür. Dolayısı ile düğüm noktasını güçlendirmek ve manivela etkisini azaltabilmek amacıyla ek olarak berkitme plakaları da ekleyeceğiz. Yükün güvenle bulonlara kadar aktarılabilmesi için öncelikle berkitme plaka kesiti ve birleştiren kaynaklar yeterli olmalıdır. Buna göre;

$$A = (2 \times 378) \times 10 = 7560 \text{ mm}^2 \text{ (Plaka geometrik yamuk olduğundan azalan kesit ortalaması plaka genişliği alınmıştır.)}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7560 \times 235}{1.10} = 1615091 \text{ N} = 1615 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 1075$$

uygun

Berkitme plakaları- Boru 273/6 birleşim detayı:

$$a \geq 0.91 \times 6 = 5.46 \text{ mm } a = 6 \text{ mm alınacaktır.}$$

$$\Sigma l_w = 2 \times (4 \times 300) = 2400 \text{ mm (boru dışından çift taraflı köşe kaynak yapılacaktır.)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} \times 6 \times 2400 = 2992984 \text{ N} = 2993 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 1075 \quad \textbf{uygun}$$

Berkitme plakalarının birbirleri ile birleşim detayı:

$$\Sigma l_w = 4 \times 300 = 1200 \text{ mm}$$

$$a \leq 0.7 \times 10 = 7 \text{ mm } a = 7 \text{ mm alınacaktır}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 7 \times 1200 = 1745907 \text{ N} = 1746 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 1075 \text{ kN} \quad \textbf{uygun}$$

Berkitme plakaları ile alın plakası birleşim detayı:

$$\Sigma l_w = 2 \times (460 + 450) = 1820 \text{ mm}$$

$$a = 7 \text{ mm alınacaktır}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 7 \times 1820 = 2647959 \text{ N} = 2648 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 1075 \text{ kN} \quad \textbf{uygun}$$

Manivela etkisi ile oluşan göçme mekanizmasına göre detay hesaplarının irdelenmesi:

Alın plakasını berkitmeleri dikkate almadan, plastik şekil değişimi yaptığını düşünerek inceleyelim.

$$\theta = 0.9$$

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 = \frac{273}{2} + 35 = 171.5 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} = \frac{273 - 6}{2} = 133.5 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln(r_2 / r_3) = \ln(171.5 / 133.5) = 0.25$$

$$k_3 = k_1 + 2 = 0.25 + 2 = 2.25$$

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} \left[k_3 (k_3^2 - 4k_1)^{0.5} \right] = \frac{1}{2 \times 0.25} \left[2.25 \times (2.25^2 - 4 \times 0.25)^{0.5} \right] = 9.05$$

Bulunan değerler formüldeki yerlerine konulursa;

$$N_{Ed} = 1075 \text{ kN}$$

$$t_p \geq \sqrt{\frac{2N_{t,Ed}\gamma_{M_0}}{\theta f_{y,p}\pi f_3}} = \sqrt{\frac{2 \times 1075000 \times 1.1}{0.9 \times 235 \times \pi \times 9.05}} = 19.8 < t = 22 \text{ mm} \quad \textbf{uygun}$$

Alın plakasının plastik şekil değişimi ile bulon göçmesi:

$$\theta = 0.9$$

$$f_3 = 9.23$$

$$r_2 = 171.5 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(e_2; 1.25e_1) , 1.25 \times e_1 = 1.25 \times 35 = 43.75 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(58; 43.75) = 43.75 \text{ mm}$$

$$r_1 = \left(\frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \right) = \left(\frac{273}{2} + 35 + 43.75 \right) = 215.25 \text{ mm}$$

$$N_{1,Ed} \leq \frac{\theta n F_{t,Rd}}{\left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \ln(r_1 / r_2)} \right)} = \frac{0.9 \times 13 \times 156}{\left(1 - \frac{1}{9.05} + \frac{1}{9.05 \times \ln(215.25 / 171.5)} \right)} = 1324 \text{ kN}$$

$N_{t,Rd} = 1075 \text{ kN}$ plakanın plastikleşmesi halinde bulon kapasitesi yeterli olacaktır.

b) Kolon üzerindeki mesnetin hesabı:

Kolon üzerindeki alın plakası Boru 244.5/8.8'e bağlı olarak bulunmaktadır. Tasarıma esas yükler;

$$N_{t,Rd} = 1075 \text{ kN}$$

$$N_{v,Rd} = N = 395 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{t,Rd}}{n} = \frac{1075}{13} = 82.7 \text{ kN}$$

Bulon Yerleşimi (Şekil 6.9):

$$e_1 = 1.2d_0 = 1.2 \times 21 = 25.2 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1.2d_0 = 1.2 \times 21 = 25.2 \text{ mm} < 73 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2.4d_0 = 2.4 \times 21 = 50.4 \text{ mm} < 197$$

$$p_2 = 197 \leq 200 \text{ mm (14t ve 200 mm' den küçük olanı)}$$

Manivela etkisi ile oluşan göçme mekanizmasına göre detay hesaplarının irdelenmesi:

Alın plakasını berkitmeleri dikkate almadan, plastik şekil değişimi yaptığını düşünerek inceleyelim.

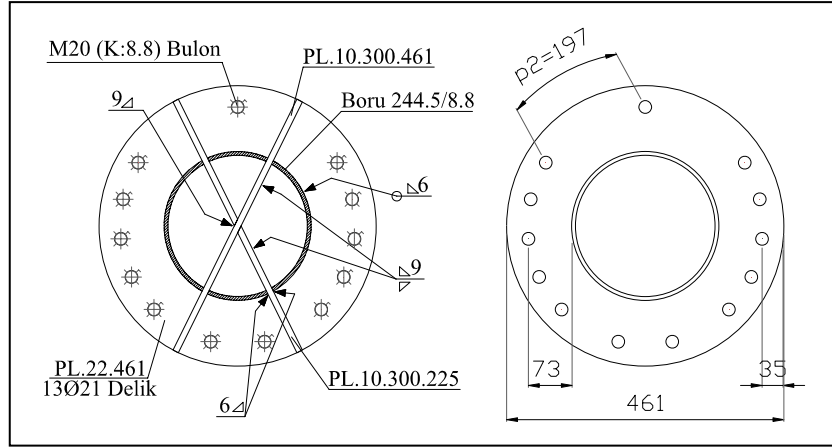
$$\theta = 0.9$$

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 = \frac{244.5}{2} + 35 = 157.25 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} = \frac{244.5 - 8.8}{2} = 117.85 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln(r_2 / r_3) = \ln(157.25 / 117.85) = 0.29$$

$$k_3 = k_1 + 2 = 0.29 + 2 = 2.29$$



Şekil 6.9: Kolon üzerindeki alt başlık alın plakası

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} \left[k_3 (k_3^2 - 4k_1)^{0.5} \right] = \frac{1}{2 \times 0.29} \left[2.29 \times (2.29^2 - 4 \times 0.29)^{0.5} \right] = 8.02$$

Bulunan değerler formüldeki yerlerine konulursa;

$$N_{Ed} = 1075 \text{ kN}$$

$$t_p \geq \sqrt{\frac{2N_{t,Ed} \gamma_{M_0}}{\theta f_{y,p} \pi f_3}} = \sqrt{\frac{2 \times 1075000 \times 1.1}{0.9 \times 235 \times \pi \times 8.02}} = 21.1 < t = 22 \text{ mm}$$

uygun

Alın plakasının plastik şekil değişimi ile bulon göçmesi:

$$\theta = 0.9$$

$$f_3 = 9.23$$

$$r_2 = 171.5 \text{ mm}$$

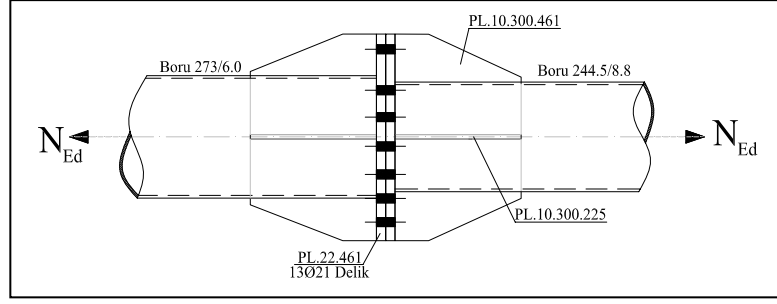
$$e_{eff} = \min(e_2; 1.25e_1) , 1.25 \times e_1 = 1.25 \times 35 = 43.75 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(73; 43.75) = 43.75 \text{ mm}$$

$$r_1 = \left(\frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \right) = \left(\frac{244.5}{2} + 35 + 43.75 \right) = 201 \text{ mm}$$

$$N_{1,Ed} \leq \frac{\theta n F_{t,Rd}}{\left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \ln(r_1 / r_2)} \right)} = \frac{0.9 \times 13 \times 156}{\left(1 - \frac{1}{8.02} + \frac{1}{8.02 \times \ln(201 / 157.25)} \right)} = 1316 \text{ kN}$$

$N_{t,Rd} = 1075 \text{ kN}$ plakanın plastikleşmesi halinde bulon kapasitesi yeterli olacaktır.

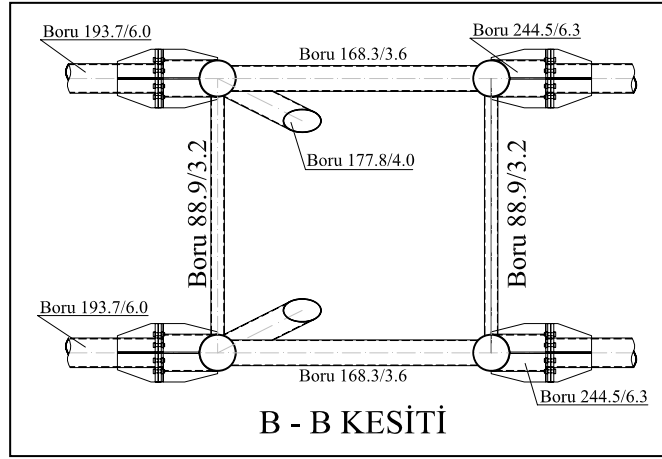


Şekil 6.10: Üst mesnet detayı

2) Üst başlık birleşimi:

a) Kiriş üzerindeki mesnetin hesabı (Şekil 6.11):

Üst başlık olarak Boru 193.7/6 kullanılmıştır. Ek detayı boru kesit çekme ve kesme kuvveti kapasitesine göre hesaplanacaktır.



Şekil 6.11: Üst mesnet görünüşü

Alın plakası bulon hesabı:

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3538 \times 235}{1.10} = 755846 \text{ N} = 756 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{2A}{\pi} = \frac{2 \times 3538}{\pi} = 2252 \text{ mm}^2$$

$$N_{v,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{2252 \times 235}{\sqrt{3} \times 1.10} = 277813 \text{ N} = 278 \text{ kN}$$

Ek detayı için dairesel başlık plakaları ile 8 adet M20 (K: 8.8) ön-germeli bulon kullanılacaktır.

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{t,Rd}}{n} = \frac{756}{8} = 94.5 \text{ kN}$$

1) Çekme kuvveti kapasitesi M20 bulonun çekme kuvveti kapasitesi

$B_{t,Rd} = 156 \text{ kN}$ olarak hesaplanmıştır.

$t_p = 20$ mm kalınlıklı flanş plakası kullanılacaktır. (S235)

2) Kesme kuvveti için ön-gerilmeli bulon kontrolü:

$k_s = 1.0$ (Delik çapı bulon çapından 1mm geniş alınmıştır.)

$n = 1.0$ (Bulonlar tek etkili olarak çalışmaktadır.)

$\mu = 0.5$ (Yüzeye kum püskürtülerek çinko veya alüminyum bazlı bir kat boya sürülür.)

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M_3}} (0.7 f_{ub} A_s) = \frac{1 \times 1 \times 0.5}{1.25} \times (0.7 \times 800 \times 270) = 60250 \text{ N} > F_{v,Ed} = 34750$$

3) Kesme ve çekme kuvveti etkisinde ön-gerilmeli bulon kontrolü:

$$F_{t,Ed} = \frac{756000}{8} = 94500 \text{ N}$$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (0.7 f_{ub} A_s - 0.8 F_{t,Ed})}{\gamma_{M_3}} = \frac{1 \times 1 \times 0.5 \times (0.7 \times 800 \times 270 - 0.8 \times 94500)}{1.25} \\ = 45410 > F_{v,Ed} = 34750$$

Bulon Yerleşimi:

$$e_1 = 1.2 d_0 = 1.2 \times 21 = 25.2 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1.2 d_0 = 1.2 \times 21 = 25.2 \text{ mm} < 58 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2.4 d_0 = 2.4 \times 21 = 50.4 \text{ mm} < 197$$

$$p_2 = 197 \leq 200 \text{ mm} \text{ (14t ve 200 mm' den küçük olanı)}$$

Kaynak hesapları:

Profil ile alın plakasının birleşiminde köşe kaynak kullanılmıştır.

$$0.84\alpha = 0.84 \times 1.08 = 0.91$$

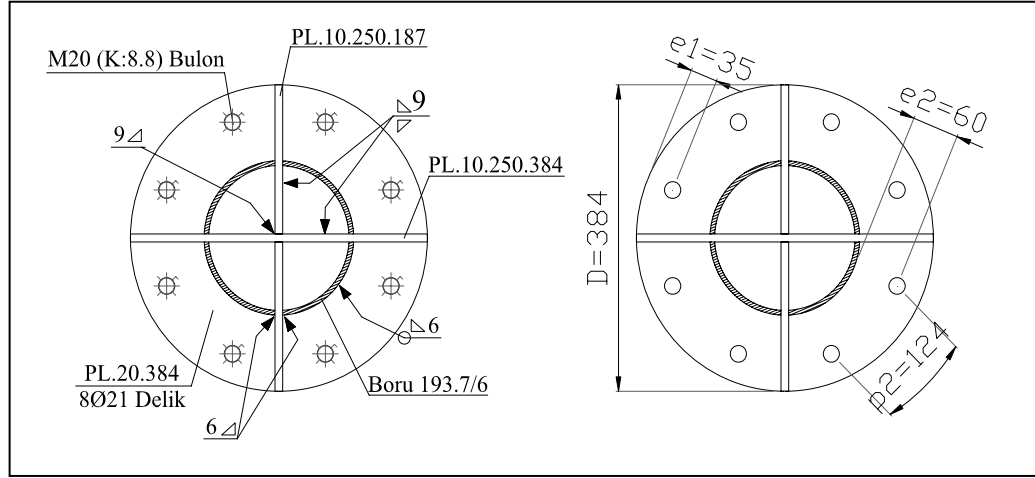
$$a \geq 0.91 \times 6 = 5.46 \text{ mm} \quad a = 6 \text{ mm alınacaktır.}$$

$\Sigma l_w = \pi \times 193.7 - 4 \times 10 = 568.5 \text{ mm}$ (berkitme plakaları için kesilen kısımlar çıkarıldı.)

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M_2}} a l_w = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} \times 6 \times 568.5 = 708963 \text{ N} = 709 \text{ kN} < N_{t,Rd}$$

Kaynak dayanımı eleman çekme kuvveti dayanımından küçüktür. Dolayısı ile düğüm noktasını güçlendirmek ve manivela etkisini azaltabilmek amacıyla ek olarak berkitme plakaları da ekleyeceğiz.

$A = (2 \times 279) \times 10 = 5580 \text{ mm}^2$ (Plaka geometrik yamuk olduğundan azalan kesit ortalaması plaka genişliği alınmıştır.)



Şekil 6.12: Üst Başlık alın plakası detayı ve bulon yerleşimi

$$N_{t,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5580 \times 235}{1.10} = 1192091 \text{ N} = 1192 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 756 \quad \text{uygun}$$

Berkitme plakaları- Boru 193.7/6 birleşim detayı:

$$a \geq 0.91 \times 6 = 5.46 \text{ mm} \quad a = 6 \text{ mm alınacaktır.}$$

$$\Sigma l_w = 2 \times (4 \times 250) = 2000 \text{ mm} \quad (\text{boru dışından çift taraflı köşe kaynak yapılacaktır.})$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} \times 6 \times 2000 = 2494153 \text{ N} = 2993 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 1075 \quad \text{uygun}$$

Berkitme plakalarının birbirleri ile birleşim detayı:

$$\Sigma l_w = 4 \times 300 = 1200 \text{ mm}$$

$$a \leq 0.7 \times 10 = 7 \text{ mm} \quad a = 7 \text{ mm alınacaktır}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 7 \times 1200 = 1755907 \text{ N} = 1755 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 1075 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$

Berkitme plakaları ile alın plakası birleşim detayı:

$$\Sigma l_w = 2 \times (384 + 374) = 1516 \text{ mm}$$

$$a \leq 0.7 \times 10 = 7 \text{ mm} \quad a = 7 \text{ mm alınacaktır}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 7 \times 1516 = 2205663 \text{ N} = 2206 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 756 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$

Manivela etkisi ile oluşan göçme mekanizmasına göre detay hesaplarının irdelenmesi:

Alın plakasını berkitmeleri dikkate almadan, plastik şekil değişimi yaptığını düşünerek inceleyelim.

$$\theta = 0.9$$

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 = \frac{193.7}{2} + 35 = 131.85 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} = \frac{193.7 - 6}{2} = 93.85 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln(r_2 / r_3) = \ln(131.85 / 93.85) = 0.34$$

$$k_3 = k_1 + 2 = 0.34 + 2 = 2.34$$

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} \left[k_3 (k_3^2 - 4k_1)^{0.5} \right] = \frac{1}{2 \times 0.34} \left[2.34 \times (2.34^2 - 4 \times 0.34)^{0.5} \right] = 6.98$$

Bulunan değerler formüldeki yerlerine konulursa;

$$N_{Ed} = 756 \text{ kN}$$

$$t_p \geq \sqrt{\frac{2N_{t,Ed} \gamma_{M_0}}{\theta f_{y,p} \pi f_3}} = \sqrt{\frac{2 \times 756000 \times 1.1}{0.9 \times 235 \times \pi \times 6.98}} = 18.9 < t = 20 \text{ mm}$$

uygun

Alın plakasının plastik şekil değişimi ile bulon göçmesi:

$$\theta = 0.9$$

$$f_3 = 9.23$$

$$r_2 = 131.85 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(e_2; 1.25e_1) , 1.25 \times e_1 = 1.25 \times 35 = 43.75 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(60; 43.75) = 43.75 \text{ mm}$$

$$r_1 = \left(\frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \right) = \left(\frac{193.7}{2} + 35 + 43.75 \right) = 175.6 \text{ mm}$$

$$N_{1,Ed} \leq \frac{\theta n F_{t,Rd}}{\left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \ln(r_1 / r_2)} \right)} = \frac{0.9 \times 8 \times 156}{\left(1 - \frac{1}{6.98} + \frac{1}{6.98 \times \ln(175.6 / 131.85)} \right)} = 1342 \text{ kN}$$

$N_{t,Rd} = 756 \text{ kN}$ plakanın plastikleşmesi halinde bulon kapasitesi yeterli olacaktır.

b) Kolon üzerindeki mesnetin hesabı:

Kolon üzerinde mesnet Boru 244.5/6.3 profile bağlı olarak bulunmaktadır.

(Şekil 6.14) Tasarıma esas yükler;

$$N_{t,Rd} = 756 \text{ kN}$$

$$N_{v,Rd} = N = 278 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{t,Rd}}{n} = \frac{756}{8} = 94.5 \text{ kN}$$

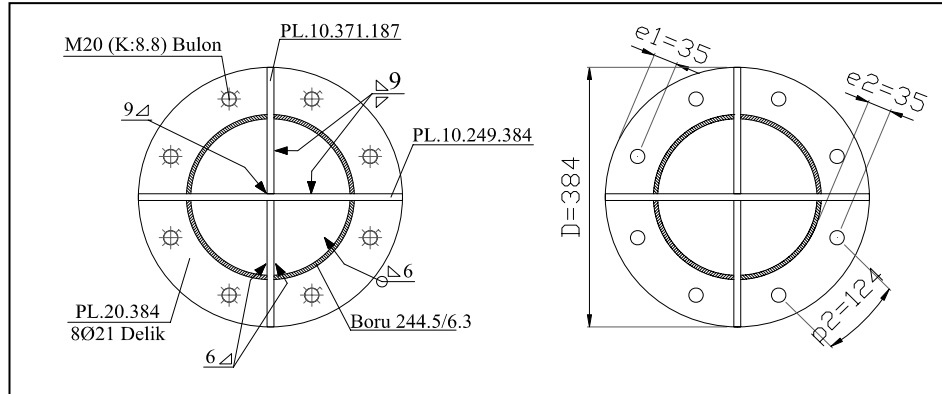
Bulon yerleşimi:

$$e_1 = 1.2d_0 = 1.2 \times 21 = 25.2 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$$

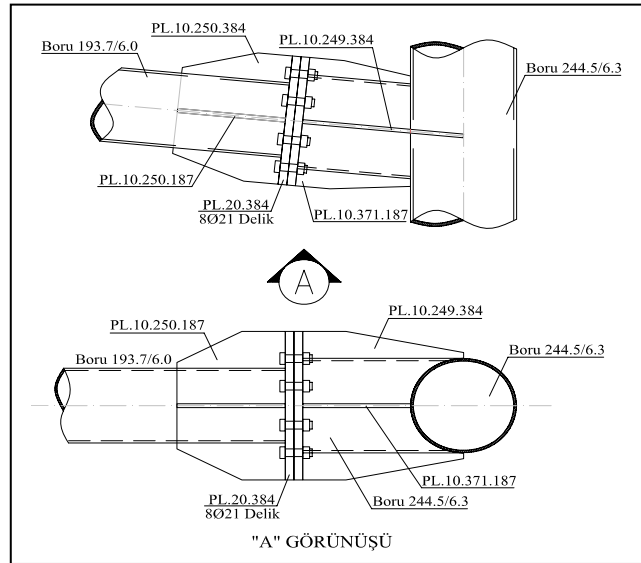
$$e_2 = 1.2d_0 = 1.2 \times 21 = 25.2 \text{ mm} < 73 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2.4d_0 = 2.4 \times 21 = 50.4 \text{ mm} < 197$$

$$p_2 = 197 \leq 200 \text{ mm (14t ve 200 mm' den küçük olanı)}$$



Şekil 6.13: Üst Başlık alın plakası detayı ve bulon yerleşimi



Şekil 6.14: Üst başlık mesnet görünüşü

Manivela etkisi ile oluşan göçme mekanizmasına göre detay hesaplarının irdelenmesi:

Alın plakasını berkitmeleri dikkate almadan, plastik şekil değişimi yaptığını düşünerek inceleyelim.

$$\theta = 0.9$$

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 = \frac{244.5}{2} + 35 = 157.25 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} = \frac{244.5 - 6.3}{2} = 119.10 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln(r_2 / r_3) = \ln(157.25 / 119.10) = 0.28$$

$$k_3 = k_1 + 2 = 0.28 + 2 = 2.28$$

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} \left[k_3 (k_3^2 - 4k_1)^{0.5} \right] = \frac{1}{2 \times 0.28} \left[2.28 \times (2.28^2 - 4 \times 0.28)^{0.5} \right] = 8.28$$

Bulunan değerler formüldeki yerlerine konulursa;

$$N_{Ed} = 756 \text{ kN}$$

$$t_p \geq \sqrt{\frac{2N_{t,Ed} \gamma_{M0}}{\theta f_{y,p} \pi f_3}} = \sqrt{\frac{2 \times 756000 \times 1.1}{0.9 \times 235 \times \pi \times 8.28}} = 17.4 < t = 20 \text{ mm}$$

uygun

Alın plakasının plastik şekil değişimi ile bulon göçmesi:

$$\theta = 0.9$$

$$f_3 = 8.28$$

$$r_2 = 157.25 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(e_2; 1.25e_1) , 1.25 \times e_1 = 1.25 \times 35 = 43.75 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(35; 43.75) = 35 \text{ mm}$$

$$r_1 = \left(\frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \right) = \left(\frac{244.5}{2} + 35 + 35 \right) = 192.25 \text{ mm}$$

$$N_{1,Ed} \leq \frac{\theta n F_{t,Rd}}{\left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \ln(r_1 / r_2)} \right)} = \frac{0.9 \times 8 \times 156}{\left(1 - \frac{1}{8.28} + \frac{1}{8.28 \times \ln(192.25 / 157.25)} \right)} = 1230 \text{ kN}$$

$N_{t,Rd} = 756 \text{ kN}$ plakanın plastikleşmesi halinde bulon kapasitesi yeterli olacaktır.

6.1.1.3 Kafes kolon – ara kafes kiriş birleşimi

Bağlantı kafes kolon üzerinden çıkan profile bağlı alın plakası ile sağlanacaktır.

(Şekil 6.15)

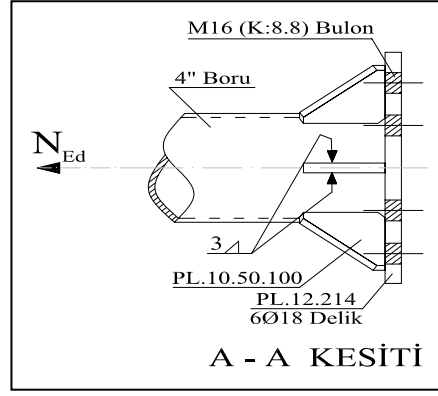
$$N_{Ed} = 69.2 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1252 \times 235}{1.10} = 267473 \text{ N} = 267.5 \text{ kN}$$

Alın plakası bulon hesabı:

Birleşim detayı için $N_{t,Rd}$ ile çalışılacaktır. Dairesel alın plakası ile 6 adet

M16 (K:8.8) bulon kullanılacaktır.



