

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞET ÇATILI ÇELİK BİR YAPININ EC3 VE LRFD
YÖNETMELİKLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRMALI
BOYUTLANDIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Samet ÖZCAN**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Güliz Bayramoğlu

KASIM 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞET ÇATILI ÇELİK BİR YAPININ EC3 VE LRFD
YÖNETMELİKLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRMALI
BOYUTLANDIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Samet ÖZCAN
(501081067)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Ekim 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Kasım 2010**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Güliz Bayramoğlu (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Engin Orakdoğen (İTÜ)
Prof. Dr. A. Zafer Öztürk (YTÜ)**

KASIM 2010

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mühendisliği yüksek lisans programı çerçevesinde hazırlanan bu yüksek lisans tezinde; bir doğrultusu süneklik düzeyi normal çerçevelerden, diğer doğrultusu ise süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdelerden oluşan şet çatılı çelik bir makas yapısı EC3 ve LRFD yönetmeliklerine göre karşılaştırmalı boyutlandırılmıştır. Yapının taşıyıcı sistemi boyutlandırılırken hadde ve yapma profiller kullanılmıştır. Bunun dışında yapının birleşim detaylarında her iki yönetmeliğin şartlarına göre kontrol edilmiştir. Yapının taşıyıcı sistemi ilgili Amerikan ve Avrupa yönetmeliklerine göre yük durumları da incelenerek karşılaştırmalı boyutlandırmada ortaya çıkan farklar incelenmiştir. İlgili yapısal çizimler ekte sunulmuştur.

Çalışmalarım sırasında fikir ve tecrübelerinden yararlandığım tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Güliz BAYRAMOĞLU 'na, yardım ve tecrübeleri ile çalışmalarımı yönlendiren Sayın Prof. Dr. Alpay ÖZGEN 'e, her an yanımda olup bana yol gösteren, sevgilerini ve desteklerini hiç esirgemeyen aileme en içten dileklerimle teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Kasım 2010

Samet Özcan

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
SEMBOL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Yapı Hakkında Genel Bilgi	1
1.2 Yapının Taşıyıcı Sistemi	1
2. EUROCODE 3 YÖNETMELİĞİNE GÖRE BOYUTLANDIRMA.....	5
2.1 Eurocode 3 Yönetmeliğinin Genel Tasarım Esasları	5
2.2 Malzeme Karakteristik Özellikleri ve Dayanımları	6
2.3 Kısmi güvenlik katsayıları	7
2.4 Yükler.....	8
2.5 Kesit Dayanım Hesabına Esas Enkesit Değerleri	9
2.6 Eurocode 3 Yönetmeliğine Göre Enkesitlerin Sınıflandırılması.....	10
2.7 Kesit Dayanımları	10
2.7.1 Çekme dayanımı	10
2.7.2 Basınç dayanımı	11
2.7.3 Sadece eğilmeye çalışan elemanların dayanımı.....	11
2.7.4 Kesme dayanımı.....	12
2.7.5 Eğilme momenti ve kesme kuvveti etkisindeki enkesit dayanımı	13
2.7.6 Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki enkesit dayanımı	13
2.7.7 Burkulma dayanımı.....	16
2.7.8 Yanal burulmalı burkulma dayanımı	17
2.8 EC-1 Yönetmeliğine Göre Sisteme Etkiyen Yükler.....	19
2.8.1 Düşey yükler	19
2.8.2 Kar yükü.....	19
2.8.3 Rüzgar yükü	21
2.8.4 Deprem yükü.....	30
2.9 Eurocode 3 Yönetmeliğine Göre Boyutlama Kombinasyonları	33
2.10 Yapısal Kesit Tahkikleri.....	34
2.10.1 Aşık kesit tahkiki	34
2.10.2 Tali giriş tahkiki	37
2.10.3 Makas alt başlık tahkiki	39
2.10.4 Makas üst başlık tahkiki.....	40
2.10.5 Makas dikme elemanlarının tahkiki.....	41
2.10.6 Makas diyagonallerinin tahkiki.....	42