Şekil 6.15: Ara kiriş alın plakası (mm)

Çekme kuvveti kapasitesi:

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{t,Rd}}{n} = \frac{267.5}{6} = 44.58 \text{ kN}$$

Bir bulonun taşıyabileceği en büyük çekme kuvveti için

$$B_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd}) \text{ ilişkisi hesaplanmalıdır.}$$

$$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2 \text{ (K: 8.8 bulon için)}$$

$$A_s = 0.86A = 0.86 \times \frac{\pi \times 16^2}{4} = 173 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times 800 \times 173}{1.25} = 99598 \text{ N} = 99.6 \text{ kN}$$

$t_p = 12 \text{ mm}$ kalınlıklı flanş plakası kullanılacaktır.

Somun veya bulon başı zımbalama dayanımı:

M16 bulon için;

Anahtar ağız açıklığı: 24 mm

Bulon başı köşegen ölçüsü: 26.75 mm

$$d_m = \frac{24 + 26.75}{2} = 25.38 \text{ mm}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times \pi \times 25.38 \times 12 \times 360}{1.25} = 165303 \text{ N} = 165.3 \text{ kN}$$

$$B_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd} = 99.6; B_{p,Rd} = 165.3)$$

$B_{t,Rd} = 99.6 > F_{t,Ed}$ olduğundan 6 adet M16 (K:8.8) bulon yeterli olacaktır.

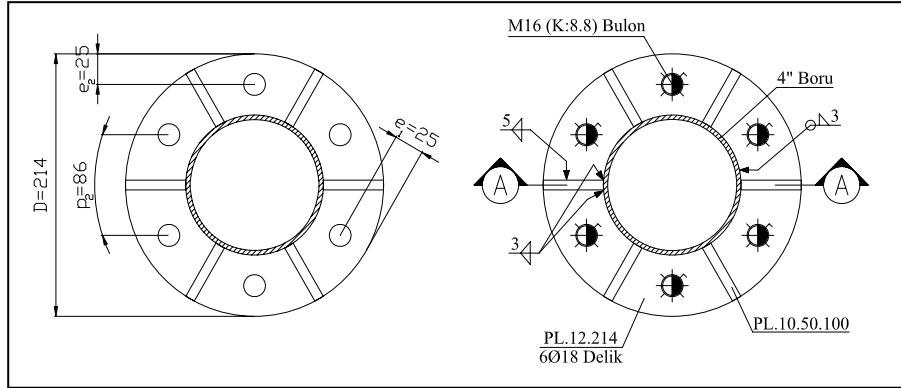
Bulon yerleşimi (Şekil 6.16) :

$$e_1 = 1.2d_0 = 1.2 \times 16 = 19.2 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1.2d_0 = 1.2 \times 16 = 19.2 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2.4d_0 = 2.4 \times 16 = 38.4 \text{ mm} < 86 \text{ mm}$$

$$p_2 = 86 \leq 14 \times 12 = 168 \text{ mm (14t ve 200mm 'den küçük olanı)}$$



Şekil 6.16: Ara giriş alın plakası (mm)

Kaynak hesapları:

Elemanın kapasitesine göre detay hesabı yapılacaktır.

$$N_{t,Rd} = 267.5 \text{ kN bulunmuştur.}$$

Tüm birleşimler köşe kaynak ile sağlanacaktır.

$$a = 3 \text{ mm, } l_w = \pi \times 114.3 = 359 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 3 \times 359 = 223850 \text{ N} = 224 \text{ kN} < N_{t,Rd} = 267.5 \text{ kN koşul}$$

sağlanmıyor. Kaynak dayanımı hesabına berkitmelerin de katkısını ekleyelim. Buna göre öncelikle berkitmeler ile başlık profili arasındaki kaynak dayanımını incelemek gerekir. Berkitme plakalarının yüksekliği 10 cm' dir.

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$\sum l_w = 2 \times (6 \times 100) = 1200 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 3 \times 1200 = 748246 \text{ N} = 748 \text{ kN} > N_{t,Rd} \text{ kaynaklar yeterlidir.}$$

Ancak bekitme plakalarının bu yükü taban plakasına da iletebilmesi gerekir. Buna göre;

$$\sum A_{pl} = 10 \times 6 \times 35 = 2100 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2100 \times 235}{1.10} = 448636 \text{ N} = 449 \text{ kN} > N_{t,Rd}$$

Plakalar da yeterlidir. Son olarak da berkitme plakalarını alın plakasına birleştiren kaynak hesabını yapmak gerekmektedir.

$$\sum l_w = 2 \times 6 \times 50 = 600 \text{ mm}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 5 \times 600 = 623538 \text{ N} = 624 \text{ kN} > N_{t,Rd}$$

Başlık profillerine etki eden yük, berkitme plakalarıyla güvenli bir şekilde alın plakasına aktarılabilir.

Manivela etkisi ile göçme mekanizmasına göre detay hesaplarının irdelenmesi

Alın plakasını berkitmeleri dikkate almadan, plastik şekil değişimi yaptığını düşünerek inceleyelim.

$$\theta = 0.9$$

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 = \frac{114.3}{2} + 25 = 82.15 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} = \frac{114.3 - 3.6}{2} = 55.35 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln(r_2 / r_3) = \ln(82.15 / 55.35) = 0.39$$

$$k_3 = k_1 + 2 = 0.39 + 2 = 2.39$$

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} \left[k_3 (k_3^2 - 4k_1)^{0.5} \right] = \frac{1}{2 \times 0.39} \left[2.39 \times (2.39^2 - 4 \times 0.39)^{0.5} \right] = 6.18$$

Bulunan değerler formüldeki yerlerine konulursa;

$$N_{t,Rd} = 267.5 \text{ kN}$$

$$\sqrt{\frac{2 \times 267500 \times 1.1}{0.9 \times 235 \times \pi \times 6.18}} = 11.97 < t_p = 12 \text{ mm plaka kalınlığı uygundur.}$$

Alın plakasının plastik şekil değişimi ile bulon göçmesi:

$$N_{1,Ed} \leq \frac{\theta n F_{t,Rd}}{\left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \ln(r_1 / r_2)} \right)}$$

Burada;

$$\theta = 0.9$$

$$f_3 = 6.18 \text{ (yukarıda elde edilmişti.)}$$

$$r_2 = \left(\frac{d_1}{2} + e_1 \right) = \left(\frac{114.3}{2} + 25 \right) = 82.15 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(e_2; 1.25e_1) , 1.25 \times e_1 = 1.25 \times 25 = 31.25 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(25; 31.25) = 25 \text{ mm}$$

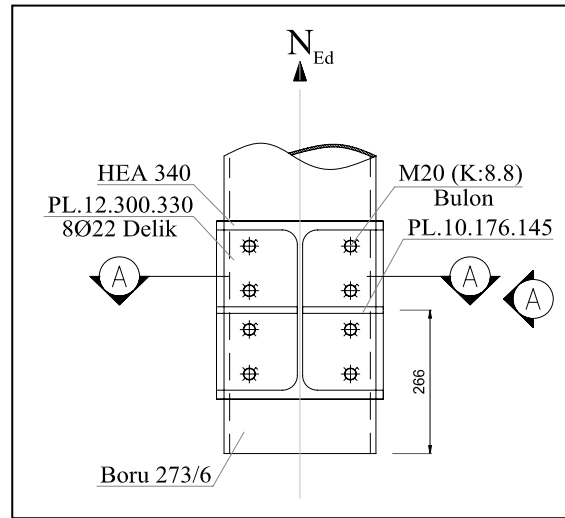
$$r_1 = \left(\frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \right) = \left(\frac{114,3}{2} + 25 + 25 \right) = 107.15 \text{ mm}$$

Değerleri yerine konulursa;

$$\frac{0.9 \times 6 \times 99.6}{\left(1 - \frac{1}{6.18} + \frac{1}{6.18 \times \ln(107.15/82.15)} \right)} = 372 \text{ kN} > N_{t,Rd} \quad \text{uygun}$$

6.1.1.4 Yan cephe kolonu ile ana taşıyıcı kafes kiriş birleşimi:

Ana taşıyıcı kafes kiriş ile yan cephe kolonların birleşimi, H profillere kaynaklı alın plakalarıyla bulonlu olarak sağlanacaktır. Boru273/6 alt başlık profilinde oluşan aksenal yük, düğüm noktasına kesme kuvveti oluşturacak ve kesme kuvvetinden dolayı oluşan moment olarak aktarılacaktır. Bütün kaynak ve bulon hesapları bu etkilere göre hesaplanacaktır. (Şekil 6.17 ve Şekil 6.18)



Şekil 6.17: Mesnet planı

Düğüm noktasındaki en olumsuz etki DS₁ kombinasyonunda alt başlık profilinde meydana gelmiştir. $N_{Ed} = 225 \text{ kN}$

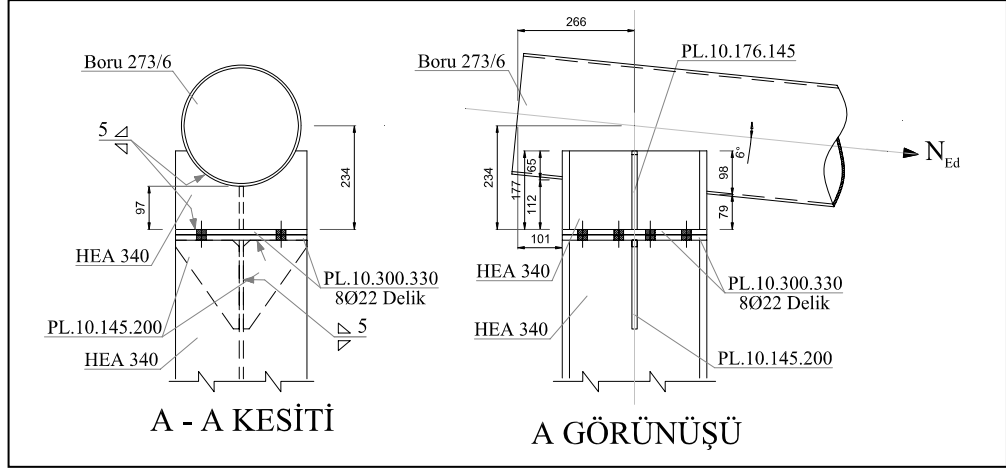
1) Çekme kuvveti etkisinde bulon seçimi:

N_{Ed} kuvvetinin düğüm noktasının merkezine olan mesafesinden dolayı oluşan moment etkisi bulonlara paylaştırılacaktır. (Şekil 6.19) Buna göre;

$$F_1 \times 23.7 + F_2 \times 7.2 = (225 \times \cos 6) \times 23.4$$

$$F_1 \times 23.7 + F_2 \times 7.2 = 5236.2 \quad (1)$$

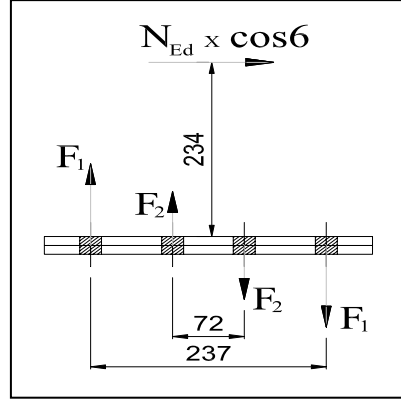
$$F_1 = 3.3F_2 \quad (2)$$



Şekil 6.18: Mesnet görünüşü

2 denklemleri 1 denkleminde yerine konulursa her bulon sırası için;

$F_1 = 203 \text{ kN}$, $F_2 = 61 \text{ kN}$ elde edilir.



Şekil 6.19: Düğüm noktasındaki yük dağılımı

M20 bulon kapasitesine bakalım.

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M_2}}$$

$k_2 = 0.9$ (Normal bulonlar için)

$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$ (8.8 kalitesinde bulon kullanılacaktır.)

$$A_s = 0.86 \frac{20^2 \times \pi}{4} = 270 \text{ mm}^2 \text{ (bulon dış dibi alanı)}$$

$\gamma_{M_2} = 1.25$ (Bulonlarda nihai durum için emniyet katsayısı)

Buna göre 1 adet M20 (K:8.8) bulon için makaslama dayanım kuvveti;

$$F_{v,Rd} = \frac{0.9 \times 800 \times 270}{1.25} = 155520 \text{ N} = 156 \text{ kN}$$

Somun veya bulon başı zımbalama dayanımı:

M20 bulon için;

Anahtar ağız açıklığı: 30 mm

Bulon başı köşegen ölçüsü: 33.53 mm

$$d_m = \frac{30 + 33.53}{2} = 31.77 \text{ mm}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times \pi \times 31.77 \times 12 \times 360}{1.25} = 206930 \text{ N} = 207 \text{ kN}$$

$$B_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd} = 156; B_{p,Rd} = 207)$$

$$B_{t,Rd} = 156 > \frac{F_{t,Ed}}{2} = 102 \text{ kN}$$

8M20 (K:8.8) bulon kullanılacaktır.

2) Makaslama etkisine göre bulon seçimi;

$a_v = 0.6$ (Kalite 4.6, 5.6, 8.8 bulonlar için)

Buna göre 1 adet M20 (K:8.8) bulon için makaslama dayanım kuvveti;

$$F_{v,Rd} = \frac{a_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M_2}} = \frac{0.6 \times 800 \times 270}{1.25} = 103748 \text{ N} = 104 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \frac{225}{8} = 28 \leq 104 \text{ seçilen bulonlar yeterlidir.}$$

Birleşim plakalarında delik cidarında ezilme kontrolü;

$$e_1 = 1.2d_0 = 1.2 \times 20 = 24 \text{ mm} < 47 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1.2d_0 = 1.2 \times 20 = 24 \text{ mm} < 59 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2.2d_0 = 2.2 \times 20 = 44 \text{ mm} < 72 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2.4d_0 = 2.4 \times 20 = 48 \text{ mm} < 192 \text{ mm}$$

$$a = \min\left(\frac{47}{3 \times 20}; \frac{72}{3 \times 20} - \frac{1}{4}; \frac{800}{360}; 1.0\right) \Rightarrow \min(0.78; 0.95; 2.22; 1.0)$$

$a = 0.78$ alınır.

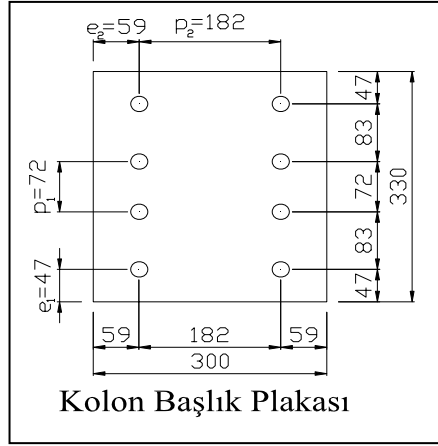
$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 a f_u d t}{\gamma_{M_2}} = \frac{2.5 \times 0.78 \times 360 \times 20 \times 12}{1.25} = 134784 \text{ N} = 135 \text{ kN} < F_{Ed}$$

HEA 340 – Boru 273/6 kaynaklı birleşimi:

$a = 5 \text{ mm}$ (kesme kuvveti için sadece HEA 340 gövdesindeki kaynaklar dikkate alınacaktır.(Şekil 6.21)

$$l_w = 240 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 5 \times (240 \times 2) = 498830 \text{ N} = 499 \text{ kN} > N_{Ed}$$



Şekil 6.20: Düğüm noktasındaki yük dağılımı

HEA 340 – Başlık plakası kaynaklı birleşimi:

Kesme kuvvetinin etkisi gövde kaynağı ile aktarılabildiğinden yeniden hesap yapılmayacaktır. Kesme kuvveti etki ile oluşan moment tesiri, kuvvet çiftine dönüştürülüp HEA 340 başlıklarına yapılacak kaynakla taşıtılacaktır.

$a = 15 \text{ mm}$ (kısmi nüfuziyetli küt kaynak)

$$l_w = 300 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 15 \times 300 = 935307 \text{ N} = 935 \text{ kN} > N_{Ed}$$

6.1.1.5 Yan cephe kolonu - ara kafes kiriş birleşim detayı:

Ana taşıyıcı kafes kiriş ile yan cephe kolonların birleşimi, H kolon profiline kaynakla birleştirilmiş başlık plakası ve boru profil ile bulonlu olarak sağlanacaktır.

Düğüm noktasındaki en olumsuz etki $1.35G + 1.5Q_{\text{rüzgar-X}}$ kombinasyonunda HEA 340 profilinde meydana gelmiştir.

$$N_{Ed} = 195 \text{ kN}$$

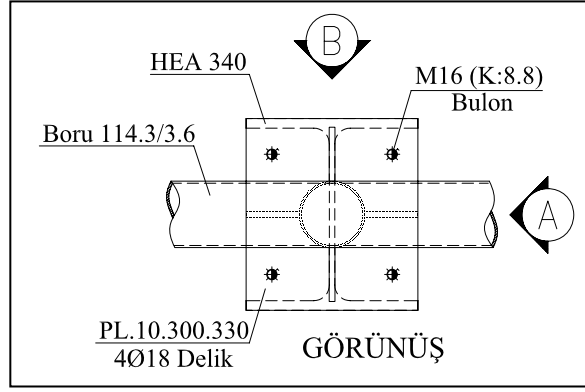
Makaslama etkisine göre bulon seçimi;

$$a_v = 0.6 \text{ (Kalite 4.6, 5.6, 8.8 bulonlar için)}$$

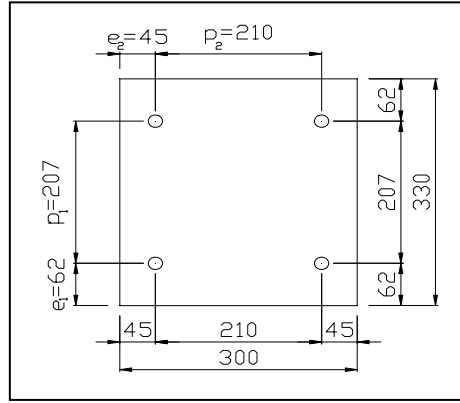
Buna göre 1 adet M16 (K:8.8) bulon için makaslama dayanım kuvveti;

$$F_{v,Rd} = \frac{a_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M_2}} = \frac{0.6 \times 800 \times 173}{1.25} = 66399 \text{ N} = 66.4 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \frac{195}{4} = 48.75 \leq 66.4 \text{ seçilen bulonlar yeterlidir}$$



Şekil 6.21: Yan Cephe Kolon – Ara Kafes Kiriş Mesnet Detayı (mm)



Şekil 6.22: Kolon başlık plakası (mm)

Birleşim plakalarında delik cidarında ezilme kontrolü;

$$e_1 = 1.2d_0 = 1.2 \times 16 = 19.2 \text{ mm} < 62 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1.2d_0 = 1.2 \times 16 = 19.2 \text{ mm} < 45 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2.2d_0 = 2.2 \times 16 = 35.2 \text{ mm} < 207 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2.4d_0 = 2.4 \times 16 = 38.4 \text{ mm} < 210 \text{ mm}$$

$$a = \min\left(\frac{62}{3 \times 16}; \frac{207}{3 \times 16} - \frac{1}{4}; \frac{800}{360}; 1.0\right) \Rightarrow \min(1.29; 4.06; 2.22; 1.0)$$

$a = 1.00$ alınır.

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5af_u dt}{\gamma_{M_2}} = \frac{2.5 \times 1.00 \times 360 \times 16 \times 10}{1.25} = 115200 \text{ N} = 115 \text{ kN}$$

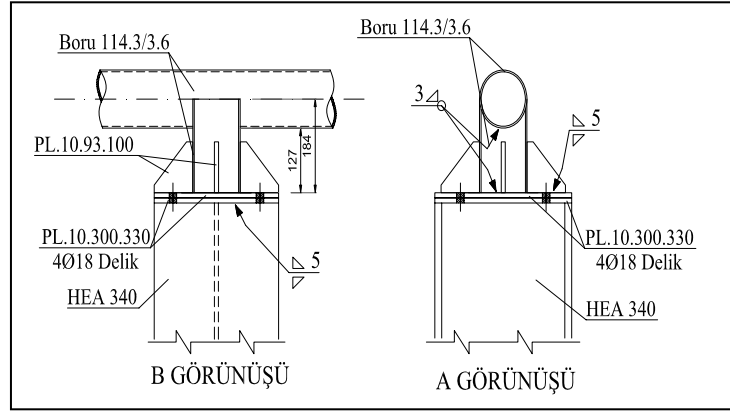
$$F_{Ed} = \frac{195}{4} = 48.75 < F_{b,Rd}$$

HEA 340 – Boru 168.3x4 kaynaklı birleşimi:

$a = 3 \text{ mm}$ (kesme kuvveti için sadece HEA 340 gövdesindeki kaynaklar dikkate alınacaktır.

$$l_w = \pi \times 168.3 = 529 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M_2}} al_w = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 3 \times 529 = 329852 \text{ N} = 330 \text{ kN} > N_{Ed}$$



Şekil 6.23: Mesnet görünüşü (mm)

6.1.1.6 Kafes kolon taban plakası hesabı:

➤ Eksenel basınç kuvveti etkisinde kontrol:

$$N_{\max,Ed} = 843 \text{ kN (basınç)}$$

$$N_{\max,Ed} = 415 \text{ kN (çekme)}$$

$$\text{Taban plakası akma dayanımı: } f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Betonarme temel için kullanılacak beton karakteristik dayanımı: } f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Beton hesap dayanımı: } f_{cj} = 25 / 1.50 = 16.67 \text{ N/mm}^2$$

Beton ezilme dayanımının hesaplanması:

Beton ezilme dayanımı:

$$c = t_p \sqrt{\frac{235}{3f_{jd}\gamma_{M0}}} = 15 \times \sqrt{\frac{235}{3 \times 16.67 \times 1.10}} = 31 \text{ mm } t_p = 15 \text{ mm alındı.}$$

$$A_{c0} = \frac{\pi(244.5 + 2 \times 31)^2}{4} - \frac{\pi(244.5 - 2 \times 31)^2}{4} + 74 \times (485 + 2 \times 205.25) = 113890 \text{ mm}^2$$

$$N_{j,Rd} = A_{c0} f_{jd} = 113890 \times 16.67 = 1898553 \text{ N} = 1899 \text{ kN} > N_{Ed}$$

uygun

➤ Eksenel çekme kuvveti etkisinde kontrol:

Manivela etkisi ile oluşan göçme mekanizmasına göre detay hesaplarının irdelenmesi:

$$\theta = 0.9$$

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 = \frac{244.5}{2} + 50 = 172.25 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} = \frac{244.5 - 6.3}{2} = 119.1 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln(r_2 / r_3) = \ln(172.25 / 119.1) = 0.37$$

$$k_3 = k_1 + 2 = 0.37 + 2 = 2.37$$

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} \left[k_3 (k_3^2 - 4k_1)^{0.5} \right] = \frac{1}{2 \times 0.37} \left[2.37 \times (2.37^2 - 4 \times 0.37)^{0.5} \right] = 6.53$$

Bulunan değerler formüldeki yerlerine konulursa;

$$N_{Ed} = 415 \text{ kN}$$

$$t_p \geq \sqrt{\frac{2N_{t,Ed} \gamma_{M_0}}{\theta f_{y,p} \pi f_3}} = \sqrt{\frac{2 \times 415000 \times 1.10}{0.9 \times 235 \times \pi \times 6.53}} = 14.5 < t = 15 \text{ mm}$$

uygun

Taban plakasının plastik şekil değişimi ile bulon göçmesi:

$$\theta = 0.9$$

$$f_3 = 6.53$$

$$r_2 = 172.25 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(e_2; 1.25e_1) , 1.25 \times e_1 = 1.25 \times 50 = 62.5 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(50; 62.5) = 50 \text{ mm}$$

$$r_1 = \left(\frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \right) = \left(\frac{244.5}{2} + 50 + 50 \right) = 222.25 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} \leq \frac{\theta n F_{t,Rd}}{\left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \ln(r_1 / r_2)} \right)} = \frac{0.9 \times 8 \times 112}{\left(1 - \frac{1}{6.53} + \frac{1}{6.53 \times \ln(222.25 / 172.25)} \right)} = 556 \text{ kN}$$

$N_{t,Rd} = 556 \text{ kN}$ plakanın plastikleşmesi halinde bulon kapasitesi yeterli olacaktır.

Bulon çekme kuvveti kontrolü:

$$\text{Her bulona gelen kuvvet; } F_{t,Ed} = \frac{415}{8} = 52 \text{ kN}$$

$$k_2 = 0.9 \text{ (Normal bulonlar için)}$$

$$f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2 \text{ (4.6 kalitesinde bulon kullanılacaktır.)}$$

$$A_s = 0.86 \times \frac{27^2 \times \pi}{4} = 492 \text{ mm}^2 \text{ (bulon dış dibi alanı)}$$

$$\gamma_{M_2} = 1.25 \text{ (Bulonlarda nihai durum için emniyet katsayısı)}$$

Buna göre 1 adet M27 (K:4.6) bulon için çekme dayanım kuvveti;

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M_2}} = \frac{0.9 \times 400 \times 492}{1.25} = 141810 \text{ N} = 112 \text{ kN}$$

Somun veya bulon başı zımbalama dayanımı:

M27 ankraj bulonu için;

Anahtar ağız açıklığı: 41 mm

Bulon başı köşegen ölçüsü: 45.20 mm

$$d_m = \frac{41 + 45.20}{2} = 43.10 \text{ mm}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times \pi \times 43.1 \times 15 \times 360}{1.25} = 350964 \text{ N} = 351 \text{ kN}$$

$$B_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd} = 142; B_{p,Rd} = 351) = 142 \text{ kN} > F_{t,Ed} = \frac{415}{8} = 52 \text{ kN}$$

Berkitme plakalarının kalınlık kontrolü:

Berkitme ağırlık merkezinden geçen kesit alanına göre plakalar çekme kuvvetine göre kontrol edilecektir.

Berkitme plakası olarak t= 12 mm' lik plakalar kullanılacaktır.

$$A_{berkitme} = 12 \times (376 + 2 \times 182) = 8880 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M_0}} = \frac{8880 \times 235}{1.10} = 1897091 \text{ N} = 1897 \text{ kN} < N_{t,Ed} = 415 \text{ kN}$$

Kaynak hesapları:

Berkitmeleri başlık profiline birleştiren kaynak:

$$a = 5 \text{ mm}, l_w = 2 \times 4 \times 300 = 2400 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M_2}} a l_w = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} \times 5 \times 2400 = 2494153 \text{ N} = 2494 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$

Başlık profilini taban plakasına birleştiren kaynak:

$$a = 5 \text{ mm}, l_w = \pi \times 244.5 = 768 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M_2}} a l_w = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} \times 5 \times 768 = 798129 \text{ N} = 798 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$

Berkitmeleri taban plakasına birleştiren kaynak:

$$a = 9 \text{ mm}, l_w = 2 \times (2 \times 376 - 12) = 1480 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M_2}} a l_w = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} \times 5 \times 1480 = 1538061 \text{ N} = 1538 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$

Bulon aderans hesabı:

Bulon çapı $\phi = 27 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm}$ olduğundan; $F_{t,bond,Rd} = \frac{1}{2.25}(\pi \phi l_b f_{bd})$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \times 1.8}{1.5} = 1.2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd} = 2.25 \times 0.7 \times 1 \times 1.2 = 1.89 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{t,bond,Rd} = \frac{1}{2.25}(\pi \times 27 \times 800 \times 1.89) = 57000 \text{ N} = 57 \text{ kN}$$

DBYBHY Madde 4.9' a göre taban plakasının kontrolü:

Temel bağlantı detaylarında düşey yükler ve depremin ortak etkisinde oluşan mesnet tepkileri kullanılacaktır. Madde 4.9'a göre temel bağlantı detayının taşıma kapasitesi aşağıdaki değerlerden küçük olanına göre incelenmelidir.

- Kolon eksenel yük kapasitesinin 1.1D_a katı:

$$A = 47.15 \text{ cm}^2$$

$$N_{bp} = 6696 \text{ kN}$$

$$1.1D_a N_{bp} = 1.1 \times 1.2 \times 6696 = 8839 \text{ kN}$$

$$N_{cp} = 2400 \times 47.15 = 113160 \text{ kg} = 1132 \text{ kN}$$

$$1.1D_a N_{bp} = 1.1 \times 1.2 \times 1132 = 1494 \text{ kN}$$

Artırılmış deprem yüklemesiyle oluşan iç kuvvetler (0.9G+2E_x)

$$N_{Ed} = 375 \text{ kN (çekme)}$$

$$N_{Ed} = 780 \text{ kN (basınç)}$$

Basınç ve çekme kapasitesinden daha küçük olduğundan bu kesit tesirleri ile çalışılacaktır.

Beton ezilmesinin kontrolü:

$$C25 \text{ beton sınıfı için } \Rightarrow p_{em} = 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{plaka} \cdot \frac{\pi \times 48.5^2}{4} = 1847 \text{ cm}^2$$

$$p = \frac{P}{F} = \frac{78000}{1847} = 42.2 \text{ kg/cm}^2 \leq p_{em} = 70 \text{ kg/cm}^2$$

uygun

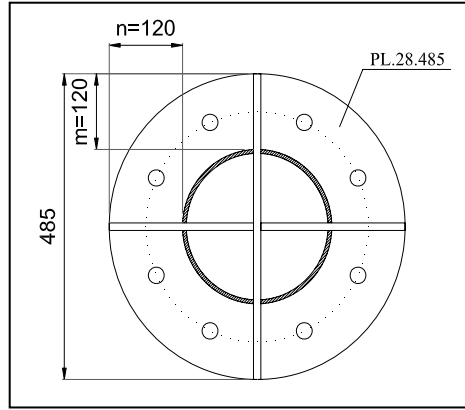
Plaka kalınlık kontrolü:

Taban levhasının kalınlık hesabında, boru kenarından plaka dışına olan mesafeler dikkate alınır.

$$m = n = 120 \text{ mm}$$

$$m \sqrt{\frac{3p}{\sigma_{em}}} = 12 \times \sqrt{\frac{3 \times 42.22}{1.7 \times 1400}} = 2.76 \text{ cm} > t = 15 \text{ mm} \text{ koşul sağlanmadı.}$$

Formüldeki emniyet gerilmesi artırılmış deprem etkisi göz önüne alındığından yönetmelikçe belirtilen 1.7 katsayısı ile büyütülmüştür. Çekme kuvvetine göre oluşan göçme mekanizmaları için hesap yaptığımızda taban plakasının kalınlığı $t=15 \text{ mm}$ olarak elde edilmişti. Ancak deprem DBYBHY' yükleme koşullarına göre basınç etkisinde plaka kalınlığı yetersiz olduğundan $t=28\text{mm}$ olarak alınacak.



Şekil 6.24: Mesnet görünüşü (mm)

Artırılmış deprem yükleri etkisinde elde edilen çekme kuvveti, dış yükler etkisinde oluşan tesirlerden daha az olduğundan yeniden kaynak hesabı yapılmayacaktır.

6.1.2 Ek Hesapları

6.1.2.1 Ana taşıyıcı kafes giriş:

➤ Alt başlık eki:

Alt başlık olarak Boru 273/6 kullanılmıştır. Ek detayı boru kesit çekme kuvveti kapasitesine göre hesaplanacaktır.(Şekil 6.25)

$$N_{t,Rd} = 1075 \text{ kN}$$

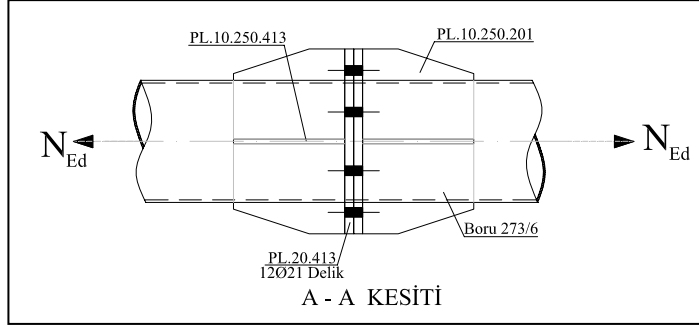
Ek detayı için dairesel başlık plakaları ile 12 adet M20 (K: 8.8) ön-gerilmeli bulon kullanılacaktır.

Çekme kuvveti kapasitesi:

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{t,Rd}}{n} = \frac{1075}{12} = 89.6 \text{ kN}$$

Bir bulonun taşıyabileceği en büyük çekme kuvveti için

$$B_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd}) \text{ ilişkisi hesaplanmalıdır.}$$



Şekil 6.25: Alt başlık eki görünüşü

$$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2 \text{ (K: 8.8 bulon için)}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times 800 \times 270}{1.25} = 155622 \text{ N} = 156 \text{ kN}$$

$$t_p = 20 \text{ mm kalınlıklı flanş plakası kullanılacaktır. (S235)}$$

Somun veya bulon başı zımbalama dayanımı:

M20 bulon için;

Anahtar ağız açıklığı: 30 mm

Bulon başı köşegen ölçüsü: 33.53 mm

$$d_m = \frac{30 + 33.53}{2} = 31.77 \text{ mm}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times \pi \times 31.77 \times 20 \times 360}{1.25} = 344884 \text{ N} = 345 \text{ kN}$$

$$B_{t,Rd} = \min(156, 345)$$

Buna göre bulon çekme dayanımı kuvveti $B_{t,Rd} = 156 \text{ kN}$ dur.

$B_{t,Rd} > F_{t,Ed}$ olduğundan 12 adet M20 (K: 8.8) ön-germeli bulon yeterli olacaktır.

Bulon yerleşimi (Şekil 6.26):

$$e_1 = 1.2 d_0 = 1.2 \times 21 = 25.2 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1.2 d_0 = 1.2 \times 21 = 25.2 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2.4 d_0 = 2.4 \times 21 = 50.4 \text{ mm} < 135$$

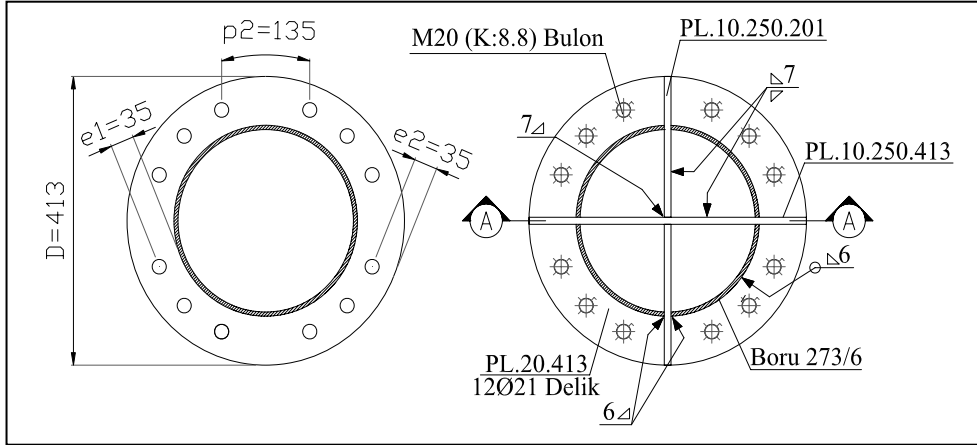
$$p_2 = 135 \leq 200 \text{ mm (14t ve 200 mm' den küçük olanı)}$$

Kaynak hesapları:

Profil ile alın plakasının birleşiminde köşe kaynak kullanılmıştır.

$$\text{S235 kalitesi için } \frac{a}{t} \geq 0.84 \alpha \text{ olmalıdır.}$$

$$\alpha = \frac{1.1}{\gamma_{M_j}} \times \frac{\gamma_{M_w}}{1.25} = \frac{1.1}{1.1} \times \frac{1.35}{1.25} = 1.08 \text{ formülü ile elde edilir.}$$



Şekil 6.26: Alt başlık eki alın plakası bulon yerleşimi (mm)

$$0.84\alpha = 0.84 \times 1.08 = 0.91$$

$$a \geq 0.91 \times 6 = 5.46 \text{ mm } a = 6 \text{ mm alınacaktır.}$$

$$\frac{6}{6} = 1 \geq 0.91$$

$$\Sigma l_w = \pi \times 273 - 4 \times 10 = 817.7 \text{ mm (berkitme plakaları için kesilen kısımlar çıkarıldı.)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M_2}} a l_w = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} \times 6 \times 817.7 = 1019735 \text{ N} = 1020 \text{ kN}$$

Kaynak dayanımı eleman çekme kuvveti dayanımına yaklaşık olarak eşittir. Ancak manivela etkisini azaltabilmek ve düğüm noktasını güçlendirmek amacıyla ek olarak berkitme plakaları da ekleyeceğiz. Yüken güvenle bulonlara kadar aktarılabilmesi için öncelikle berkitme plaka kesiti ve birleştiren kaynaklar yeterli olmalıdır. Buna göre;

$$A = (2 \times 358) \times 10 = 7160 \text{ mm}^2 \text{ (Plaka geometrik yamuk olduğundan azalan kesit ortalaması, plaka genişliği alınmıştır.)}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7160 \times 235}{1.10} = 152964 \text{ N} = 1530 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 1075$$

Berkitme plakaları- Boru 273/6 birleşim detayı:

$$a \geq 0.91 \times 6 = 5.46 \text{ mm } a = 6 \text{ mm alınacaktır.}$$

$$\Sigma l_w = 2 \times (4 \times 250) = 2000 \text{ mm (boru dışından çift taraflı köşe kaynak yapılacaktır.)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} \times 6 \times 2000 = 2494153 \text{ N} = 2494 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 1075$$

Berkitme plakalarının birbirleri ile birleşim detayı:

$$\sum l_w = 4 \times 250 = 1000 \text{ mm}$$

$$a \leq 0.7 \times 10 = 7 \text{ mm} \quad a = 7 \text{ mm alınacaktır}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 7 \times 1000 = 1454923 \text{ N} = 1455 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 1075 \text{ kN}$$

Berkitme plakaları ile alın plakası birleşim detayı:

$$\sum l_w = 2 \times (410 + 400) = 1620 \text{ mm}$$

$$a = 7 \text{ mm alınacaktır}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 7 \times 1620 = 2356975 \text{ N} = 2357 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 1075 \text{ kN}$$

Manivela etkisi ile oluşan göçme mekanizmasına göre detay hesaplarının irdelenmesi:

Alın plakasını berkitmeleri dikkate almadan, plastik şekil değişimi yaptığını düşünerek inceleyelim.

$$\theta = 0.9$$

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 = \frac{273}{2} + 35 = 171.5 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} = \frac{273 - 6}{2} = 133.5 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln(r_2 / r_3) = \ln(171.5 / 133.5) = 0.25$$

$$k_3 = k_1 + 2 = 0.25 + 2 = 2.25$$

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} \left[k_3 (k_3^2 - 4k_1)^{0.5} \right] = \frac{1}{2 \times 0.25} \left[2.25 \times (2.25^2 - 4 \times 0.25)^{0.5} \right] = 9.05$$

Bulunan değerler formüldeki yerlerine konulursa;

$$N_{Ed} = 1075 \text{ kN}$$

$$t_p \geq \sqrt{\frac{2N_{t,Ed}\gamma_{M_0}}{\theta f_{y,p} \pi f_3}} = \sqrt{\frac{2 \times 1075000 \times 1.1}{0.9 \times 235 \times \pi \times 9.05}} = 19.8 < t = 20 \text{ mm}$$

Alın plakasının plastik şekil değişimi ile bulon göçmesi:

$$\theta = 0.9$$

$$f_3 = 9.23$$

$$r_2 = 171.5 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(e_2; 1.25e_1) , 1.25 \times e_1 = 1.25 \times 35 = 43.75 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(35; 43.75) = 35 \text{ mm}$$

$$r_1 = \left(\frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \right) = \left(\frac{273}{2} + 35 + 35 \right) = 206.5 \text{ mm}$$

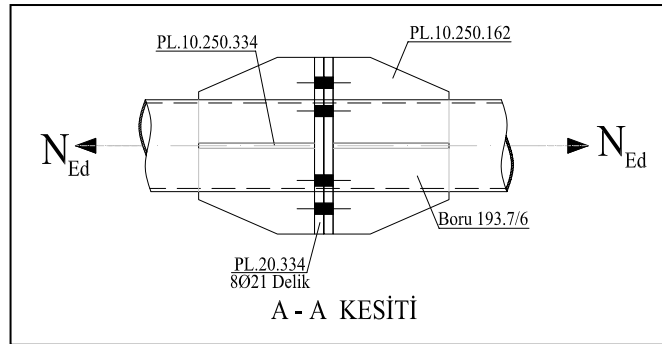
$$N_{1,Ed} \leq \frac{\theta n F_{t,Rd}}{\left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \ln(r_1 / r_2)} \right)} = \frac{0.9 \times 12 \times 156}{\left(1 - \frac{1}{9.05} + \frac{1}{9.05 \times \ln(206.5 / 171.5)} \right)} = 1132 \text{ kN}$$

$N_{t,Rd} = 1075 \text{ kN}$ plakanın plastikleşmesi halinde bulon kapasitesi yeterli olacaktır.

➤ **Üst başlık eki:**

Alt başlık olarak Boru 193.7/6 kullanılmıştır. Ek detayı boru kesit çekme kuvveti kapasitesine göre hesaplanacaktır.

$$N_{t,Rd} = 756 \text{ kN}$$



Şekil 6.27: Üst başlık eki görünüşü

Ek detayı için dairesel başlık plakaları ile 8 adet M20 (K: 8.8) ön-germeli bulon kullanılacaktır.

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{t,Rd}}{n} = \frac{756}{8} = 94.5 \text{ kN}$$

Çekme kuvveti kapasitesi:

$t_p = 20 \text{ mm}$ kalınlıklı flanş plakası kullanılacaktır. (S235)

Buna göre bulon çekme dayanımı kuvveti $B_{t,Rd} = 156 \text{ kN}$ olarak hesaplanmıştır.

$B_{t,Rd} > F_{t,Ed}$ olduğundan 8 adet M20 (K: 8.8) ön-gerilmeli bulon yeterli olacaktır.

Bulon yerleşimi (Şekil 6.28):

$$e_1 = 1.2d_0 = 1.2 \times 21 = 25.2 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1.2d_0 = 1.2 \times 21 = 25.2 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2.4d_0 = 2.4 \times 21 = 50.4 \text{ mm} < 104$$

$$p_2 = 104 \leq 200 \text{ mm} \text{ (14t ve 200 mm' den küçük olanı)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 7 \times 1000 = 1454923 \text{ N} = 1455 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 756 \text{ kN}$$

Berkitme plakaları ile alın plakası birleşim detayı:

$$\sum l_w = 2 \times (324 + 334) = 1316 \text{ mm}$$

$a = 7 \text{ mm}$ alınacaktır

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 7 \times 1316 = 1914678 \text{ N} = 1915 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 756 \text{ kN}$$

Manivela etkisi ile oluşan göçme mekanizmasına göre detay hesaplarının irdelenmesi:

Alın plakasını berkitmeleri dikkate almadan, plastik şekil değişimi yaptığını düşünerek inceleyelim.

$$\theta = 0.9$$

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 = \frac{193.7}{2} + 35 = 131.85 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} = \frac{193.7 - 6}{2} = 93.35 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln(r_2 / r_3) = \ln(131.85 / 93.35) = 0.34$$

$$k_3 = k_1 + 2 = 0.34 + 2 = 2.34$$

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} \left[k_3 (k_3^2 - 4k_1)^{0.5} \right] = \frac{1}{2 \times 0.34} \left[2.34 \times (2.34^2 - 4 \times 0.25) 34^{0.5} \right] = 6.98$$

Bulunan değerler formüldeki yerlerine konulursa;

$$N_{Ed} = 756 \text{ kN}$$

$$t_p \geq \sqrt{\frac{2N_{t,Ed}\gamma_{M_0}}{\theta f_{y,p} \pi f_3}} = \sqrt{\frac{2 \times 756000 \times 1.1}{0.9 \times 235 \times \pi \times 6.98}} = 18.9 < t = 20 \text{ mm}$$

Alın plakasının plastik şekil değişimi ile bulon göçmesi:

$$\theta = 0.9$$

$$f_3 = 6.98$$

$$r_2 = 131.85 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(e_2; 1.25e_1) , 1.25 \times e_1 = 1.25 \times 35 = 43.75 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(35; 43.75) = 35 \text{ mm}$$

$$r_1 = \left(\frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \right) = \left(\frac{193.7}{2} + 35 + 35 \right) = 166.85 \text{ mm}$$

$$N_{1,Ed} \leq \frac{\theta n F_{t,Rd}}{\left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \ln(r_1 / r_2)}\right)} = \frac{0.9 \times 8 \times 156}{\left(1 - \frac{1}{6.98} + \frac{1}{6.98 \times \ln(166.85 / 131.85)}\right)} = 765 \text{ kN}$$

$N_{t,Rd} = 756 \text{ kN}$ plakanın plastikleşmesi halinde bulon kapasitesi yeterli olacaktır.

➤ Diyagonal eki :

Diyagonal olarak Boru 88.9/3.2 kullanılmıştır. (Şekil 6.29)

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{862 \times 235}{1.10} = 184155 \text{ N} = 184.2 \text{ kN}$$

Ek detayı için dairesel başlık plakaları ile 6 adet M16 (K:8.8) ön-germeli bulon kullanılacaktır.

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{t,Rd}}{n} = \frac{184.2}{6} = 31 \text{ kN}$$

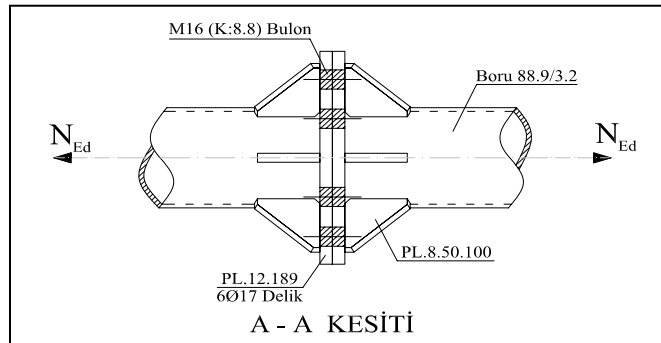
Çekme kuvveti kapasitesi:

Bir bulonun taşıyabileceği en büyük çekme kuvveti

$$A_s = 0.86 A = 0.86 \times \frac{\pi \times 16^2}{4} = 173 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times 800 \times 173}{1.25} = 99598 \text{ N} = 99.6 \text{ kN}$$

$t_p = 12 \text{ mm}$ kalınlıklı flanş plakası kullanılacaktır.



Şekil 6.29: Diyagonal eki görünüşü

Somun veya bulon başı zımbalama dayanımı:

M16 bulon için;

Anahtar ağız açıklığı: 24 mm

Bulon başı köşegen ölçüsü: 26.75 mm

$$d_m = \frac{24 + 26.75}{2} = 25.38 \text{ mm}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times \pi \times 25.38 \times 12 \times 360}{1.25} = 165303 \text{ N} = 165.3 \text{ kN}$$

$$B_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd} = 99.6; B_{p,Rd} = 165.3)$$

$B_{t,Rd} = 99.6 > F_{t,Ed}$ olduğundan 6 adet M16 (K:8.8) bulon yeterli olacaktır.

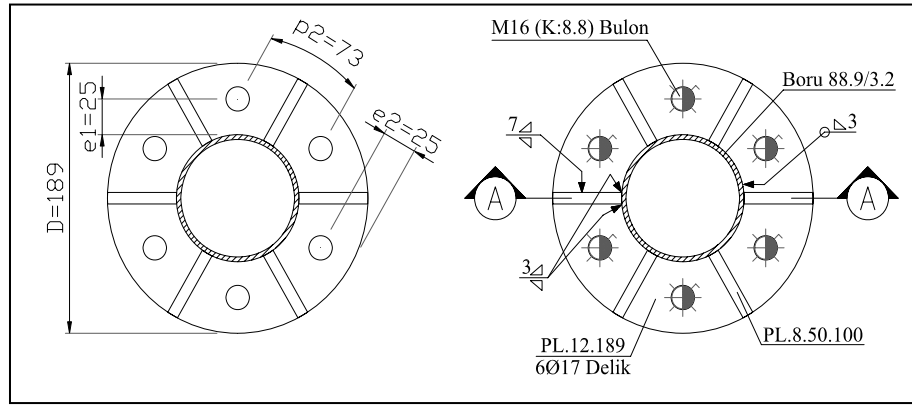
Bulon yerleşimi (Şekil 6.30) :

$$e_1 = 1.2d_0 = 1.2 \times 16 = 19.2 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1.2d_0 = 1.2 \times 16 = 19.2 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2.4d_0 = 2.4 \times 16 = 38.4 \text{ mm} < 73 \text{ mm}$$

$$p_2 = 73 \leq 14 \times 12 = 168 \text{ mm (14t ve 200mm 'den küçük olanı)}$$



Şekil 6.30: Alt başlık eki alın plakası bulon yerleşimi (mm)

Kaynak hesapları:

Elemanın kapasitesine göre detay hesabı yapılacaktır.

$$N_{t,Rd} = 184.2 \text{ kN bulunmuştur.}$$

Tüm birleşimler köşe kaynak ile sağlanacaktır.

$$a = 3 \text{ mm alınacaktır}$$

$$l_w = \pi \times 88.9 = 279.3 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 3 \times 279.3 = 174154 \text{ N} = 174 \text{ kN} < N_{t,Rd} = 184.2 \text{ kN koşul}$$

sağlanmıyor. Kaynak dayanımı hesabına berkitmelerin de katkısını ekleyelim. Buna göre öncelikle berkitmeler ile başlık profili arasındaki kaynak dayanımını incelemek gerekir. Berkitme plakalarının yüksekliği 10 cm' dir.

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$\sum l_w = 2 \times (6 \times 100) = 1200 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 3 \times 1200 = 748246 \text{ N} = 748 \text{ kN} > N_{t,Rd} \text{ kaynaklar yeterlidir.}$$

Ancak bekitme plakalarının bu yükü taban plakasına da iletebilmesi gerekir. Buna göre;

$$\sum A_{pl} = 8 \times 6 \times 35 = 1680 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1680 \times 235}{1.10} = 358909 \text{ N} = 359 \text{ kN} > N_{t,Rd}$$

Plakalar da yeterlidir. Son olarak da berkitme plakalarını alın plakasına birleştiren kaynak hesabını yapmak gerekmektedir.

$a = 7 \text{ mm}$ alınacaktır

$$\sum l_w = 2 \times 6 \times 50 = 600 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 7 \times 600 = 872953 \text{ N} = 873 \text{ kN} > N_{t,Rd}$$

Başlık profillerine etki eden yük, berkitme plakalarıyla güvenli bir şekilde alın plakasına aktarılabilir.

Manivela etkisi ile göçme mekanizmasına göre detay hesaplarının irdelenmesi

Alın plakasının, berkitmeleri dikkate almadan, plastik şekil değişimi yaptığını düşünerek inceleyelim.

$$\theta = 0.9$$

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 = \frac{88.9}{2} + 25 = 69.45 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} = \frac{88.9 - 3.2}{2} = 42.85 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln(r_2 / r_3) = \ln(69.45 / 42.85) = 0.48$$

$$k_3 = k_1 + 2 = 0.48 + 2 = 2.48$$

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} \left[k_3 (k_3^2 - 4k_1)^{0.5} \right] = \frac{1}{2 \times 0.48} \left[2.48 \times (2.48^2 - 4 \times 0.48)^{0.5} \right] = 5.29$$

Bulunan değerler formüldeki yerlerine konulursa;

$$N_{t,Rd} = 184.2 \text{ kN}$$

$$t_p \geq \sqrt{\frac{2N_{t,Rd}\gamma_{M0}}{\theta f_{y,p}\pi f_3}} = \sqrt{\frac{2 \times 184155 \times 1.1}{0.9 \times 235 \times \pi \times 5.29}} = 10.7 < t_p = 12 \text{ mm plaka kalınlığı}$$

uygundur.

Alın plakasının plastik şekil değişimi ile bulon göçmesi:

$$\theta = 0.9$$

$$f_3 = 5.29 \text{ (yukarıda elde edilmişti.)}$$

$$r_2 = 69.45 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(e_2; 1.25e_1) , 1.25 \times e_1 = 1.25 \times 25 = 31.25 \text{ mm}$$

$$e_{eff} = \min(25; 31.25) = 25 \text{ mm}$$

$$r_1 = \left(\frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \right) = \left(\frac{88.9}{2} + 25 + 25 \right) = 94.45 \text{ mm}$$

Değerleri yerine konulursa;

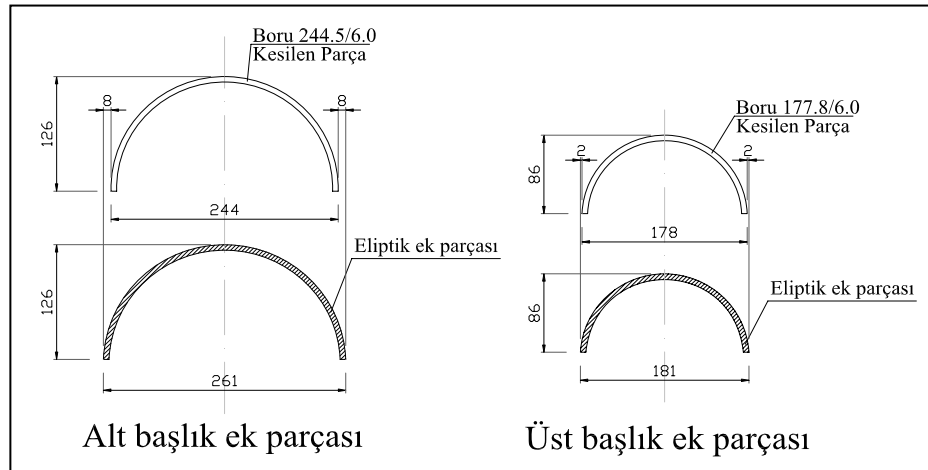
$$N_{1,Ed} \leq \frac{\theta n F_{t,Rd}}{\left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \ln(r_1 / r_2)} \right)} = \frac{0.9 \times 6 \times 99.6}{\left(1 - \frac{1}{5.29} + \frac{1}{5.29 \times \ln(94.45 / 69.45)} \right)} = 377 \text{ kN} > N_{t,Rd}$$

plakanın plastikleşmesi halinde bulon kapasitesi yeterli olacaktır.

➤ **Alt ve üst başlık kaynaklı eki:**

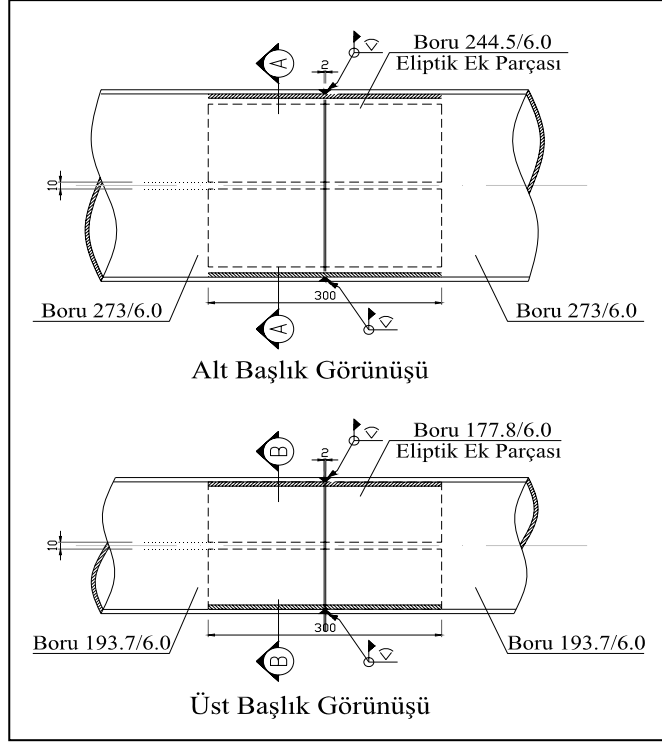
Kaynaklı ekler küt kaynak ile yapılacaktır. Üst ve alt başlık profilleri aynı çap ve et kalınlığında olduğundan, kaynağın kök nüfuziyetinin tam sağlanabilmesi için başlık profilleri içerisine boru profiller kesilerek yerleştirilecektir. Ek parçalarının, başlık profilleri içerisine tam yerleştirilebilmesi için ek parçası kesildikten sonra ağız kısmı bir miktar genişletilerek eliptik bir duruma getirilmelidir.

Yapılacak imalat Şekil 6.31’da tarif edilmiştir.



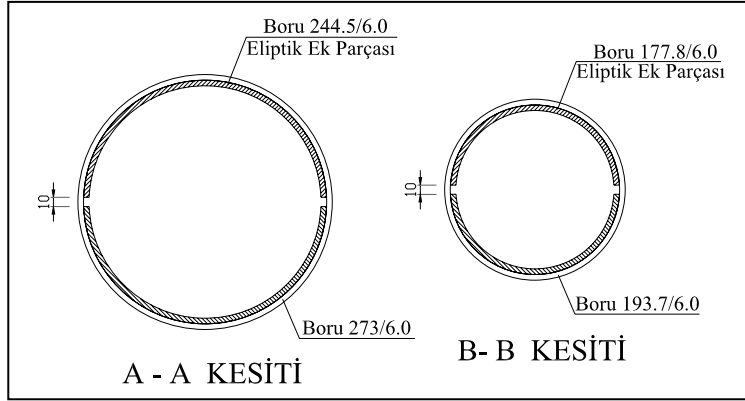
Şekil 6.31: Ek eleman imalat resmi

Başlık profilleri içerinse ek profili yerleştirilip, 2 mm boşluk bırakılarak şantiyede küt kaynak yapılacaktır. İçteki eleman sadece kaynak nüfuziyetinin tam sağlanabilmesi için eklendiğinden yük aktarmayacaktır.(Şekil 6.32)



Şekil 6.32: Alt başlık eki görünüşü

Küt kaynaklı birleşimlerde kaynak dayanımı birleştirilen elemanlardan et kalınlığı daha ince olan elemanın dayanımına eşittir. Bu birleşimde iki elemanın da çap ve et kalınlıkları aynı olduğundan kaynak dayanımı ile profillerin çekme dayanımı eşittir, hesap yapılmayacaktır.



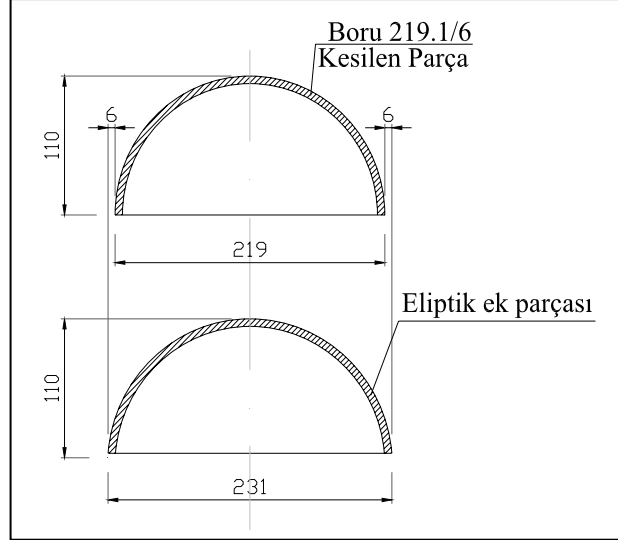
Şekil 6.33: Alt başlık eki görünüşü

Kaynak sırasında yüksek ısıdan dolayı oluşacak genleşmeyi absorbe edebilmek ve mevcut kaynaklarda ek gerilme oluşmasının önlenmesi amacıyla iki ek parçası arasında 10 mm boşluk bırakılmıştır.

6.1.2.2 Kafes kolon kaynaklı ek hesabı

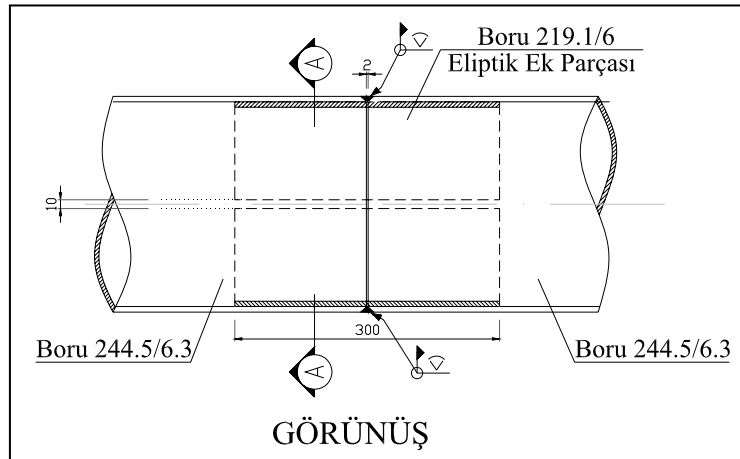
+13.40 kotunda küt kaynaklı ek yapılacaktır. Başlık profilleri aynı çap ve et kalınlığında olduğundan, kaynağın kök nüfuziyetinin tam sağlanabilmesi için başlık

profilleri içerisine Boru 219.1/6 profil kesilerek yerleştirilecektir. Ek parçasının, 244.5/6.3 başlık profili içerisine tam yerleştirilebilmesi için Boru 219.1/6 profilinden ek parçası kesildikten sonra ağız kısmı bir miktar genişletilerek eliptik bir duruma getirilmelidir. Yapılacak imalat Şekil 6.34’ de tarif edilmiştir.



Şekil 6.34: Ek eleman imalat resmi

Başlık profilleri içerinse ek profili yerleştirilip, 2 mm boşluk bırakılarak şantiyede küt kaynak yapılacaktır. İçteki eleman sadece kaynak nüfuziyetinin tam sağlanabilmesi için eklendiğinden yük aktarmayacaktır.(Şekil 6.35)



Şekil 6.35: Kolon eki görünüşü

Küt kaynaklı birleşimlerde kaynak dayanımı birleştirilen elemanlardan et kalınlığı daha ince olan elemanın dayanımına eşittir. Bu birleşimde iki elemanın da çap ve et kalınlıkları aynı olduğundan kaynak dayanımı ile profillerin çekme dayanımı eşittir, hesap yapılmayacaktır.

6.2 Model - 2

6.2.1 Mesnet birleşim hesapları

6.2.1.1 Kolon – ana taşıyıcı kiriş birleşimi:

Kiriş birleşimi mafsallı olarak tasarlandığından, detay hesabı sadece normal ve kesme kuvvet etkisine göre yapılacaktır. (Şekil 6.36)

Düğüm noktasında oluşan en olumsuz etki;

$1.35G + 1.5 Q_{kar}$ kombinasyonunda elde edilmiştir.

$N_{Ed} = 2016 \text{ kN}$ (Bütün kombinasyonlarda basınç etkisi oluşmaktadır.)

$V_{Ed} = 330 \text{ kN}$

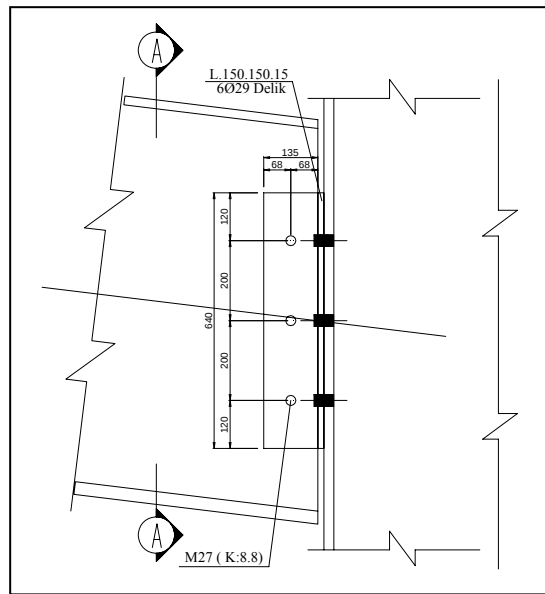
➤ **Bulon hesabı (Şekil 6.36) :**

Makaslama kuvveti kapasitesi

Alın plakası: PL.20.325.640

M27 (K:8.8) bulon kullanılacaktır.

$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$ (8.8 kalitesinde bulon kullanılacaktır.)



Şekil 6.36: Kiriş- kolon birleşimi

Birleşim kolon flanşına kaynaklı iki köşebentle, bulonlu olarak sağlanacaktır.

$$A_s = 0.86 \times \frac{27^2 \times \pi}{4} = 492.4 \text{ mm}^2 \text{ (bulon dış dibi alanı)}$$

$\gamma_{M_2} = 1.25$ (Bulonlarda nihai durum için emniyet katsayısı)

Buna göre 1 adet M27 (K:8.8) bulon için makaslama dayanım kuvveti;

$$F_{V,Rd} = \frac{0.6 \times 800 \times 492.4}{1.25} = 189082 \text{ N} = 189 \text{ kN}$$

Bulonlar çift etkili çalışacak şekilde düzenlendiğinden;

$$F_{Ed} = \frac{330}{2n} \leq 189 \Rightarrow n \geq 0.87 \approx 1 \text{ adet bulon gerekmektedir.}$$

Birleşimlerde kuvvet doğrultusunda en sondaki bulonlar arası mesafe $L_j < 15d$ olduğundan bulon makaslama dayanımında azaltma yapmaya gerek yoktur.

Kesme kuvveti için 3 M27 (K:8.8) bulon yeterlidir.

Delik cidarında ezilme kontrolü:

Kiriş gövde plakası ve köşebent flanşı kolon başlığından ince olduğundan, plaka ve köşebent incelenecektir.

$$e_1 = 120 \text{ mm} \geq 1.2d_0 = 1.2 \times 29 = 34.8 \text{ mm} \\ \leq 4t + 40 = 4 \times 15 + 40 = 100 \text{ mm}$$

$$e_2 = 60 \text{ mm} \geq 1.2d_0 = 1.2 \times 29 = 34.8 \text{ mm} \\ \leq 4t + 40 = 4 \times 15 + 40 = 100 \text{ mm}$$

$$p_1 = 200 \text{ mm} \geq 2.2d_0 = 2.2 \times 29 = 63.8 \text{ mm} \\ \leq 14t = 14 \times 15 = 210 \text{ mm} \\ \leq 200 \text{ mm}$$

$$a = \min \left(\frac{120}{3 \times 29}; \frac{200}{3 \times 29} - \frac{1}{4}; \frac{800}{360}; 1.0 \right) \Rightarrow \min (1.38; 2.05; 2.22; 1.0)$$

$a = 1.00$ alınır.

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5af_u dt}{\gamma_{M_2}} = \frac{2.5 \times 1.00 \times 360 \times 29 \times 20}{1.25} = 417600 \text{ N} = 418 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \frac{330}{3} = 110 < F_{b,Rd} = 418$$

uygun

Somun veya bulon başı zımbalama dayanımı:

M27 bulon için;

Anahtar ağız açıklığı: 41 mm

Bulon başı köşegen ölçüsü: 45.2 mm

$$d_m = \frac{41 + 45.2}{2} = 43.1 \text{ mm}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0.5\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times \pi \times 43.1 \times 15 \times 360}{1.25} = 350964 \text{ N} = 351 \text{ kN}$$

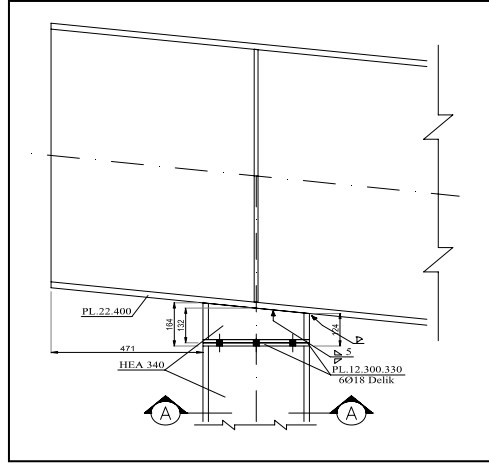
$$B_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd} = 280; B_{p,Rd} = 351)$$

$$B_{t,Rd} = 280$$

6.2.1.2 Yan cephe kolon – ana taşıyıcı kiriş birleşimi

Yan cephe kolonu, alın plakası ile eklenen bir aparat yardımıyla, ana taşıyıcı kiriş alt başlığına bağlanmaktadır. Kolon yatay uç reaksiyonu, kiriş alt başlığına olan mesafeden dolayı düğüm noktasında ek bir moment tesiri yaratır. Düğüm noktası bu yükü aktarabilmelidir.

$$V_{Ed} = 30 \text{ kN}$$



Şekil 6.37: Yan cephe kolon mesnet görünüşü (mm)

➤ Alın plakası bulon hesabı (Şekil 6.37) :

Çekme kuvveti kapasitesi:

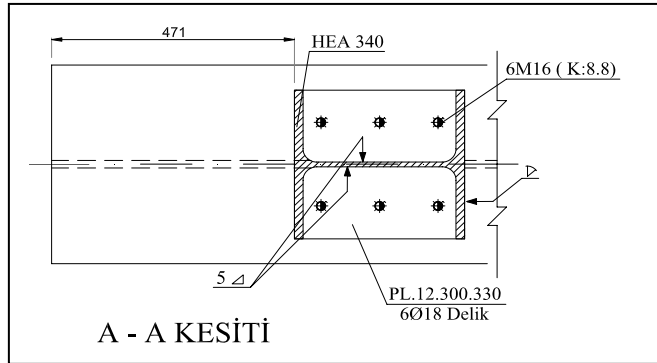
$$N_{t,Ed} = \frac{30 \times 0.136}{2 \times 0.228} = 9 \text{ kN}$$

1 adet M16 (K:8.8) bulon için çekme dayanım kuvveti;

$$F_{v,Rd} = \frac{0.9 \times 800 \times 173}{1.25} = 99598 \text{ N} = 99.6 \text{ kN} < N_{t,Ed} = 9 \text{ kN}$$

uygun

6M16 (K:8.8) bulon kullanılacaktır.



Şekil 6.38: Yan cephe kolon mesnet görünüşü (mm)

Bulon yerleşimi:

$$e_1 = 1.2d_0 = 1.2 \times 18 = 21.6 \text{ mm} < 86 \text{ mm} \leq 4t + 40 = 4 \times 12 + 40 = 88 \text{ mm}$$

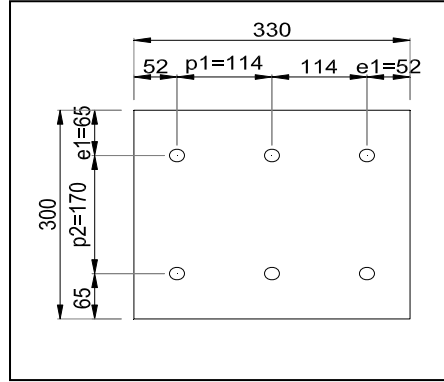
$$e_2 = 1.2d_0 = 1.2 \times 18 = 21.6 \text{ mm} < 65 \text{ mm} \leq 4t + 40 = 4 \times 12 + 40 = 88 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2.2d_0 = 2.2 \times 18 = 39.6 \text{ mm} < 96 \text{ mm} \leq 14t = 14 \times 12 = 168 \text{ mm}$$

$$\leq 200 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2.4d_0 = 2.4 \times 18 = 43.2 \text{ mm} < 170 \text{ mm} \leq 14t = 14 \times 12 = 168 \text{ mm}$$

$$\leq 200 \text{ mm}$$



Şekil 6.39: Alın plakası bulon yerleşimi (mm)

6.2.1.3 Ara çapraz mesnetinin hesabı:

Eurocode 3'e göre tasarıma esas düğüm noktası yükü:

$$N_{ED} = 700 \text{ kN (basınç-1.0G+1.0Q+1.0E}_y)$$

DBYBHY' e göre tasarıma esas düğüm noktası yükleri:

$$N_{ED} = 1240 \text{ kN (basınç kuvveti - 1.0G+1.0Q+2E}_y)$$

$$N_{ED} = 1222 \text{ kN (çekme kuvveti - 0.9G+2E}_y)$$

DBYBHY' e göre kullanılacak tasarım yükleri daha olumsuz olduğundan düğüm noktasının çözümü için DBYBHY şartları dikkate alınacaktır. Madde 4.7.2'ye göre aşağıdaki iç kuvvetlerden küçük olanına göre tasarlanacaktır.

➤ Çaprazın aksenal çekme veya basınç kapasitesi

• Kesitin basınç kuvveti kapasitesi:

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 21000}{24}} = 131.4 > \lambda = 116$$

$$\sigma_{em} = \frac{\left[1 - \frac{1}{S} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)\right] \sigma_a}{n} = \frac{\left[1 - \frac{1}{700} \left(\frac{116}{131.4}\right)\right] \times 24}{1.67} = 14.4 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1.7 \times 14.4 \times 86 = 2101 \text{ Kn}$$

Kesitin çekme kuvveti kapasitesi:

$$N_{cp} = \sigma_a A = 24 \times 86 = 2064 \text{ kN}$$

➤ Artırılmış deprem yükleri etkisinde oluşan uç kuvvetler:

$$N_{ED} = 1240 \text{ kN (basınç kuvveti - } 1.0G + 1.0Q + 2E_y \text{)}$$

$$N_{ED} = 1222 \text{ kN (çekme kuvveti - } 0.9G + 2E_y \text{)}$$

➤ Çapraz elemanın birleştiği HEA300 profilinden aktarılabilecek en büyük kuvvet; $N_{cp} = \sigma_a A = 36 \times 112.5 = 4050 \text{ kN}$

Sonuç olarak düğüm noktası hesabında artırılmış deprem etkileri ile oluşan mesnet tesirleri kullanılacaktır.

Çapraz elemanın bağlanacağı guse levhası için DBYBHY Madde 4.6.3.3'e göre aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır.

➤ Guse levhasının düzlemi içinde eğilme momenti kapasitesi, çapraz elemanın eğilme momenti kapasitesinden büyük olmalıdır.

Çapraz elemanın eğilme momenti kapasitesi;

$$M_{p,\text{çapraz}} = W_p \sigma_a = 694 \times 24 = 16656 \text{ kNcm}$$

Guse levhasının eğilme momenti kapasitesi;

$$M_{p,\text{guse}} = W_p \sigma_a = \left(2 \times 1.2 \times \frac{24.6^2}{2} \right) \times 24 = 34857 \text{ kNcm} > M_{p,\text{çapraz}}$$

➤ Guse plakasının düzlemi dışına burkulmasının önlenmesi amacıyla, guse kenar ve orta kısmına berkitme levhaları eklenmiştir.

Kullanılacak birleşim araçlarının emniyet gerilmeleri:

Uygun bulon SLP tipi birleşim için;

$$\tau_{em} = 1.7 \times 24 = 41 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{lem} = 1.7 \times 32 = 54.4 \text{ kN/cm}^2$$

Köşe kaynak için;

$$\tau_{em} = 1.7 \times 10.50 = 17.85 \text{ kN/cm}^2$$

St52 kalitesinde plakalar kullanılacaktır.

$$\sigma_{lem} = \sigma_a = 36 \text{ kN/cm}^2$$

Detay, HEA300 profilin alt flanşına aralıklı olarak kaynatılmış 2 guse plakası ve çapraz elemana kaynaklanmış tek plakanın bulonla birleşimi ile oluşturulacaktır.

Bulonlar çift tesirli olarak çalışacaktır. Sırasıyla bulonlardaki kayma gerilmeleri, guse plakalarındaki ezilme ve zayıflamış kesitte yırtılma kontrolleri yapılacaktır.

$$N_{ED} = 1240 \text{ kN (basınç kuvveti – 1.0G+1.0Q+2E_y)}$$

Bulon hesabı:

8M20 (K:8.8) bulon kullanılacaktır. Bulonlar sadece makaslama kuvveti etkisindedir.

$$A = \frac{\pi \times 2^2}{4} = 3.14 \text{ (SLP tipi uygun bulonlu birleşimlerde tüm bulon alanı dikkate alınır.)}$$

$$\tau = \frac{T}{nA} = \frac{1240/2}{8 \times 3.14} = 24.68 < \tau_{em} \quad \text{uygun}$$

Plaka kalınlık hesabı:

Çapraz üzerindeki plakanın kalınlık kontrolü:

Çapraz üzerindeki plakaya kuvvet, delik cidarından ve tek tesirli olarak aktarılır.

$$P = \frac{1240}{8} = 155 \text{ kN}$$

$$\sigma_l = \frac{155}{2 \times t} \geq 36 \Rightarrow t \geq 2.15 \text{ cm, } t=22 \text{ mm seçildi.} \quad \text{uygun}$$

Zayıflamış kesitte plaka yırtılma kontrolü;

$$\sigma = \frac{1240}{2.2 \times (26.5 - 2 \times 2.1)} = 25.27 < \sigma_{lem}$$

Guse plakalarının kalınlık kontrolü:

Kiriş üzerindeki plakaya kuvvet, delik cidarından ve çift tesirli olarak aktarılır.

$$P = \frac{1240/2}{8} = 77.50 \text{ kN}$$

$$\sigma_l = \frac{77.50}{2 \times t} \geq 36 \Rightarrow t \geq 1.08 \text{ cm, } t=12 \text{ mm seçildi.} \quad \text{uygun}$$

$$l_k = 103 \text{ cm}$$

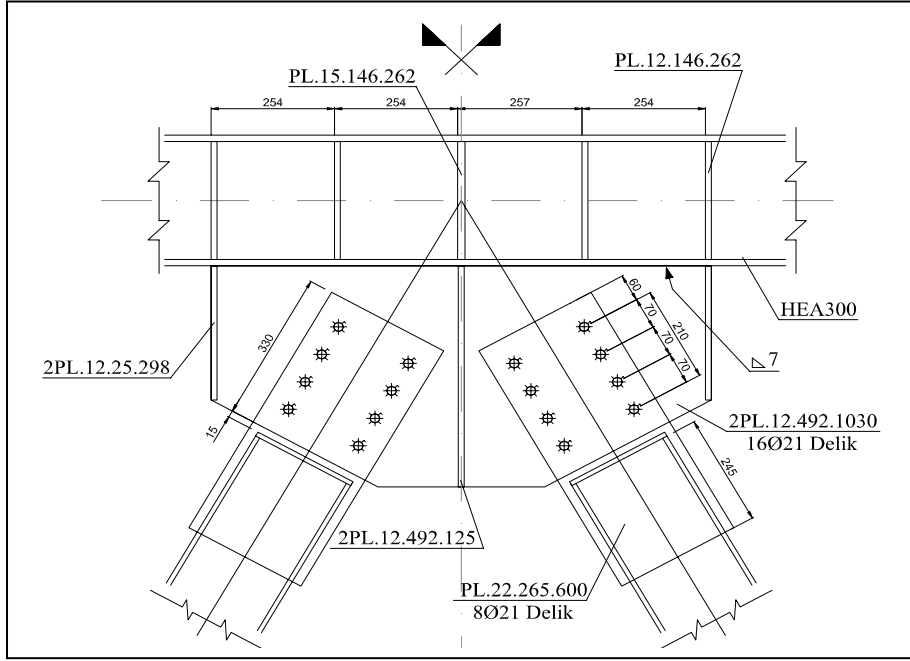
$$a = 7 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{1240/2}{1.2 \times (53.4 - 2 \times 2.1)} = 10.50 < \sigma_{lem}$$

Kaynaklı birleşimlerin kontrolü:

Guse plakalarını HEA300 profili alt başlığına birleştiren kaynaklar (Şekil 6.40)

$$\sigma = \frac{1240/2}{103 \times 0.7} = 8.60 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{uygun}$$

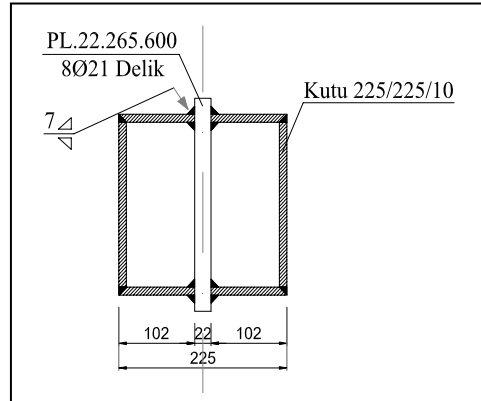


Şekil 6.40: Ara çapraz- kırş düğüm noktası (mm)

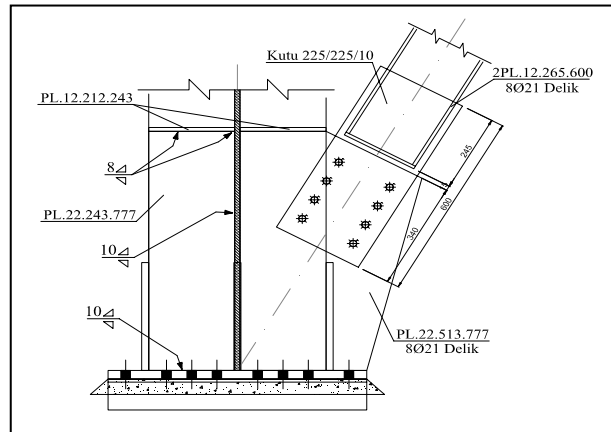
Çapraz elemanı ile guse plakasını birleştiren kaynaklar (Şekil 6.40)

$$\sigma = \frac{1240}{24.5 \times 8 \times 0.7} = 9.04 \text{ kN/cm}^2$$

uygun



Şekil 6.41: Çapraz eleman ile guse plakası kesiti (mm)



Şekil 6.42: Çapraz eleman – kolon düğüm noktası (mm)

Çaprazın kolon mesneti de benzer hesaplarla tasarlandığından tekrardan yazılmayacaktır.

6.2.1.4 Boru gergi mesnetinin hesabı:

Gergi elemanlara etki eden en büyük çekme kuvveti $N_{t,Ed} = 485 \text{ kN}$ ' a göre detay hesapları yapılacaktır. Detay 4 tesirli olarak, yüksek dayanımlı tek bulonla sağlanacaktır. (Şekil 6.43)

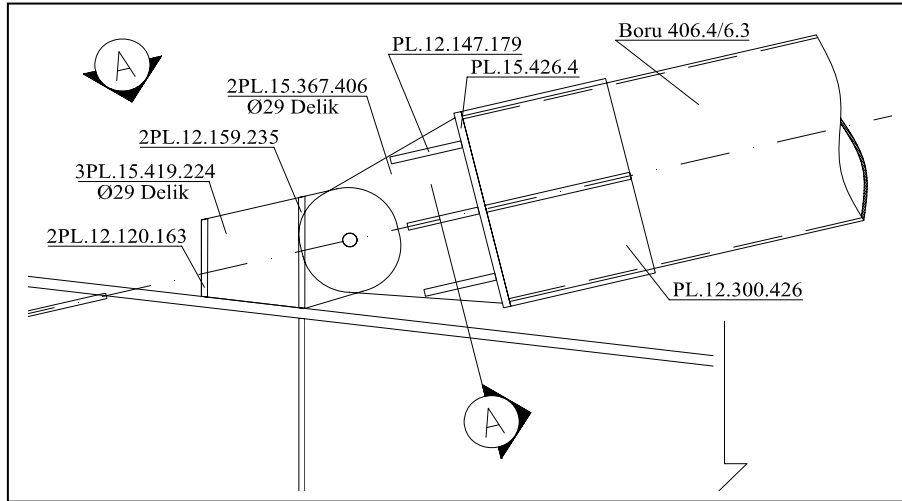
Bulon hesabı:

Bulon makaslama kuvveti etkisindedir.

M27 (K:8.8) bulon kullanılacaktır.

$$A_s = 0.86 \frac{\pi \times 27^2}{4} = 492 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{a_v f_{ub} A}{\gamma_{M_2}} = \frac{0.6 \times 800 \times 492}{1.25} = 189081 \text{ N} = 189 \text{ kN} < N_{t,Ed} = \frac{485}{4} = 121 \text{ kN}$$



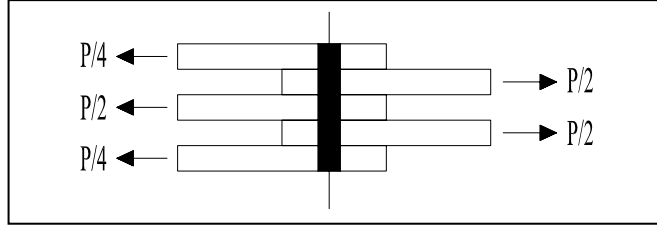
Şekil 6.43: T-model etkisi hesap parametreleri (mm)

Plaka kalınlığının hesabı:

$t = 15 \text{ mm}$ kalınlığında 5 adet plaka kullanılarak 4 tesirli bir detay oluşturulacaktır (Şekil 6.44)

$$a_b = \min\left(\frac{100}{3 \times 29}; \frac{800}{360}; 1.0\right) = \min(1.15; 2.22; 1.0) = 1.0$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M_2}} = \frac{2.5 \times 1.0 \times 0.36 \times 27 \times 15}{1.25} = 291.6 \text{ kN} < N_{t,Ed} = \frac{485}{2} = 242.5 \text{ kN}$$



Şekil 6.44: Mesnette yük dağılımı

EC-3 Bölüm 1-8' de bu tarz detaylar için bulon kenar mesafesi ve plaka kalınlıklarının kontrolü için önerilen formülasyon kullanılacaktır.

$$e_1 \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M_0}}{2t f_y} + \frac{2d_0}{3} = \frac{485000/2 \times 1.10}{2 \times 15 \times 235} + \frac{2 \times 29}{3} = 57 \text{ mm} < 100 \text{ mm} \quad \text{uygun}$$

- Zayıflamış plaka en- kesitinde kontrol:

$$F_{t,Rd} = \frac{235 \times 15 \times (225 - 29)}{1.10} = 682091 \text{ N} = 682 \text{ kN} > N_{t,Ed} = \frac{485}{2} = 242.5 \text{ kN}$$

Kaynak hesabı:

Kiriş üzerindeki kulakların kaynak kontrolü (Şekil 6.45):

$$\sum l_w = 4 \times 210 = 840 \text{ mm}$$

$a = 9 \text{ mm}$ alınacaktır

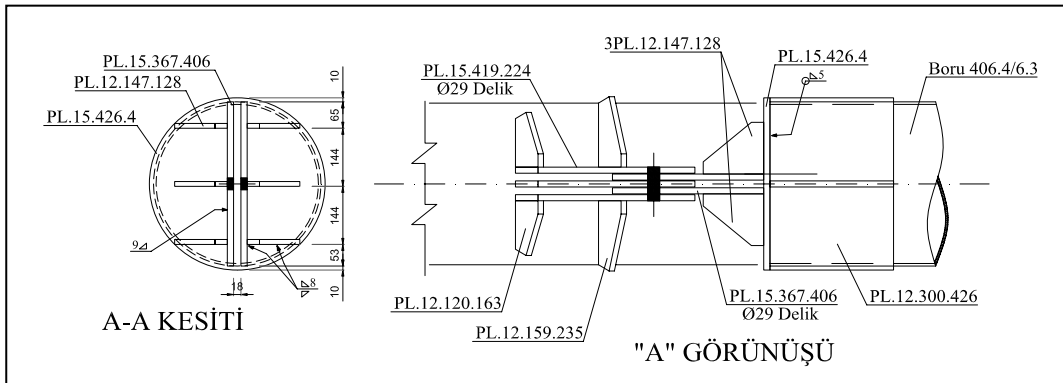
$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 9 \times 840 = 1571316 \text{ N} = 1571 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 485 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$

Boru üzerindeki plakaların kaynak hesabı

$$\sum l_w = 2 \times 323.9 = 648 \text{ mm}$$

$a = 9 \text{ mm}$ alınacaktır

$$F_{w,Rd} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.80 \times 1.25} \times 9 \times 648 = 1211784 \text{ N} = 1212 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 485 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$



Şekil 6.45: Mesnet kesit ve görünüşü

6.2.1.5 Yan ve ön cephe mafsallı kolon taban plakası hesabı:

▪ Eksenel basınç kuvveti etkisinde kontrol:

$$N_{\max,Ed} = 305 \text{ kN (basınç)}$$

$$N_{\max,Ed} = 130 \text{ kN (çekme)}$$

$$V_{\max,Ed} = 17.5 \text{ kN}$$

$$\text{Taban plakası akma dayanımı: } f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Betonarme temel için kullanılacak beton karakteristik dayanımı: } f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Beton hesap dayanımı: } f_{cj} = 25 / 1.50 = 16.67 \text{ N/mm}^2$$

Taban plakası için ön boyutlandırma:

$$A_{c0} = \frac{1}{h_c b_{fc}} \left[\frac{N_{j,Ed}}{f_{cd}} \right]^2 = \frac{1}{330 \times 300} \left[\frac{305000}{16.67} \right]^2 = 3381 \text{ mm}^2$$

$$A_{c0} = \frac{N_{j,Ed}}{f_{cd}} = \frac{305000}{16.67} = 18293 \text{ mm}^2$$

Değerlerinden büyük olanı ön boyutlandırma için dikkate alınır.

Konsol boyu büyük taban plakası altında ön boyutlandırmada basınç etkisinde dikkate alınan alan;

$$A_{c0} = 18293 \text{ mm}^2 < 0.95 h_c b_{fc} = 0.95 \times 330 \times 300 = 94050 \text{ mm}^2$$

uygun

$$A_{c0} = h_p b_p = 340 \times 365 = 124100 \text{ mm}^2 > 94050 \text{ mm}^2$$

uygun

Beton ezilme dayanımının hesaplanması:

$$A = 2$$

$$B = + (b_{fc} - t_{wc} + h_c) = + (2 \times 300 - 9.5 + 330) = 620.5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C &= - \left(\frac{N_{j,Ed}}{2 f_{jd}} \right) + (b_{fc} t_{fc} + 0.5 h_c t_{wc} - t_{fc} t_{wc}) \\ &= - \left(\frac{305000}{2 \times 16.67} \right) + (300 \times 16.5 + 0.5 \times 330 \times 9.5 - 16.5 \times 9.5) = -2787 \end{aligned}$$

$$c = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} = \frac{-620.5 + \sqrt{620.5^2 - 4 \times 2 \times (-2787)}}{2 \times 2} = 4.43 \text{ mm}$$

T-model alanların çakışma kontrolü:

$$c \leq \frac{(h_c - 2t_{fc})}{2} = \frac{330 - 2 \times 16.5}{2} = 148.5$$

uygun

$$c \leq \frac{(b_p - t_w)}{2} = \frac{340 - 9.5}{2} = 165.3$$

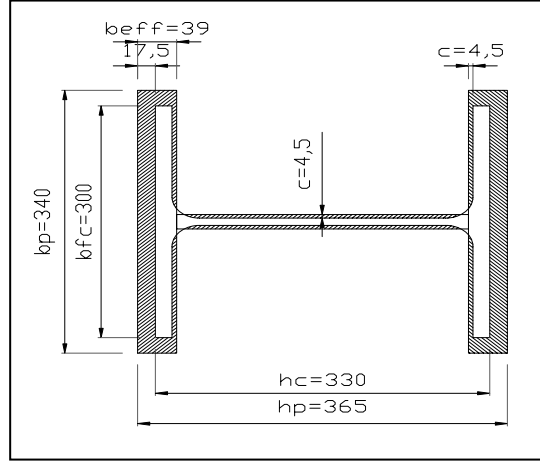
uygun

Beton ezilme dayanımı (Şekil 6.46):

$$A_{c0,f} = (300 + 20)(18 + 16.5 + 4.5) = 12480$$

$$A_{c0,w} = [330 - 2(16.5 + 4.5)](2 \times 4.5 + 9.5) = 5328$$

$$N_{j,Rd} = (2A_{c0,f} + A_{c0,w})f_{jd} = (2 \times 5328 + 12480) \times 16.67 = 385677 \text{ N} = 386 \text{ kN} \quad \text{uygun}$$



Şekil 6.46: Etkili basınç alanı (mm)

Plaka kalınlığının hesaplanması:

$$t_p \geq t_{\min} = \frac{c}{\sqrt{\frac{f_y}{3f_{jd}\gamma_{M0}}}} = \frac{4.50}{\sqrt{\frac{235}{3 \times 16.67 \times 1.10}}} = 2.18 \text{ mm} \quad t_p = 10 \text{ mm alınacak.}$$

▪ **Eksenel çekme kuvveti etkisinde kontrol:**

Bölüm 3.2.2.1' deki formülasyon izlenecektir.

Mod 1:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0.25 \Sigma l_{eff,1} t_f^2 f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.25 \times 365 \times 10^2 \times 235}{1.10} = 1949432 \text{ Nmm} = 1.95 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{[8n - 2(d_w/4)]M_{pl,1,Rd}}{2mn - (d_w/4)(m+n)} = \frac{[8 \times 79 - 2 \times (26.75/4)] \times 1949}{2 \times 59 \times 79 - (26.75/4) \times (59 + 79)} = 143.6 \text{ kN}$$

Mod 2:

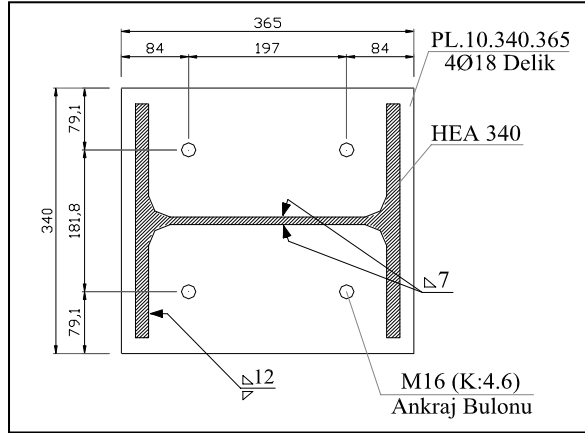
$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = 1.95 \text{ kNm}$$

Bir ankraj bulonun taşıyabileceği en büyük çekme kuvveti için;

$$B_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd}) \text{ ilişkisi hesaplanmalıdır.}$$

$$f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2 \text{ (K: 4.6 bulon için)}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times 400 \times 173}{1.25} = 49824 \text{ N} = 50 \text{ kN}$$



Şekil 6.47: Taban plakası detayları(mm)

Somun veya bulon başı zımbalama dayanımı:

M16 ankraj bulonu için;

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times \pi \times 32.10 \times 10 \times 360}{1.25} = 174260 \text{ N} = 174 \text{ kN}$$

$$B_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd} = 50; B_{p,Rd} = 174) = 50 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \times 1949 + 79 \times (4 \times 50)}{59 + 79} = 143 \text{ kN}$$

Mod 3:

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 4 \times 50 = 200 \text{ kN}$$

Manivela etkisi için tasarım dayanım kuvveti 3 ayrı durum için elde edilen değerlerin en küçüğüdür.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(143.6; 143; 200) = 143 \text{ kN}$$

Düğüm noktasının manivela etkisi de göz önüne alınarak çekme kuvveti kapasitesi

$$F_{T,Rd} = 143 \times 4 = 572 \text{ kN} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Ankraj bulonlarında kesme dayanımı:

$$a_v = 0.6 \text{ (K:4.6 ankraj bulonu)}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{a_v f_{ub} A}{\gamma_{M_2}} = \frac{0.6 \times 400 \times 201}{1.25} = 38592 \text{ N} = 38.6 \text{ kN} < F_{v,Ed}$$

6.2.1.6 Orta kolon ankastre taban plakası hesabı:

▪ Eksenel basınç kuvveti etkisinde kontrol:

$$N_{\max,Ed} = 2185 \text{ kN (basınç)} - 1.35G + 1.5Q_{\text{kar}}$$

$$1.0G + 1.0Q + 1.0E_x \quad N_{Ed} = 685 \text{ kN (basınç)}$$

$$V_{Ed} = 245 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1600 \text{ kNm}$$

Taban plakası akma dayanımı: $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

Betonarme temel için kullanılacak beton karakteristik dayanımı: $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

Beton hesap dayanımı: $f_{jd} = f_{cd} = 25 / 1.50 = 16.67 \text{ N/mm}^2$

Taban plakası için ön boyutlandırma:

$$A_{c0} = \frac{1}{h_c b_{fc}} \left[\frac{N_{j,Ed}}{f_{cd}} \right]^2 = \frac{1}{1100 \times 500} \left[\frac{2185000}{16.67} \right]^2 = 31237 \text{ mm}^2$$

$$A_{c0} = \frac{N_{j,Ed}}{f_{cd}} = \frac{2185000}{16.67} = 131074 \text{ mm}^2$$

Değerlerinden büyük olanı ön boyutlandırma için dikkate alınır.

Büyük konsollu taban plakası altında ön boyutlandırmada basınç etkisinde dikkate alınan alan;

$$A_{c0} = 131074 \text{ mm}^2 < 0.95 h_c b_{fc} = 0.95 \times 1100 \times 500 = 522500 \text{ mm}^2 \quad \text{uygun}$$

$$A_{c0} = h_p b_p = 1400 \times 730 = 1022000 \text{ mm}^2 > 131074 \text{ mm}^2 \quad \text{uygun}$$

Beton ezilme dayanımının hesaplanması:

Flanş kalınlığı 25 mm olduğundan $t_p = 28 \text{ mm}$ alınacak. Kabul edilen plaka kalınlığına göre “c” değerini hesaplayalım. (Şekil 6.48)

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_y}{3 f_{cj} \gamma_{M0}}} = 28 \times \sqrt{\frac{235}{3 \times 16.67 \times 1.10}} = 58 \text{ mm}$$

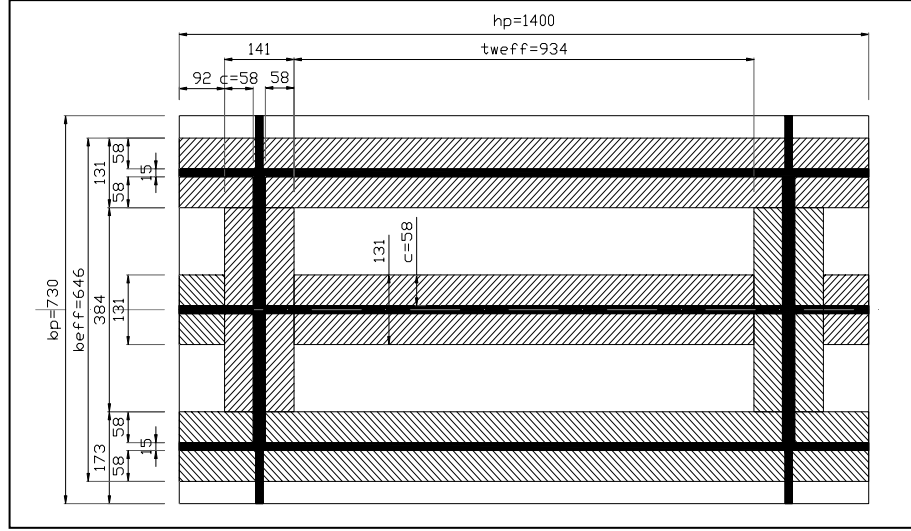
$$A_{c0,f} = 646 \times 141 = 91086$$

$$A_{c0,w} = 6 \times 131 \times 92 + 3 \times 131 \times 934 = 439374$$

$$N_{j,Rd} = (2 A_{c0,f} + A_{c0,w}) f_{cj} = (2 \times 91086 + 439374) \times 16.67$$

$$= 10361172 \text{ N} = 10361 \text{ kN}$$

uygun



Şekil 6.48: Taban plakası etkili basınç alanı (mm)

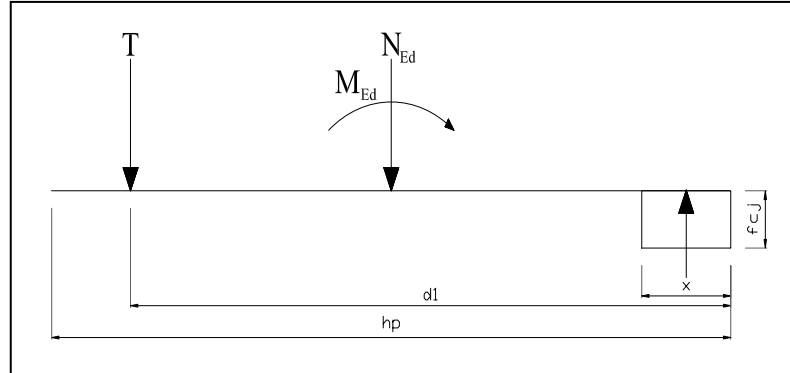
Taban plakası için moment ve normal kuvvet etkileşimli en büyük basınç kuvvetini hesaplayalım. Eurocode 2' ye göre taban plakası altında basınç bölgesinde dikdörtgen bir gerilme alanı oluşacaktır. “X” “mesafesi tarafsız plastik eksenin yeridir. Basınç bloğunun genişliği 0.8X kadar olacaktır.(Şekil 6.49)

Çekme bölgesindeki bulon aksına göre moment alalım;

$$M_{Ed} = F_c(d_1 - 0.4x) - \frac{N_{Ed}}{2} \times (2d_1 - a)$$

$F_c = 0.8xb_{eff}f_{cj}$ formülünü ilk formüldeki yerine koyarsak;

$$M_{Ed} = 0.8xd_1b_{eff}f_{cj} - 0.32x^2b_{eff}f_{cj} - \frac{N_{Ed}}{2}(2d_1 - h_p) \text{ elde edilir.}$$



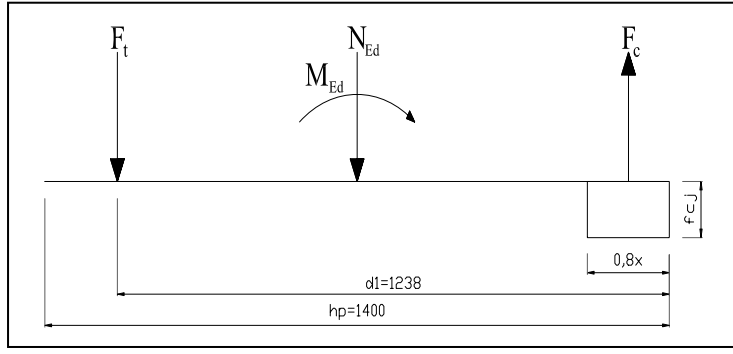
Şekil 6.49: Taban plakası yük dağılım parametreleri

$$1600 \times 10^6 = 0.8x1238 \times 646 \times 16.67 - 0.32x^2 \times 646 \times 16.67 - \frac{685000}{2}(2 \times 1238 - 1400)$$

$$1600 \times 10^6 = 10665439x - 3446x^2 - 368530000 \Rightarrow x = 196.63 \text{ mm}$$

$$F_c = 0.8xb_{eff}f_{cj} = 0.8 \times 196.63 \times 646 \times 16.67 = 1693979 \text{ N} = 1694 \text{ kN}$$

$$F_t = F_c - N_{Ed} = 1694 - 685 = 1010 \text{ kN}$$



Şekil 6.50: Taban plakası yük dağılım parametreleri

Çekme bölgesinde bulon çapının kontrolü:

Her bulona gelen kuvvet; $F_{t,Ed} = \frac{1010}{8} = 133 \text{ kN}$

$k_2 = 0.9$ (Normal bulonlar için)

$f_{ub} = 600 \text{ N/mm}^2$ (6.8 kalitesinde bulon kullanılacaktır.)

$A_s = 0.86 \times \frac{27^2 \times \pi}{4} = 492 \text{ mm}^2$ (bulon diş dibi alanı)

$\gamma_{M_2} = 1.25$ (Bulonlarda nihai durum için emniyet katsayısı)

Buna göre 1 adet M27 (K:6.8) bulon için çekme dayanım kuvveti;

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M_2}} = \frac{0.9 \times 600 \times 492}{1.25} = 212715 \text{ N} = 213 \text{ kN}$$

Somun veya bulon başı zımbalama dayanımı:

M27 bulon için;

Anahtar ağız açıklığı: 41 mm

Bulon başı köşegen ölçüsü: 45.2 mm

$$d_m = \frac{41 + 45.2}{2} = 43.10 \text{ mm}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times \pi \times 43.10 \times 28 \times 360}{1.25} = 655132 \text{ N} = 655 \text{ kN}$$

$$B_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd} = 213; B_{p,Rd} = 655) = 213 \text{ kN} > F_{t,Ed} = 133 \text{ kN}$$

Bulon aderans hesabı:

Bulon çapı $\phi = 27 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm}$ olduğundan; $F_{t,bond,Rd} = \frac{1}{2.25} (\pi \phi l_b f_{bd})$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \times 1.8}{1.2} = 1.5 \text{ N/mm}^2 \text{ (En olumsuz mesnet etkisi depremlı$$

kombinasyonda oluştuğundan $\gamma_c = 1.2$ alındı.

$$f_{bd} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd} = 2.25 \times 0.7 \times 1 \times 1.5 = 2.36 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{t,bond,Rd} = \frac{1}{2.25} (\pi \times 27 \times 800 \times 2.36) = 71176 \text{ N} = 71.2 \text{ kN} < F_{t,Ed} = \frac{1010}{8} = 133 \text{ kN}$$

Bulon yzeylerinde oluşan yzeyssel srttınme, oluşan çekme kuvvetini temele aktarmak için yetersiz olduğundan, UNP140 ankraj profilleri (S235) kullanılacaktır.

Ankraj profillerinin üst başlık yzeyi ile beton arasında basınç gerilmesi kontrolü:

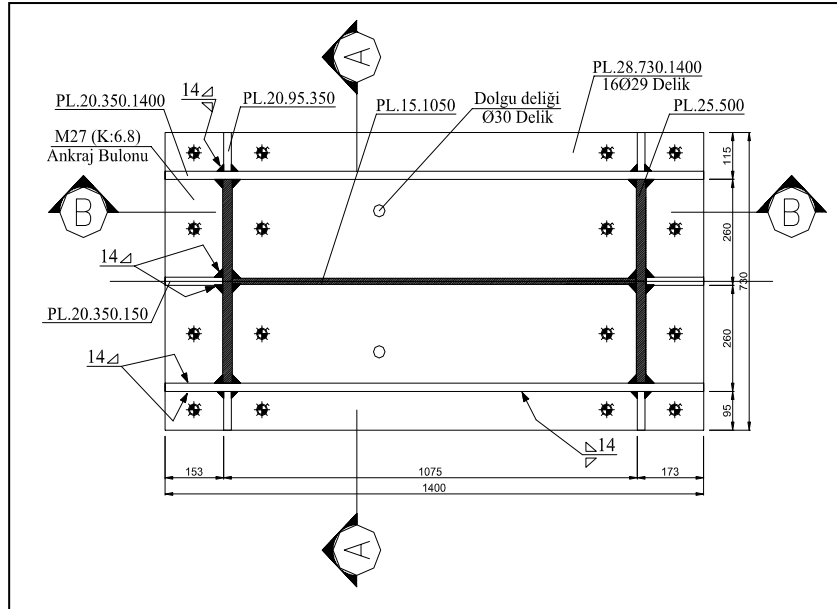
$$p = \frac{4 \times 133}{2 \times 6.0 \times 73} = 0.61 \text{ kN/cm}^2 < p_{em} = 1.67 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{uygun}$$

Ankraj profillerinde eğilme dayanımının kontrolü:

$$M_{Ed} = 3804 \text{ kN.cm (profil ortasında elde edilen moment değeri)}$$

$$M_{Rd} = 2 \times \frac{103 \times 23.5}{1.10} = 4400 \text{ kNcm} > M_{Ed} = 3804 \text{ kN.cm} \quad \text{uygun}$$

Akma dayanımı 300 Mpa' dan büyük ankraj bulonlarının bükülmesi yzeyssel çatlaklar oluşturup, çekme mukavemetini düşüreceğinden, ankrajlar düz kullanıldı.



Şekil 6.51: Taban plakası detayı

- **Manivela kuvveti etkisinde plaka kalınlık kontrolü:**

Bölüm 3.2.2.1' deki formülasyon izlenecektir.

$$L_b^* = \frac{8.8m^3 A_s}{\Sigma l_{eff,t} t_f^3} = \frac{8.8 \times 39^3 \times 492}{730 \times 25^3} = 22.53 \text{ mm}$$

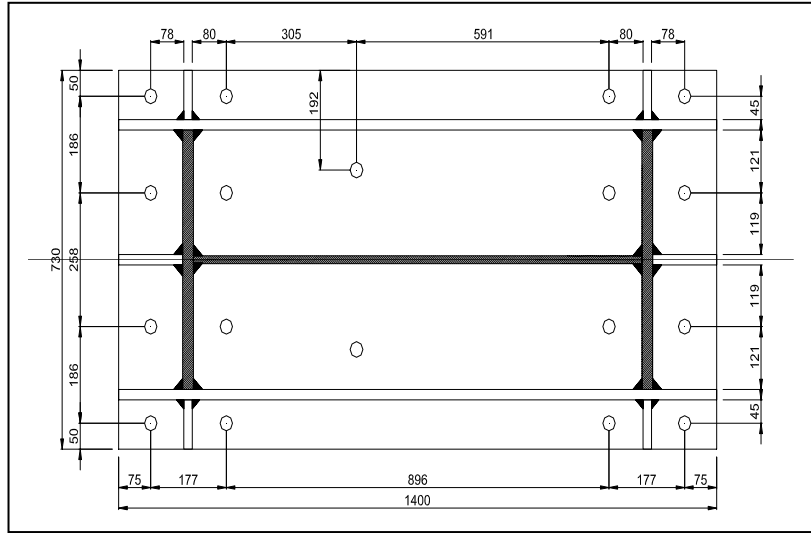
$$L_b = 8 \times 27 + 50 + 28 + 50 = 344 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0.25 \Sigma l_{eff,t} t_f^2 f_y}{\gamma_{M_0}} = \frac{0.25 \times 646 \times 25^2 \times 235}{1.10} = 21563921 \text{ Nmm} = 21.6 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{2 \times 21564}{39} = 1106 \text{ kN} > F_{t,Ed} = 1010 \text{ kN}$$

uygun

Dolayısı ile taban plakası için alınan $t=28 \text{ mm}$ kalınlığı yeterlidir.



Şekil 6.52: Taban plakası bulon yerleşimi

Taban plakasının moment dayanımı;

$$M_{Rd} = F_{2s,Rd} d_b + A_{eff} f_i d_c$$

$$F_{2s,Rd} = n F_{s,Rd} = 16 \times \frac{235 \times 492}{1.25} = 1479936 \text{ N} = 1480 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 1479936 \times 538 + (233 \times 646 - 2 \times 92 \times 126.5) \times 16.67 \times 584 = 2034942066 \text{ Nmm} = 2035 \text{ kNm} > M_{Ed}$$

uygun

Taban plakasının dönme rijitliği:

$$M_{el,Rd} = 3347 \text{ kNm (kolon moment dayanımı)}$$

$$M_{Ed} = 1600 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 1600 \leq \frac{2}{3} M_{Rd} = 2231 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = 1.0$$

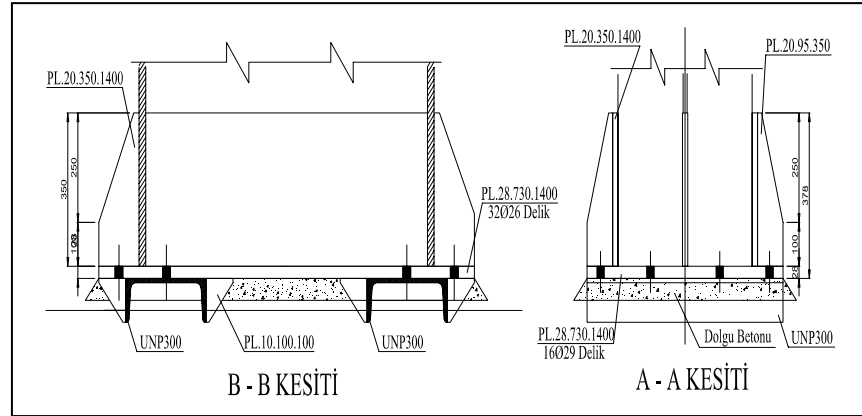
$$k_{13} = \frac{E_c \sqrt{b_{eff} l_{eff}}}{1.275 E} = \frac{21000 \sqrt{646 \times 233}}{1.275 \times 210000} = 30.43 \text{ basınç etkisindeki beton}$$

$$k_{15} = \frac{0.425 l_{eff} t_p^3}{m^3} = \frac{0.425 \times 646 \times 28^3}{39^3} = 101.6 \text{ çekme etkisinde eğilme}$$

$$k_{16} = \frac{2A_s}{L_b} = \frac{2 \times 492}{344} = 2.86 \text{ manivela etkisi olmayan durumda çekme etkisinde ankraj}$$

$$z = 1121 \text{ mm}$$

$$S_j = \frac{Ez^2}{\mu \sum_i \frac{1}{k_i}} = \frac{210000 \times 1121^2}{1.0 \left(\frac{1}{30.43} + \frac{1}{101.6} + \frac{1}{2.86} \right)} = 6.73 \times 10^{11} \text{ Nmm} \quad \text{uygun}$$



Şekil 6.53: Taban plakası kesitleri

Berkitme kalınlığının kontrolü:

Taban plakası altında kalan basınç bloğunun ağırlık merkezinden kolon flanşına göre moment alınır.

$$F_c = 1694 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{1694/3 \times 71}{1075} = 37.3 \text{ kNm/plaka}$$

$$V_{Ed} = \frac{1694}{3} = 565 \text{ kN/plaka}$$

Bütün taban plakası berkitmeleri elastik limit içerisinde kalacak şekilde kontrol edilmelidir. Berkitme plakalarını tasarımı için 2 yöntem vardır. Birincisi, yan berkitme plakalarının, uygulanan momenti taban plakası ile ilişkileri olmadan taşıdığı kabulüne dayanır. Bu durum berkitme plakasının tasarımı için tedbirli bir yaklaşımdır. İkinci yöntem ise, berkitme ve taban plakalarını birlikte çalıştığı kabulüdür. Bu durumda elemanları birleştiren kaynak hesapları titizlikle yapılmalıdır. Burada berkitme plakalarının taban plakasından ayrı çalıştığı kabul edilmiştir.

$$h_{berkitme} = \sqrt{\frac{6M_{Ed}}{t f_y}} = \sqrt{\frac{6 \times 56 \times 10^6}{15 \times 235}} = 309 \text{ mm}$$

$h_{berkitme} = 350 \text{ mm}$ alınacak.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M_0}} = \frac{(350 \times 15) \times 235}{\sqrt{3} \times 1.10} = 674551 = 675 \text{ kN} > V_{Ed} = 565 \text{ kN} \quad \textbf{uygun}$$

$V_{Ed} = 565 \text{ kN} > 0.5V_{pl,Rd} = 337.5$ olduğundan moment kesme kuvveti etkileşimi incelenmelidir.

Plaka kesit sınıfının belirlenmesi:

$$\frac{c}{t} \leq 10\varepsilon \Rightarrow c \leq 10\varepsilon t \text{ olmalıdır.}$$

$$c = 10 \times 1.00 \times 15 = 150 \text{ mm}$$

Flanş genişliği ve derinliği boyunca c mesafesi alındığında, kesişen noktanın berkitme plakası dışında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla berkitme kesit sınıfı 2 olmaktadır.

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \times 565}{675} - 1 \right)^2 = 0.45$$

$$W_{pl,y} = 2 \times 15 \times 175 \times 87.5 = 459375 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[W_{pl,y} - \frac{\rho A_w^2}{4t_w} \right] f_y}{\gamma_{M_0}} = \frac{\left[459375 - \frac{0.45 \times 5250^2}{4 \times 15} \right] \times 235}{1.10}$$

$$= 53976563 \text{ Nmm} = 54 \text{ kNm} > M_{Ed} = 37.3 \text{ kNm/plaka} \quad \textbf{uygun}$$

Kaynak hesabı:

Kolon gövde ve flanş taban plakasına küt kaynakla birleştirileceğinden hesabı yapılmayacaktır.

$$F_t = 1010 \text{ kN}$$

Berkitmeler ile kolon flanşları köşe kaynakla birleştirilecektir.

$$a \leq 0.7 \times 15 = 10.5 \text{ mm} \quad a = 10 \text{ mm} \text{ alınacaktır.}$$

$$\Sigma l_w = 4 \times 300 = 1200 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M_2}} a l_w = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} \times 10 \times 1200 = 2494153 \text{ N} = 2494 \text{ kN} > F_t$$

DBYBHY' Madde 4.9' a göre taban plakasının kontrolü:

Temel bağlantı detaylarında düşey yükler ve depremin ortak etkisinde oluşan mesnet tepkileri kullanılacaktır. Madde 4.9'a göre temel bağlantı detayının taşıma kapasitesi aşağıdaki değerlerden küçük olanına göre incelenmelidir.

- Kolon eğilme momenti kapasitesi:

$$W_p = 17572 \text{ cm}^3$$

$$M_{p,y} = 17572 \times 24 = 421728 \text{ kNcm}$$

$D_a = 1.2$ (S235 çeliğinden imal edilen hadde profiller)

$$1.1D_a M_{p,y} = 1.1 \times 1.2 \times 421728 = 556700 \text{ kNcm}$$

- Kolon eksenel yük kapasitesi:

$$A = 407.5 \text{ cm}^2$$

$$N_{bp} = 6696 \text{ kN}$$

$$1.1D_a N_{bp} = 1.1 \times 1.2 \times 6696 = 8839 \text{ kN}$$

- Artırılmış deprem yüklemesiyle oluşan iç kuvvetler (0.9G+2E_x)

$$V = 485 \text{ kN}$$

$$N = 685 \text{ kN}$$

$$M = 3200 \text{ kNm}$$

Bu yükleme kombinasyonu etkisinde elde edilen kesit tesirleri, moment ve basınç kapasitesinden daha küçük olduğundan değerlerle ile çalışılacaktır.

$$c = l/4 = 140/4 = 35 \text{ cm}$$

$$e = l - f - c/2 = 140 - 16.25 - 35/2 = 106.25 \text{ cm}$$

Bulonlar için maksimum çekme kuvveti, beton için ise en büyük basınç gerilemesini elde edebilmek için bulon ve basınç bloğu eksenine göre moment alacağız. Bunun için en büyük ve en küçük normal kuvvetin elde edildiği kombinasyonları kullanmak gerekmektedir. Bunlar;

$$0.9G+2E_x \quad V = 485 \text{ kN}$$

$$P_{\max} = 685 \text{ kN}$$

$$M = 3200 \text{ kNm}$$

$$1.0G + 1.0Q+1.0E_x \quad V = 245 \text{ kN}$$

$$P_{\min} = 615 \text{ kN}$$

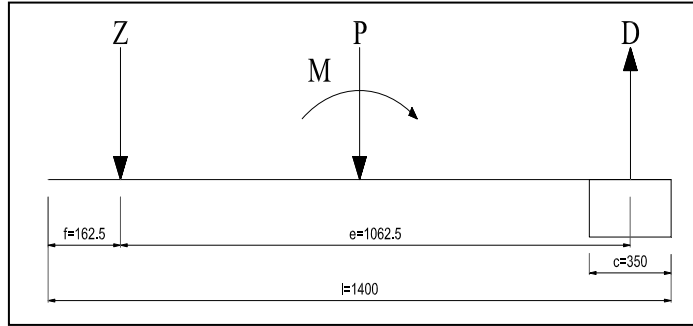
$$M = 1600 \text{ kNm}$$

$$Z_{\max} e + P_{\min} \frac{l-c}{2} - M_1 = 0$$

$$D_{\max} e + P_{\max} \left(\frac{l}{2} - f \right) - M_2 = 0$$

$$Z_{\max} \times 106.25 + 615 \times \frac{140-35}{2} - 160000 = 0 \Rightarrow Z_{\max} = 2707 \text{ kN}$$

$$D_{\max} \times 106.25 + 615 \times \left(\frac{140}{2} - 16.25 \right) - 320000 = 0 \Rightarrow D_{\max} = 1160 \text{ kN}$$



Şekil 6.54: Taban plakası yük dağılım parametreleri

Ankraj bulonlarının kontrolü:

Çekme bölgesinde 8M27 (K:6.8) ankraj bulonu kullanılmıştır.

$$F_k = \frac{0.86 \times \pi \times 2.7^2}{4} = 49.24 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_z = \frac{2707}{8 \times 49.24} = 6.87 \text{ kN/cm}^2 < 1.7 \sigma_{em} = 1.7 \times 11.2 = 19.1 \text{ kN/cm}^2$$

uygun

Beton ezilmesinin kontrolü:

$$p = \frac{1160}{73 \times 35} = 0.45 < p_{em} = 0.70 \text{ kN/cm}^2$$

uygun

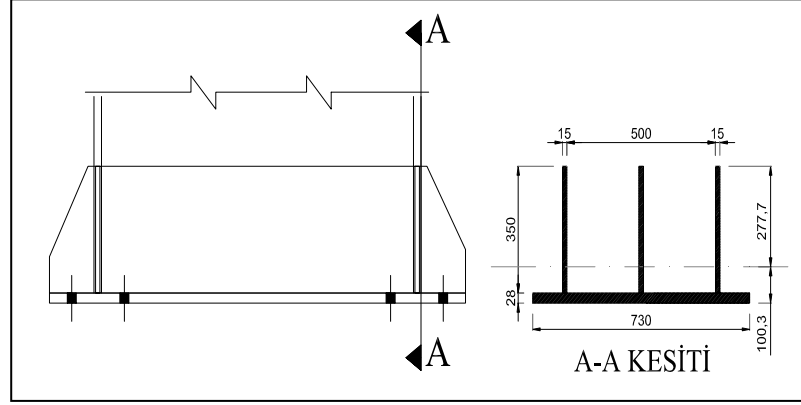
Plaka kalınlık kontrolü:

Taban plakasının basınç bölgesinde konsol kısımda oluşan moment tesirinin taban plakası ve berkitmelerce taşındığının kontrol edilmesi gerekir. Şekil 6.55' de A-A kesitinin ağırlık merkezi hesaplanmalıdır.

$$y_G = \frac{3 \times 20 \times 350 \times 189 + 28 \times 730 \times 14}{3 \times 20 \times 350 + 28 \times 730} = 100.3 \text{ mm}$$

Moment tesiri bu eksen etrafında oluşacağından kesit atalet momentinin hesaplanması gerekir.

$$I = 3 \times \frac{2 \times 35^3}{12} + \frac{73 \times 2.8^3}{12} + 3 \times 2 \times 35 \times 11.28^2 + 2.8 \times 73 \times 7.62^2 = 58780 \text{ cm}^4$$



Şekil 6.55: Taban plakası yük dağılım parametreleri

$$W_{ii} = \frac{58780}{24.97} = 2354 \text{ cm}^3$$

$$M_z = Z_{\max} \left(\frac{l}{2} - f - \frac{h}{2} \right) = 2707 \times \left(\frac{140}{2} - 16.25 - \frac{110}{2} \right) = -3384 \text{ kNcm}$$

$$M_z = Z_{\max} \frac{l - c - h}{2} = 1160 \times \frac{140 - 35 - 110}{2} = -2900 \text{ kNcm}$$

Çekme ve basınç bölgeleri arasındaki mesafenin fazla olmasından dolayı, taban plakasının konsol olan kısımlarında ters moment oluşmaktadır. Dolayısıyla bu tesirler altında taban ve berkitme plakaları yeterlidir. Ancak yine kesitte ters moment etkisinde oluşacak gerilmeyi inceleyelim.

$$\sigma = \frac{M_z}{W_{ii}} = \frac{3384}{2354} = 1.44 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{em} = 1.33 \times 14 = 18.62 \text{ kN/cm}^2$$

A-A kesitinde kesme kuvveti kontrolü de yaparsak;

$$\text{Kesit statik momenti; } S = 2.8 \times 73 \times 10.03 + 3 \times 2 \times \frac{7.23^2}{2} = 2266 \text{ cm}^3$$

$$\max \tau = \frac{Q_{\max} S}{I_x 2t_g} = \frac{2707 \times 2266}{58780 \times 3 \times 2.0} = 17.39 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{em} = 1.33 \times 14 = 18.62 \text{ kN/cm}^2$$

Kama hesabı:

Artırılmış deprem yüklemesiyle oluşan taban kesme kuvveti (0.9G+2E_x)

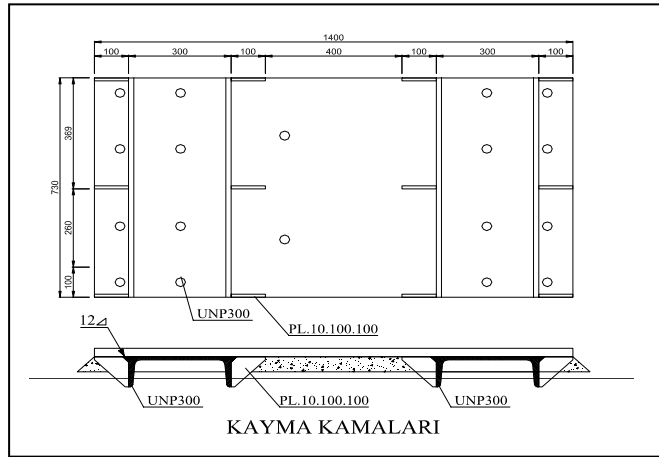
$$V = 485 \text{ kN}$$

$$W = \frac{170 \times 1.6^2}{6} = 59.73 \text{ cm}^3$$

$$M = \frac{485}{2} \times 4.8 = 1164 \text{ kNcm}$$

$$\sigma = \frac{1164}{59.73} = 19.49 \text{ kN/cm}^2 > \sigma_{em} = 1.33 \times 14 = 18.62 \text{ kN/cm}^2 \quad \textbf{kabul edilebilir.}$$

UNP300 profil yanak kısımlarına ek berkitme plakaları da eklenecektir.



Şekil 6.56: Taban plakası kama yerleşimi (mm)

Kama ile taban plakasını birleştiren kaynakların hesabı (Şekil 6.56) :

$$l_w = 4 \times 73 - 8 \times 1.2 = 282.4$$

$$\tau = \frac{485}{282.4 \times 1.2} = 1.43 \text{ kN/cm}^2$$

uygun

6.2.2 Ek hesapları

6.2.2.1 Ana taşıyıcı kiriş ek hesabı:

Kiriş eki, flanş ve gövde ek plakaları ile bulonlu olarak sağlanacaktır. Ek plakaları seçilirken, ek plaka alan ve atalet momentinin kiriş alan ve atalet momentinden büyük olması ön boyutlandırma için öncelikli olarak dikkate alınmıştır.

Ek hesabı yapma profil moment kapasitesine göre yapılacaktır. Diğer tesirler için de kesme ve normal kuvvet kapasitesinin 1/4'ü ile çalışılacaktır. Bu şekilde bir tasarım yöntemi izlememizin nedeni; boyutlandırmada moment etkisinden dolayı kesitin büyük çıkması ve normal kuvvet ile kesme kuvvetine karşı kiriş kesitinin çok mukavim olmasıdır. Kesme ve normal kuvvet için kabul edilen değerler kombinasyonlar sonucunda elde edilen değerlerin üzerindedir. Moment ve normal kuvvet, ek plakalarına atalet ve alanları oranında dağıtılacaktır. Kesme kuvveti ise, gövde plakaları ile taşınacaktır. Kesme kuvveti, gövde ek plakası bulon ağırlık merkezine göre bir moment oluşturduğundan bu etki de dikkate alınacaktır.

(Şekil 6.57)

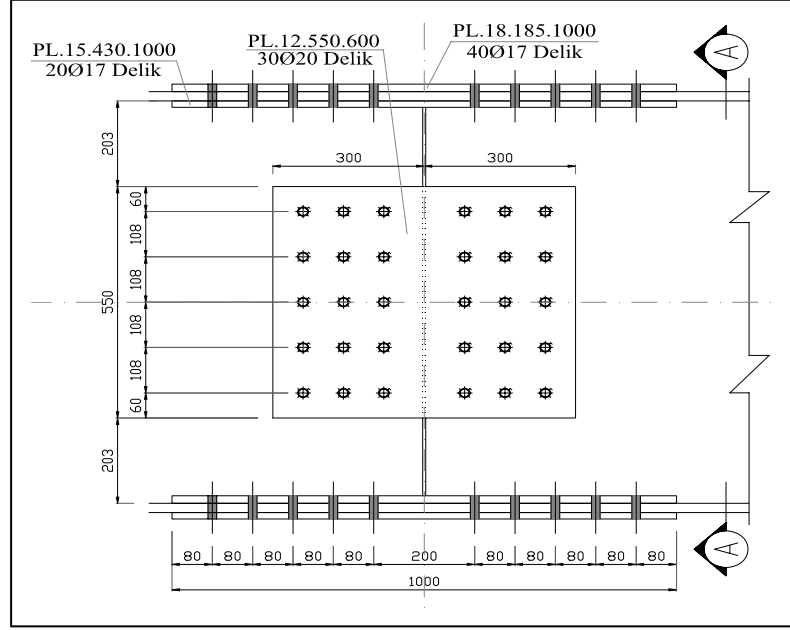
▪ Başlık eki:

Yük dağılımı:

Başlık ek plakaları: PL.18.430 ve PL.15.185

Gövde ek plakası: PL.12.550

Moment etkisi ek plaka atalet momentlerine göre dağıtılacağından atalet momentleri hesaplanmalıdır.(Şekil 6.57)



Şekil 6.57: Kiriş bulonlu ek detayı görünüşü

$$I_f = 2 \times \frac{430 \times 18^3}{12} + 4 \times \frac{185 \times 15^3}{12} + 2 \times 18 \times 430 \times 509^2 + 4 \times 15 \times 185 \times 471^2$$

$$= 6.47 \times 10^9 \text{ mm}^4 = 646841 \text{ cm}^4$$

$$A_f = 2 \times 18 \times 430 + 4 \times 15 \times 185 = 26580 \text{ mm}^2 = 266 \text{ cm}^2$$

$$I_g = 2 \times \frac{12 \times 550^3}{12} = 3.33 \times 10^8 \text{ mm}^4 = 33275 \text{ cm}^4$$

$$A_g = 2 \times 12 \times 550 = 13200 \text{ mm}^2 = 132 \text{ cm}^2$$

$$\text{Toplam ek plaka alanı: } \Sigma A_{ek} = 397.8 \text{ cm}^2 > A_{kiriş} = 319 \text{ cm}^2$$

uygun

$$\text{Toplam ek plaka ataleti: } \Sigma I_{ek} = 680116 \text{ cm}^2 > A_{kiriş} = 530139 \text{ cm}^2$$

uygun

Kesit tesirlerinin ek plakalarına dağılımı:

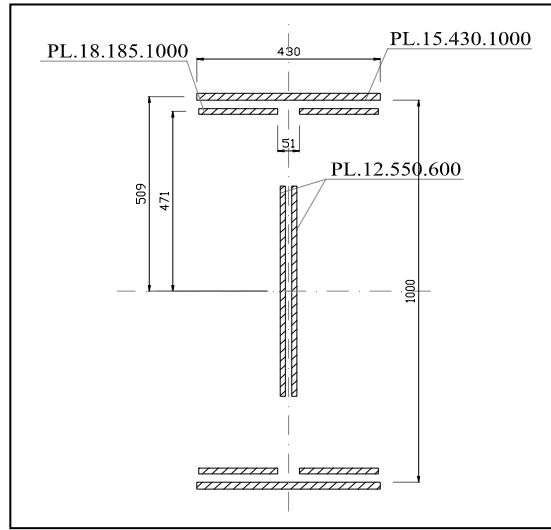
$$M_{Rd} = M_{Ed} = 2265 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 550 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 1750 \text{ kN}$$

$$M_f = 226500 \times \frac{646841}{(646841 + 33275)} = 215400 \text{ kNcm} = 2154 \text{ kNm}$$

$$N_f = 1750 \times \frac{265.8}{(265.8 + 132)} = 1169 \text{ kN}$$



Şekil 6.58: Ek plaka aks mesafeleri

Her başlık plakasına etki eden toplam kuvvet:

$$Z = \frac{M_f}{h - t_f} + \frac{N_f}{2} = \frac{215400}{(100 - 2.2)} + \frac{1169}{2} = 2787 \text{ kN}$$

a) Bulon hesabı:

Başlık eki için M16 (K:10.9) ön-gerilmeli bulon kullanılacaktır.

$k_s = 1.0$ (Delik çapı bulon çapından 1mm geniş alınmıştır.)

$n = 2.0$ (Bulonlar çift etkili olarak çalışmaktadır.)

$\mu = 0.5$ (Yüzeye kum püskürtülerek çinko veya alüminyum bazlı bir kat boya sürülür.)

$$A_s = 0.86 \times \frac{16^2 \times \pi}{4} = 173 \text{ mm}^2 \text{ (bulon dış dibi alanı)}$$

$\gamma_{M_2} = 1.25$ (Bulonlarda nihai durum için emniyet katsayısı)

Buna göre 1 adet M16 (K:10.9) ön-gerilmeli bulon için makaslama dayanım kuvveti;

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M_3}} (0.7 f_{ub} A_s) = \frac{1 \times 2 \times 0.5}{1.25} \times (0.7 \times 1000 \times 173) = 96831 \text{ N}$$

Birleşimlerde kuvvet doğrultusunda en sondaki bulonlar arası mesafe

$L_j \geq 15d$ olduğundan bulon makaslama dayanımında azaltma yapmak gerekmektedir.

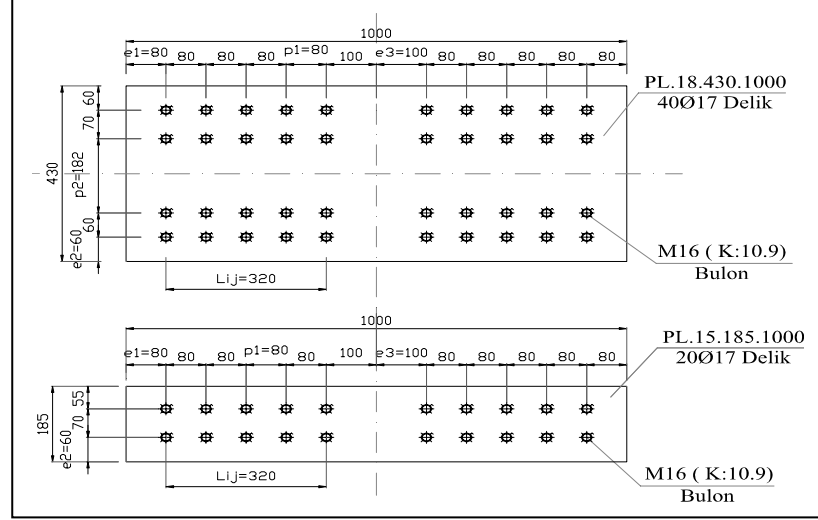
Buna göre;

$$\beta_{LT} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} = 1 - \frac{320 - 15 \times 16}{200 \times 16} = 0.975 \geq 0.75$$

uygun

$$\leq 1.00$$

uygun



Şekil 6.59: Başlık alt ve üst ek plakaları

- Azaltılmış kesit ile bulon makaslama dayanımı;

$$F_{v,Rd} = 0.975 \times 96831 = 94410 \text{ N} = 94.4 \text{ kN}$$

Bulonlar çift etkili çalışacak şekilde düzenlendiğinden;

$$F_{Ed} = \frac{2787}{2n} \leq 94.4 \Rightarrow n \geq 15 \text{ adet bulon gerekmektedir.}$$

Moment ve normal kuvvet ortak etkisi için 20M16 (K:10.9) ön gerilmeli bulon kullanılacaktır.

b) Plakaların kalınlık kontrolü:

Delik cidarında ezilme kontrolü;

Ek plakası kiriş başlığından ince olduğundan, ek plakası incelenecektir.

$$a = \min \left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1.0 \right)$$

$$e_1 = 80 \text{ mm} \geq 1.2d_0 = 1.2 \times 17 = 20.4 \text{ mm}$$

$$\leq 4t + 40 = 4 \times 15 + 40 = 100 \text{ mm}$$

$$e_2 = 60 \text{ mm} \geq 1.2d_0 = 1.2 \times 17 = 20.4 \text{ mm}$$

$$\leq 4t + 40 = 4 \times 15 + 40 = 100 \text{ mm}$$

$$p_1 = 80 \text{ mm} \geq 2.2d_0 = 2.2 \times 17 = 37.4 \text{ mm}$$

$$\leq 14t = 14 \times 15 = 210 \text{ mm}$$

$$\leq 200 \text{ mm}$$

$$p_2 = 182 \text{ mm} \geq 2.4d_0 = 2.4 \times 17 = 40.8 \text{ mm}$$

$$\leq 14t = 14 \times 15 = 210 \text{ mm}$$

$$\leq 200 \text{ mm}$$

$$a = \min\left(\frac{80}{3 \times 17}; \frac{80}{3 \times 17} - \frac{1}{4}; \frac{800}{360}; 1.0\right) \Rightarrow \min(1.57; 1.32; 2.22; 1.0)$$

$$a = 1.00 \text{ alınır.}$$

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

Başlık ek plakası için ezilme dayanımı:

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 1.00 \times 360 \times 16 \times 15}{1.25} = 173000 \text{ N} = 173 \text{ kN}$$

Kiriş başlık plakası için ezilme dayanımı:

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 1.00 \times 360 \times 16 \times 22}{1.25} = 253440 \text{ N} = 253.4 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \frac{2787}{20 \times 2} = 69.7 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 173 \text{ kN (başlık ek plakası, çift etkili)}$$

uygun

$$F_{Ed} = \frac{2787}{22} = 127 < F_{b,Rd} = 253 \text{ kN (kiriş başlığı, tek etkili)}$$

uygun

▪ Gövde eki:

Yük dağılımı:

$$M_g = 226500 \times \frac{33275}{(646841 + 33275)} = 11100 \text{ kNcm}$$

$$\Sigma M_g = M_g + V_{Ed}e = 11100 + 550 \times 16 = 19900 \text{ kNcm}$$

$$N_g = 1750 \times \frac{132}{(265.8 + 132)} = 581 \text{ kN}$$

$$I_p = \Sigma y_i^2 + \Sigma z_i^2 = 2 \times 3 \times (10.8^2 + 21.6^2) + 2 \times 5 \times (8^2) = 4139.2 \text{ cm}^2$$

$$N_{H,M} = \frac{19900 \times 21.6}{4139.2} = 103.75 \text{ kN}$$

$$N_{V,M} = \frac{19900 \times 8}{4139.2} = 38.43 \text{ kN}$$

$$N_{V,V} = \frac{550}{15} = 36.67 \text{ kN}$$

$$N_{r,Ed} = \sqrt{(N_{V,M} + N_{V,V})^2 + (N_{H,M} + \frac{N_g}{n})^2}$$

$$N_{r,Ed} = \sqrt{(38.43 + 36.67)^2 + (103.75 + \frac{581}{15})^2} = 161.04 \text{ kN}$$

Gövde bulonları çift etkili olduğundan;

$$F_{v,Ed} = 161.04 / 2 = 80.53 \text{ kN}$$

Bulon hesabı:

Gövde eki için M16 (K:10.9) ön-gerilmeli bulon kullanılacaktır. (Şekil 6.60)

1M16 (K:10.9) ön-gerilmeli bulon makaslama kapasitesi;

$$F_{s,Rd} = 96831 \text{ N} = 96.83 \text{ kN} \text{ bulunmuştur.}$$

Birleşimlerde kuvvet doğrultusunda en sondaki bulonlar arası mesafe

$L_j \geq 15d$ olduğundan bulon makaslama dayanımında azaltma yapmak gerekmektedir.

Buna göre;.

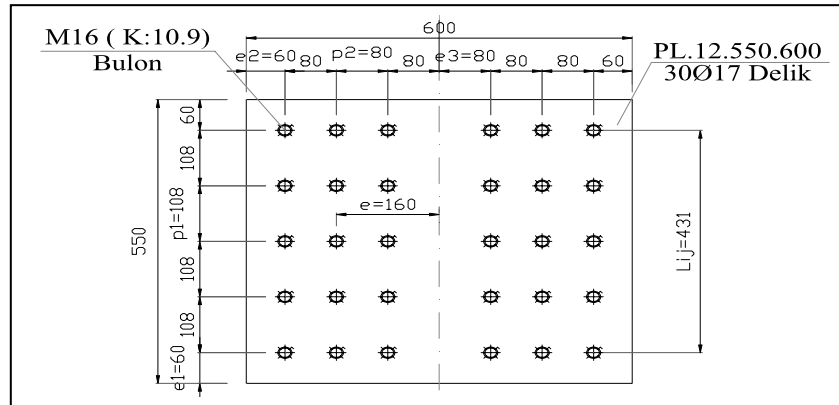
$$\beta_{LT} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} = 1 - \frac{431 - 15 \times 16}{200 \times 16} = 0.94 \geq 0.75 \quad \text{uygun}$$

$$\leq 1.00 \quad \text{uygun}$$

Azaltılmış dayanım ile bulon makaslama dayanımı;

$$F_{v,Rd} = 0.94 \times 96.83 = 91.05 \text{ kN} > F_{v,Ed} = 80.53$$

uygun



Şekil 6.60: Kiriş gövde ek plakası

Plakaların kalınlık kontrolü:

Delik cidarında ezilme kontrolü;

Ek plakası ;

$$e_1 = 60 \text{ mm} \geq 1.2d_0 = 1.2 \times 17 = 20.4 \text{ mm}$$

$$\leq 4t + 40 = 4 \times 12 + 40 = 88 \text{ mm}$$

$$e_2 = 60 \text{ mm} \geq 1.2d_0 = 1.2 \times 17 = 20.4 \text{ mm}$$

$$\geq 4t + 40 = 4 \times 12 + 40 = 88 \text{ mm}$$

$$p_1 = 108 \text{ mm} \geq 2.2d_0 = 2.2 \times 17 = 37.4 \text{ mm}$$

$$\leq 14t = 14 \times 12 = 168 \text{ mm}$$

$$\leq 200 \text{ mm}$$

$$p_2 = 80 \text{ mm} \geq 2.4d_0 = 2.4 \times 17 = 40.8 \text{ mm}$$

$$\leq 14t = 14 \times 12 = 168 \text{ mm}$$

$$\leq 200 \text{ mm}$$

$$a = \min\left(\frac{60}{3 \times 18}; \frac{108}{3 \times 18} - \frac{1}{4}; \frac{800}{360}; 1.0\right) \Rightarrow \min(1.11; 1.75; 2.22; 1.0)$$

$a = 1.00$ alınır.

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

Ek gövde plakası ezilme dayanımı;

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 1.00 \times 360 \times 16 \times 12}{1.25} = 138000 \text{ N} = 138 \text{ kN}$$

Kiriş gövde plakası ezilme dayanımı;

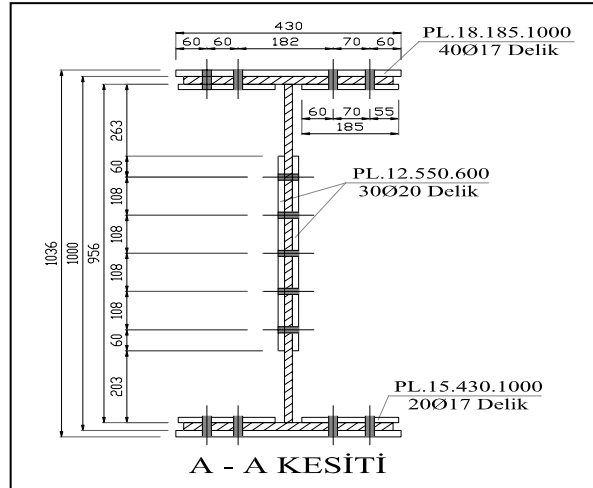
$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 1.00 \times 360 \times 16 \times 15}{1.25} = 172800 \text{ N} = 172 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \frac{161.04}{2} = 80.3 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 138 \text{ kN} \text{ (gövde ek plakası, çift etkili)}$$

uygun

$$F_{Ed} = 161.04 < F_{b,Rd} = 172 \text{ kN} \text{ (kiriş gövdesi, tek etkili)}$$

uygun



Şekil 6.61: Ek detay kesiti

▪ **Ek levhaların kesit dayanımı kontrolleri:**

Başlık levhası:

Başlık ek levha kalınlık ve boyutları farklı olduğundan farklı miktarda yük alacaklardır. Zayıflamış ve normal kesit dayanımı için plakalar ayrı ayrı ele alınacaktır.

$$N_{Ed} = 2787 \text{ kN}$$

$$A_{üst-net} = (430 - 4 \times 17) \times 18 = 6516 \text{ mm}^2$$

$$A_{alt-net} = (185 - 2 \times 17) \times 15 = 2265 \text{ mm}^2$$

$$N_{üst,Ed} = 2787 \times \frac{6516}{(6516 + 2 \times 2265)} = 1623 \text{ kN}$$

$$N_{alt,Ed} = 2787 \times \frac{2265}{(6516 + 2 \times 2265)} = 582 \text{ kN}$$

$$N_{üst,pl,Rd} = \frac{(430 \times 18) \times 235}{1.10} = 1935000 \text{ N} = 1935 \text{ kN} > N_{üst,Ed} = 1623 \text{ kN} \quad \textbf{uygun}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \times 6516 \times 360}{1.25} = 1689000 \text{ N} = 1689 \text{ kN} > N_{üst,Ed} = 1623 \text{ kN} \quad \textbf{uygun}$$

$$N_{alt,pl,Rd} = \frac{(185 \times 18) \times 235}{1.10} = 694000 \text{ N} = 694 \text{ kN} > N_{alt,Ed} = 582 \text{ kN} \quad \textbf{uygun}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \times 2265 \times 360}{1.25} = 587000 \text{ N} = 587 \text{ kN} > N_{alt,Ed} = 582 \text{ kN} \quad \textbf{uygun}$$

Gövde levhası:

$$M_g = 199 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 550 \text{ kN}$$

$$A_{net} = (550 - 5 \times 17) \times 12 = 5580 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{5580 \times (235 / \sqrt{3})}{1.10} = 688000 \text{ N} = 688 \text{ kN} > V_{Ed} = 550 \text{ kN} \quad \textbf{uygun}$$

$$W_{pl} = 1815000 \text{ mm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{1.82 \times 10^6 \times 235}{1.10} = 388 \times 10^6 \text{ Nmm} = 388 \text{ kNm} > M_g = 199 \text{ kNm} \quad \textbf{uygun}$$

DBYBHY 4.3.5' e göre kiriş ekinin incelenmesi:

- Eklenen elemanın eğilme kapasitesi, kiriş eğilme momenti kapasitesinden büyük olmalıdır.

Kiriş plastik mukavemet momenti $W_{p,y} = 12075 \text{ cm}^3$ bulunmuştur. Buna göre kiriş eğilme momenti kapasitesi,

$$M_{p,kiriş} = 12075 \times 24 = 289800 \text{ kNcm}$$

Ek plakaların plastik mukavemet momenti:

$$W_{p,y} = 2 \times 43 \times 1.8 \times 50.9 + 4 \times 18.5 \times 1.5 \times 47.1 + 4 \times 27.5 \times 1.2 \times 13.75 = 14922.42 \text{ cm}^3$$

$$M_{p,ek} = 14922 \times 24 = 358138 \text{ kNcm}$$

$$M_{p,ek} = 289800 \text{ kNcm} > M_{p,kiriş} = 358138 \text{ kNcm}$$

uygun

- Kiriş ekinin aksenal kuvvet aksenal basınç ve çekme kuvveti kapasiteleri, depremin artırılmış etkileri altında eğilme momenti göz önüne alınmadan yeterli olmalıdır.

$$P = 87000 \text{ kg (basınç - } 1.0G + 1.0Q + 2E_x)$$

$$P = 3500 \text{ kg (çekme - } 1.0G + 1.0Q + 2E_x)$$

Yük dağılımı:

Çekme kuvveti çok küçük olduğundan basınç kuvveti için inceleme yapılacaktır.

$$P_{başlık} = 870 \times \frac{265.8}{397.8} = 581 \text{ kN}$$

$$P_{gövde} = 870 \times \frac{132}{397.8} = 289 \text{ kN}$$

Bulon hesabı:

Başlık levhası bulonları:

Bir M20 bulonunun emniyetle taşıyabileceği yük:

$$\tau_{emn} = 32 \times 1.7 = 54.4 \text{ kN/cm}^2 \quad \sigma_l = 54 \times 1.7 = 91.8 \text{ kN/cm}^2$$

$$P_v = 160 \text{ kN} \quad d_0 = 2.1 \text{ cm} \quad \mu = 0.50 \quad \nu = 1.10$$

$$N_{SLP_{emn}} = \tau_{em} \frac{\pi d^2}{4} = 54.4 \times \frac{\pi \times 2.0^2}{4} = 171 \text{ kN}$$

$$N_{GV_{emn}} = \frac{\mu}{\nu} P_v = \frac{0.50}{1.10} \times 160 = 72.7 \text{ kN}$$

$$N_{GVP_{emn}} = \frac{1}{2} N_{SLP_{em}} + N_{GV_{em}} = \frac{1}{2} \times 171 + 72.7 = 158.2 \text{ kN}$$

$$P_{başlık} = \frac{581.31}{2 \times 20} = 14.5 \text{ kN} < N_{GVP_{emn}} = 158.2 \text{ kN}$$

uygun

Ezilme gerilmesi dikkate alınarak taşınabilecek yük:

$$\sigma_l = \frac{N}{(\min \Sigma t)d} = \frac{581.31/20}{1.5 \times 2.0} = 9.69 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_l = 91.80 \text{ kN/cm}^2$$

Gövde levhası bulonları:

Bir M16 bulonunun emniyetle taşıyabileceği yük:

$$\tau_{emn} = 32 \times 1.7 = 54.4 \text{ kN/cm}^2 \quad \sigma_l = 54 \times 1.7 = 91.8 \text{ kN/cm}^2$$

$$P_v = 100 \text{ kN} \quad d_0 = 1.7 \text{ cm} \quad \mu = 0.50 \quad \nu = 1.10$$

$$N_{SLPemn} = \tau_{em} \frac{\pi d^2}{4} = 54.4 \times \frac{\pi \times 1.6^2}{4} = 109.4 \text{ kN}$$

$$N_{GVPemn} = \frac{\mu}{\nu} P_v = \frac{0.50}{1.10} \times 100 = 45.5 \text{ kN}$$

$$N_{GVPemn} = \frac{1}{2} N_{SLPemn} + N_{GVPemn} = \frac{1}{2} \times 109.4 + 45.5 = 100.2 \text{ kN} = 10020 \text{ kg}$$

$$P_{başlık} = \frac{288.69}{2 \times 15} = 9.6 \text{ kg} > N_{GVPemn} = 100.2 \text{ kN}$$

uygun

Ezilme gerilmesi dikkate alınarak taşınabilecek yük:

$$\sigma_l = \frac{N}{(\min \Sigma t)d} = \frac{288.69/15}{1.2 \times 1.6} = 10.02 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_l = 91.8 \text{ kN/cm}^2$$

6.2.2.2 Kolon ekinin hesabı

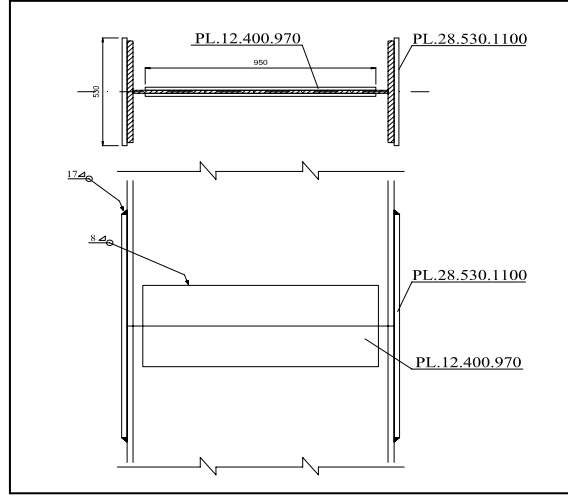
Kolon eki şantiyede yapılacaktır. Kolon flanş ve gövdesine Şekil 6.62' de tarif edildiği şekilde plakalar kaynatılarak detay oluşturulacaktır. Detay incelemesi daha olumsuz etkiler olduğundan DBYBHY' de belirtilen koşullara göre oluşturulacaktır.

• DBYBHY 4.3.5' e göre kolon ekinin incelenmesi:

Eklenen elemanın eğilme kapasitesi, kiriş eğilme momenti kapasitesinden büyük olmalıdır.

Kolon plastik mukavemet momenti $W_{pl,y} = 17637 \text{ cm}^3$ bulunmuştu. Buna göre kolon eğilme momenti kapasitesi,

$$M_{p,kiriş} = 17637 \times 24 = 423288 \text{ kNcm}$$



Şekil 6.62: Ek detay kesiti

Ek plakaların plastik mukavemet momenti:

$$W_{p,y} = 2 \times 53 \times 2.8 \times 56.4 + 2 \times 1.2 \times \frac{48.5^2}{2} = 19562.2 \text{ cm}^3$$

$$M_{p,ek} = 19562 \times 24 = 469493 \text{ kNcm}$$

$$M_{p,ek} = 469493 \text{ kNcm} > M_{p,kolon} = 423000 \text{ kNcm}$$

uygun

- Kolon ekinin eksenel kuvvet eksenel basınç ve çekme kuvveti kapasiteleri, depremin artırılmış etkileri altında eğilme momenti göz önüne alınmadan yeterli olmalıdır.

$$P=803 \text{ kN (basınç - 1.0G + 1.0Q + 2E_y)}$$

Yük dağılımı:

Çekme kuvveti çok küçük olduğundan basınç kuvveti için inceleme yapılacaktır.

$$P_{başlık} = 803 \times \frac{296.8}{529.6} = 450 \text{ kN}$$

$$P_{gövde} = 803 \times \frac{232.8}{529.6} = 353 \text{ kN}$$

Kaynak hesabı:

Başlık için;

$$a = 17 \text{ mm} , l = 2 \times 550 - 17 = 1083 \text{ mm köşe kaynak uygulanacaktır.}$$

$$\tau = \frac{450}{1.7 \times 108.3} = 2.44 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{em} = 1.7 \times 12.50 = 21.25 \text{ kN/cm}^2$$

uygun

Gövde için;

$$a = 8 \text{ mm} , l = 4 \times (200 - 8) = 768 \text{ mm köşe kaynak uygulanacaktır.}$$

$$\tau = \frac{353}{0.8 \times 76.8} = 5.75 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{em} = 1.7 \times 12.50 = 21.25 \text{ kN/cm}^2$$

uygun

7. BETONARME TEMEL HESABI

7.1 Radye Temel Hesabı

Her iki sistemde de orta kolon temel tipi olarak radye, ön ve yan cephe kolonları için ise tekil temel tercih edilmiştir. Radye temel modeli SAP2000 programında hazırlanmıştır. Olumsuz kombinasyonlardan oluşan tesirler alınarak, ana sistemden bağımsız olarak çözülmüştür. Temel, programda döşeme gibi tanımlanıp, kenar uzunluğu 50 cm olan karesel sonlu elemanlara bölünmüştür. Kare parçaların düğüm noktalarına düşey hareketi serbest bırakan mesnetler tanımlanmıştır. Düşey harekete karşı karesel eleman kesişim noktalarına, yatak katsayısının birim alanla çarpımından elde edilen değerde yay sabitli elastik mesnetler tanımlanmıştır. Zemin davranışının bu şekilde matematiksel modele aktarılması sağlanmıştır. Temel hesabında kullanılan zemin parametreleri;

Zemin düşey yatak katsayısı: $k_v = 50000 \text{ kN/m}^3$

Zemin emniyet gerilmesi: $\sigma_{zem} = 250 \text{ kN/m}^2$

Temel betonu olarak C25 kullanılacaktır.

Temel derinliği için ilk yaklaşım olarak:

$$h_t = \sqrt{\frac{P}{\gamma(6\tau_p) + 2.25\sigma_0}} = \sqrt{\frac{2300}{1.0 \times (6 \times 600) + 2.25 \times 250}} = 0.743 \text{ m}$$

$h_t = 80 \text{ cm}$ seçilir.

Zımbalama dayanımı:

Kolon yüklerinin kolon etkili alanına düzgün yayılı olarak dağıldığı kabul edilecektir.

$$A = 4 \times 10 = 40 \text{ m}^2$$

$$q = 2300 / 40 = 57.5 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{pd} = P - (0.5 + d)^2 q = 2300 - (0.5 + (0.80 - 0.05))^2 \times 57.5 = 2210 \text{ kN}$$

Zımbalama çevresi:

$$u_p = 2(b + h + 2d) = 2(102 + 165 + 2 \times (80 - 5)) = 834 \text{ cm}$$

$$V_{pr} = \gamma f_{ctd} u_p d = 1.0 \times 11.59 \times 834 \times (80 - 5) = 724955 \text{ kg} = 7250 \text{ kN}$$

$V_{pr} > V_{pd}$ Temel zımbalama dayanımı yeterlidir.

V_{pd} : Zımbalama çevresinde emniyetli kesme kuvveti

V_{pr} : Kolona etki eden yük

$$\gamma = 1.0$$

Radye temel SAP2000 modelinin çözümüyle elde edilen en büyük çökme deprem yüklemesinde;

$$\Delta = 0.0060182 \text{ m}$$

$$\sigma_{zem\min} = k_v \Delta = 50000 \times 0.0060182 = 300 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{zem} = 250 \times 1.5 = 375 \text{ kN/m}^2$$

Depremsiz durumda en büyük çökme;

$$\Delta = 0.001 \text{ m}$$

$$\sigma_{zem\min} = k_v \Delta = 50000 \times 0.001 = 50 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{zem} = 250 \text{ kN/m}^2 \quad \text{uygun}$$

Zemin emniyet gerilmesi aşılmamıştır. Ayrıca temelde pozitif çökme de oluşmamaktadır.

Donatı hesapları:

$$A_{s\min} = 0.002 b_w d = 0.002 \times 100 \times (80 - 5) = 15 \text{ cm}^2$$

Kısa doğrultuda;

$$A_{s1} = \frac{0.85 f_{cd} b_w}{2 f_{yd}} \left(d - \sqrt{d^2 - \frac{4 M_r}{0.85 f_{cd} b_w}} \right)$$

$$A_{s1} = \frac{0.85 \times 170 \times 100}{2 \times 3652.17} \left(75 - \sqrt{75^2 - \frac{4 \times 7000000}{0.85 \times 170 \times 100}} \right) = 28.2 \text{ cm}^2/\text{m} > A_{s\min} = 15 \text{ cm}^2$$

$\phi 22/10$ donatı kullanılacaktır. ($A_s = 38 \text{ cm}^2$)

Uzun doğrultuda;

$$A_{s1} = \frac{0.85 \times 170 \times 100}{2 \times 3652.17} \left(75 - \sqrt{75^2 - \frac{4 \times 3500000}{0.85 \times 170 \times 100}} \right) = 13.40 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s\min} = 15 \text{ cm}^2$$

Uzun doğrultu için minimum donatı kullanılacaktır.

$\phi 22/15$ donatı kullanılacaktır. ($A_s = 25 \text{ cm}^2$)

Açıklık ortası üst kısımlarda 25 tm moment oluşuyor. Bu kısımlara da minimum donatı konulacaktır.

$\phi 22/15$ donatı kullanılacaktır. ($A_s = 25 \text{ cm}^2$)

7.2 Ön ve Yan Cephe Kolon Tekil Temelleri

Temeller tekil temel olarak boyutlandırılacaktır.

Zemin düşey yatak katsayısı: $k_v = 50000 \text{ kN/m}^3$

Zemin emniyet gerilmesi: $\sigma_{zem} = 250 \text{ kN/m}^2$

Temel betonu olarak C25 kullanılacaktır.

Temel derinliği için ilk yaklaşım olarak:

Depremlili durum için;

$$h_t = \sqrt{\frac{P}{\gamma(6\tau_p) + 2.25\sigma_0}} = \sqrt{\frac{380}{1.0 \times (6 \times 600) + 2.25 \times (250 \times 1.5)}} = 0.29 \text{ m}$$

Zati ve hareketli yükler etkisinde;

$$h_t = \sqrt{\frac{200}{1.0 \times (6 \times 600) + 2.25 \times 250}} = 0.22 \text{ m}$$

$h_t = 40 \text{ cm}$ seçilir.

Temel taban boyutlarının belirlenmesi:

Kolondan aktarılan zati ve hareketli yük tesiri ile beton ve ampatman üzerindeki toprak ağırlığı da eklenerek zemin gerilmesi tespit edilir.

$$\sigma_1 = \frac{V_1}{A} \leq \sigma_{zem} \text{ olmalıdır.}$$

$$V_1 \leq 25 \times A$$

$$V_1 = 15 + 2.5A \times 0.4 + 1.8 \times (A - 0.19) \times 0.5 = 14.83 + 1.9A$$

$$14.83 + 1.9A \leq 25A \Rightarrow A \geq 1.13 \text{ m}^2$$

Temel boyutları 1.20x1.20m kare temel olarak alınacaktır.

Artırılmış zati ve hareketli yükler etkisinde zemin gerilmesi kontrolü;

$$\sigma_2 = \frac{V_2}{A} = \frac{200}{1.44} = 139 \text{ kN/m}^2 \leq \sigma_{zem} \quad \text{uygun}$$

Depremlili durumda zemin gerilmesi kontrolü:

$$\sigma_3 = \frac{V_3}{A} = \frac{380}{1.44} = 264 \text{ kN/m}^2 \leq \sigma_{zem} = 250 \times 1.5 = 375 \text{ kN/m}^2 \quad \text{uygun}$$

Ampatmanın konsol kalan kısımlarında kesme kontrolü;

$$V_{d2} = 139 \times 1.2 \times 0.38 = 63.3 \text{ kN}$$

Betonda eğik çatlama kontrolü:

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} ad = 0.65 \times 0.116 \times 120 \times 35 = 316 \text{ kN} > V_{d2} \quad \text{uygun}$$

Betonda ezilme kontrolü:

$$V_{cr} = 0.22 f_{cd} ad = 0.22 \times 1.67 \times 120 \times 35 = 1540 \text{ kN} > V_{d2}$$

uygun

Zımbalama dayanımı:

Kolonlardan aktarılan artırılmış zati ve hareketli yükler etkisinde kesit kontrolü yapılacaktır.

Zımbalama çevresi:

$$u_p = 2(b + h + 2d) = 2(44 + 42 + 2 \times (40 - 5)) = 312 \text{ cm}$$

$$V_{pd} = 200 \text{ kN}$$

$$V_{pr} = \gamma f_{ctd} u_p d = 1.0 \times 0.116 \times 312 \times (40 - 5) = 1266 \text{ kN}$$

$$V_{pr} > V_{pd} \quad \text{Temel zımbalama dayanımı yeterlidir.}$$

Donatı hesapları:

$$A_{smin} = 0.002 b_w d = 0.002 \times 120 \times (40 - 5) = 8.4 \text{ cm}^2$$

Her iki yönde kesit momenti hesaplanmalıdır.

$$M_2 = 200 \times 0.38 / 2 = 38 \text{ kNm}$$

$$A_{s1} = \frac{0.85 \times 1.67 \times 100}{2 \times 36.5} \left(35 - \sqrt{35^2 - \frac{4 \times 3800}{0.85 \times 1.67 \times 100}} \right) = 3.05 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimum donatı kullanılacaktır.

$\phi 14/10$ donatı kullanılacaktır. ($A_s = 15.5 \text{ cm}^2$)

8. YAPILARIN AĞIRLIK KARŞILAŞTIRMASI

Yapılan boyutlandırma sonucunda Model-1 ve Model-2 tipi için hesaplanan taşıyıcı sistem ağırlıkları Tablo 8.1’ de verilmiştir. Buna göre, boru elemanlarla çalışılan Model-1’ in, dolu kesitlerin kullanıldığı Model-2’ den %25 oranında daha hafif olduğu görülmektedir. Cephe kolonlarının boyutlandırılmasında kolonların kesit kapasitesinden çok burkulma koşulları etkili olmuştur. Ayrıca basınç etkisindeki gergi elemanlarının kesit hesaplarında da, elemanların çok uzun olmasından dolayı burkulma etkisi ön plana çıkmıştır. Her iki durum da yapı ağırlığını artıran en önemli etken olmuştur.

Çizelge 8.1: Yapıların ağırlık karşılaştırması

Eleman Adı	Ağırlık Dağılımı					
	Taşıyıcı sisteme göre (kg)		Elemanlara göre (%)		Alana göre (kg/m ²)	
	Model-1	Model-2	Model-1	Model-2	Model-1	Model-2
Kolon	57365	82247	9,8	10,9	5,7	8,2
Kiriş	140910	277816	24,1	36,8	14,1	27,8
Aşık	65160	124000	11,1	16,4	6,5	12,4
Gergi	153340	86042	26,2	11,4	15,3	8,6
Yan Kafes	11900	0	2,0	0,0	1,2	0
Yan Kiriş	0	13640	0	1,8	0	1,4
Ara Kafes	14000	0	2,4	0	1,4	0
Ara kiriş	0	18043	0	2,4	0	1,8
Ara çapraz	0	5505	0	0,7	0	0,6
Stabilite b.	21970	27800	3,8	3,7	2,2	2,8
Kuşak	22115	22115	3,8	2,9	2,2	2,2
Cephe Kolon	98225	98225	16,8	13,0	9,8	9,8
TOPLAM	584985	755433	100	100	58,5	75,5

9. SONUÇLAR

Hazırlanan bu tez çalışmasında çelik bir sergi binası, iki farklı taşıyıcı sistem ve kullanılan üç farklı aşıkların boyutlandırılıp, ağırlık karşılaştırması yapılması amaçlanmıştır. Kesit ve detaylar Eurocode 3 Standardına göre detaylı olarak hesaplanıp, deprem etkisinde çalışan elemanlar yeni deprem yönetmeliği koşullarına göre kontrol edilmiştir.

- Statik sistem SAP2000 programında dinamik tesirlerin de hesaplanabilmesi amacıyla 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Statik hesaplar sonucunda yapının kullanılan yönetmelik ve standart şartlarında uygun, güvenli ve ekonomik olarak boyutlandırılmasına çalışılmıştır. Ayrıca, detaylandırma aşamasında imalat ve montaj koşulları da göz önüne alınmıştır. Yapı boyutlandırılmasında, rüzgar ve kar yüklemeleri etkili olmuştur. Yapıların betonarme binalara göre çok daha hafif olmasından dolayı, yapı elemanlarının boyutlandırılmasında deprem etkisi nispeten az olmuştur. Ancak, yeni Deprem Yönetmeliği' ne göre yapılan kesit ve birleşim hesaplarının kontrollerinde, özellikle birleşimlerin hesabında kullanılan artırılmış deprem yüklemeleri oldukça etkili olmuştur.

- Yapı elemanlarının boyutlandırılmasına yük akışına bağlı olarak öncelikle aşıklar boyutlandırılmasıyla başlanmıştır. 3 tip aşıklar için hesap yapıp ağırlık ve montaj kolaylığına göre 2 tip aşıklar seçilmiştir. Bunlardan uzay kafes aşıklar Model-1' de, petek kiriş tipi aşıklar ise Model-2' de tercih edilmiştir. Uzay kafes aşıklar tipi, en hafif aşıklar olmasına rağmen mesnetlenme zorlukları da göz önüne alınarak Model-2'de kullanılmamıştır. Aks açıklıkları 10m olup boyutlandırmada sehim sınırları kadar yükleme durumu da etkili olmuştur.

- Yapı ağırlığının dolu kesitli profillerle hazırlanan Model-2' de Model-1' e göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak Model-1 için de imalat işçiliğinin daha fazla olacağı aşikardır. Dolayısıyla yapı tasarımında tercih nedeninin sadece ağırlık olmaması gerekmektedir. Ülkemizde malzeme kadar işçiliğin de maliyetinin yüksek olduğu göz önüne alınarak, imalat için harcanan iş gücü ve süre, ağırlık farkından kaynaklanan maliyetle birlikte değerlendirilmelidir.

- Boru elemanların kullanıldığı Model-1’ de elaman birleşimlerinde düğüm nokta dayanımlarının artırılabilmesi için sıklıkla boru kesitler yarılp plaka kaynatılarak güçlendirilmeye çalışılmıştır.

- Çatı ve düşey stabilite elemanlarının boyutlandırılmasında DBYBHY koşulları etkili olmuştur. Yönetmelikte verilen en kesit ve narinlik koşulları elemanların daha büyük seçilmesine neden olmuştur. Yapı ekonomikliği açısından en ideal olan ve tüm doğrultularda atalet yarıçapı aynı olan boru ve kutu kesitler tercih edilmiştir.

- Çatı düzlemi stabilite elemanları, sadece çekme kuvveti etkisinde çalıştırılarak detay problemlerinin aşılması amaçlanmıştır. Bu stabilite elemanları, SAP 2000’ de oluşturulan üç boyutlu modelde non-lineer analizle çözümlenerek sadece çekme kuvveti etkisinde çalıştırılmıştır.

- Model-1’ de çerçeve düzlemine dik doğrultuda yapı stabilitesi, orta kolonlar arasında teşkil edilen kare kesitli kafes kirişler ile yan cephelerde ana taşıyıcı kafes kiriş uç noktaları arasında mesnetli üçgen kesitli uzay kafes kirişlerle sağlanmıştır. Yan cephelerde de X şeklinde düzenlenen merkezi çelik çaprazlı elemanlar ile sağlanmıştır.

- Model-2’ de çerçeve düzlemine dik doğrultuda yapı stabilitesi, orta kolonlar arasında teşkil edilen ters V şeklinde merkezi çelik çaprazlı elemanlar ile sağlanmıştır. Bu elemanlar yapma kutu profil olarak tasarlanmıştır. DBYBHY en-kesit ve narinlik koşullarından dolayı kesitin açık kesit olması mümkün olmamıştır. Merkezi çelik çapraz detay hesaplarında, deprem yönetmeliğindeki koşullar çok daha uygunsuz olduğundan EC3 kullanılmamıştır. Düğüm noktası dayanımı artırabilmek ve kalın plaka kullanmamak amacıyla, çapraz kiriş ve çapraz-kolon birleşimlerin S275 kalitesinde çelik kullanılmıştır. Yan cephelerde de X şeklinde düzenlenen merkezi çelik çaprazlı elemanlar kullanılmıştır.

- Gergi-1 elemanı, ana taşıyıcı kiriş hesabında mesnet olarak kullanılmamıştır. SAP2000 v.11.0.4 programında hazırlanan modelde Gergi-1 elemanı için non-lineer analiz yapılarak elamanın basınç kuvveti alması engellenmiş, sadece çekme kuvveti etkisinde boyutlandırılmıştır. Gergi-2 ve Gergi-3 elemanları basınç ve çekme kuvvetlerine mukavim olarak boyutlandırılmış ve kirişler için birer mesnet vazifesi görmüşlerdir. Bu durum kiriş boyutlandırmasında en kritik nokta olmuştur. Kiriş uzunluğu fazla olduğundan, gergilerin basınç etkisinde çalışmaması durumunda

burkulma boyu uzamakta, kiriş kesiti sehim ve gerilme durumundan dolayı oldukça büyümekteydi.

- Kafes sistem ve açık kesit düğüm noktalarında çekme kuvveti etkisindeki eleman detay hesapları EC3' de tanımlanan manivela, T- model etkileri dikkate alınarak çözümlenmiştir. Bu etkiler için verilen hesaplar, yapı ömrü boyunca oluşabilecek tesirlerle düğüm noktasında oluşabilecek göçme mekanizmalarının matematiksel olarak incelenebilmesi açısından oldukça önemlidir.

- Boru elemanların birleşimlerinde düğüm nokta koşulları boyutlandırma ve imalat detaylarının hazırlanmasında kritik öneme sahiptir. Nitekim, doğru eleman ve imalat detayı seçilmesi ile düğüm noktası dayanımları büyük miktarda artırılabilir. Boru kesitlerle tasarlanan kafes kirişlerde, düğüm noktası kapasitesini etkileyen tasarım ve imalat parametreleri aşağıda sıralanmıştır.

- 1- Aralıklı düğüm noktalarında diyagonal elemanlar arasındaki mesafe, kaynak dikişlerinin kolay çekilebilmesi için $t_1 + t_2$ ' den az olmamalıdır.
- 2- Aralıklı düğüm noktalarında, örgü - başlık elemanı genişlik oranı artırılırsa düğüm nokta kapasitesi de artar. Yani büyük çaplı ince cidarlı örgü elemanları ile, küçük çaplı kalın cidarlı başlık profillerinin kullanılması düğüm nokta kapasitesini artıracaktır.
- 3- Bütün yükleme ve düğüm noktası tiplerinde (tamamen bindirilmiş düğüm noktaları dışında), küçük çaplı kalın cidarlı başlık eleman kullanımı düğüm nokta kapasitesini artıracaktır.
- 4- Üst üste binen elemanlar, bir diyagonal elemandan diğerine makaslama etkisini aktarabilecek şekilde birleştirilmelidir. K ve N tipi düğüm noktalarında, örgü elemanlarından biri başlık profiline tam olarak kaynaklanmalı, diğeri ise hem örgü hem de başlık elemanına kaynaklanmalıdır.
- 5- Bütün olarak bindirilmiş örgü elemanlarıyla oluşturulmuş düğüm noktalarında başlık ve bindirilmiş örgü elemanları, küçük çaplı ve kalın cidarlı seçilirse kapasite artışı sağlanabilir.
- 6- Kısmi olarak bindirilmiş örgü elemanlarıyla oluşturulmuş düğüm noktalarında; başlık ve bindirilmiş örgü elemanları, küçük çaplı ve kalın cidarlı seçilirse kapasite artışı sağlanabilir.

- 7- Örgü elemanları aralıklı olarak düzenlenmiş kafes kiriş imalatı, bindirilmiş olanlara göre daha ekonomik ve basittir.
- 8- Yüklenme ve mesnetlenme koşullarının aynı olduğu bir sistemde, dairesel kesitli profillerle tasarlanan kafes kiriş kapasitesi, kutu kesitlerle hazırlanandan daha yüksektir.
- Ülkemizde kalifiye kaynakçının az bulunması nedeniyle detaylarda özellikle şantiye kaynağından kaçınılmıştır.
 - EC3’ de bulonlu birleşimler çalışma şekil ve birleşim çeşitlerine göre farklılık göstermektedir. Bulon yerleşimi ile ilgili limit değerleri EC3’ de TS’ den farklıdır. Ayrıca, birleşimlerde kullanılması gereken delik toleransları EC3’ te TS’ ye göre oldukça fazladır. Bu durum montaj kolaylığı açısından oldukça faydalıdır. Ülkemizdeki imalat kalitesi göz önüne alındığında TS’ de verilen toleransların uygulaması oldukça zordur.

KAYNAKLAR

- Celep Z., Kumbasar N.**, 1998. Betonarme Yapılar Sema Matbaacılık, İstanbul
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**, 2007. *İmar İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı*
- Deren H.**, 1995. Çelik Yapılar, İTÜ Matbaası-sayı 1552, İstanbul
- Design of Pinned Column Base Plates**, 2002. Australian Steel Institute
- Eurocode 1: Action on structures – General actions – Part 1-4: Wind Actions**, 2004. European Committee for Standardization, Brussels
- Eurocode 3: Design of Steel Structures–Part 1-1: General Rules and rules for buildings**, 2005. European Committee for Standardization, Brussels
- Eurocode 3: Design of Steel Structures–Part 1-5: Plated Structural Elements**, 2003. European Committee for Standardization, Brussels
- Eurocode 3: Design of Steel Structures–Part 1-8: Design of Joints**, 2005. European Committee for Standardization, Brussels
- Gardner L.**, 2005. Designer's Guide to EN1993-1-1:EC3 Design of Steel Structures: General Rules and Rules for Buildings, Thomas Telford, London
- Gulvanessian H.**, 2002. Designer's Guide to EN1990, Eurocode: Basis of Structural Design, Thomas Telford, London
- McKenzie W.M.C.**, 1998. Design of Structural Steelwork, Macmillan Press LTD, London
- Özgen A., Bayramoğlu G.**, 2003. Çelik Yapılar I Ders Notu, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- Özgen A., Bayramoğlu G.**, 2002. Özel Kirişler, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- Özmen G., Orakdöğen E., Darılmaz K.**, 2005. Örneklerle SAP 2000-V8, Birsen Yayınevi, İstanbul
- Öztürk A. Z.**, 2007. Çelik Yapılar Kısa Bilgi ve Çözülmüş Problemler, Birsen Yayınevi, İstanbul
- TS 498**, 1997. Yapı Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS 500**, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS 648**, 1980. Çelik Yapılar Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- Url-1** <<http://www.access-steel.com>>, alındığı tarih 10.10.2008.
- Url-2** <<http://www.cetin.com>>, alındığı tarih 10.10.2008

Url-3 <<http://www.cidect.com>>, alındığı tarih 10.10.2008.

Url-4 <<http://www.civil.usyd.edu.au>>, alındığı tarih 15.10.2008.

Url-5 <<http://www.corusgroup.com>>, alındığı tarih 10.11.2008.

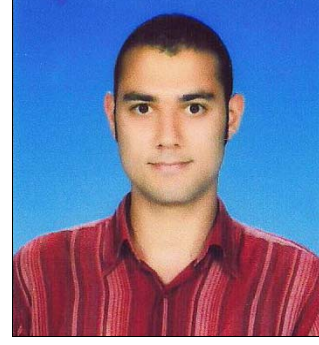
Url-6 <<http://www.esdep.org>>, alındığı tarih 29.10.2008.

Url-7 <<http://people.fsv.cvut.cz/~wald/CESTRUCO>>, alındığı tarih 10.12.2008.

Url-8 <<http://www.steelconstruct.com>>, alındığı tarih 10.12.2008.

Worked Examples for the Design of Steel Structures, 1994. Building Research
Establishment, The Steel Construction Institute, Ove Arup&Partners,
London

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Doğuş ASLAN
Doğum Yeri ve Tarihi: Malatya / 08.06.1983
Adres: Bakırköy / İSTANBUL
Lisans Üniversitesi: EGE Üniversitesi