2.10.7 Kolon kesitinin tahkiki	44
2.10.8 Çatı çaprazlarının tahkiki	45
2.10.9 Düşey çaprazların tahkiki.....	47
2.11 Deplasman kontrolleri	48
2.11.1 Yatay deplasman kontrolü.....	48
2.11.2 Düşey deplasman kontrolü	50
2.12 Birleşimler	51
2.12.1 Bulonlu birleşimlerin hesabı	51
2.12.2 Kaynaklı birleşimlerin hesabı.....	56
2.12.3 IPE 160 Tali kiriş bağlantı detayı.....	58
2.12.4 Makas diyagonal bağlantı detayları.....	60
2.12.5 Makas alt ve üst başlık ekleri	64
2.12.6 Kolon ayağı bağlantı detayı.....	68
2.12.7 Çatı çaprazı bağlantı detayı	71
2.12.7 Düşey çapraz bağlantı detayı.....	73
2.12.8 Makas kolon birleşim detayı	75
3. AISC LRFD YÖNETMELİĞİNE GÖRE BOYUTLANDIRMA.....	81
3.1 AISC LRFD Yönetmeliğinin Genel Tasarım Esasları	81
3.2 Malzeme Karakteristik Özellikleri ve Dayanımları	82
3.3 Kısmi Güvenlik Katsayıları	82
3.4 Yükler	83
3.5 Kesit Dayanım Hesabına Esas Enkesit Değerleri.....	84
3.6 AISC LRFD Yönetmeliğine Göre Enkesitlerin Sınıflandırılması.....	84
3.7 Kesit Dayanımları.....	85
3.7.1 Karakteristik çekme dayanımı.....	85
3.7.2 Basınç dayanımı	86
3.7.2.1 Narin olmayan elemanlarda eğilmeli basınç dayanımı.....	86
3.7.2.2 Narin olmayan elemanlarda eğilmeli burulmalı burkulma dayanımı.	87
3.7.2.3 Tek kollu korniyerlerde basınç dayanımı.....	89
3.7.2.4 Narin elemanlarda basınç dayanımı.....	89
3.7.3 Eğilme dayanımı	92
3.7.3.1 Çift simetri eksenine sahip kompakt I kesitlerin ve U kesitlerin güçlü eksen etrafında dayanımı.....	92
3.7.3.2 Çift simetri eksenine sahip I kesitlerin, kompakt gövde kompakt..... olmayan ya da narin başlıktan oluşması durumunda güçlü eksen..... etrafında eğilme dayanımı.....	94
3.7.3.3 Kompakt ve kompakt olmayan I kesitli elemanlarda güçlü eksen etrafında eğilme dayanım.....	95
3.7.3.4 Tek ve çift simetri eksenine sahip narin gövdeli I kesitli elemanlarda... güçlü eksen etrafında eğilme dayanımı.....	97
3.7.3.5 I ve U kesitli elemanların zayıf eksen etrafında eğilme dayanımı.....	99
3.7.3.6 Kare, dikdörtgen boşluklu kesitli ve kutu kesitli elemanlarda eğilme... dayanımı.....	100
3.7.3.7 Dairesel boşluklu kesitlerde eğilme dayanımı.....	101
3.7.3.8 Simetri eksenini ile aynı doğrultuda yüklü T kesitlerde ve çift kollu..... korniyerlerde eğilme dayanımı.....	102
3.7.3.9 Tek kollu korniyerlerde eğilme dayanımı.....	103
3.7.3.10 Dikdörtgen ve dairel dolu kesitlerde eğilme dayanımı.....	105
3.7.3.11 Simetrik olmayan kesitlerde eğilme dayanımı.....	105
3.7.4 Kesme dayanımı.....	106

3.7.5 Bileşik kuvvetler ve burulma altında eleman dayanımı.....	107
3.7.5.1 Eğilme ve eksenel yük etkisi altında dayanım.....	107
3.7.5.2 Burulma, kesme, eksenel kuvvet ve eğilme etkisinde dayanım.....	108
3.8 ASCE 7-05 Yönetmeliğine Göre Sisteme Etkiyen Yükler	110
3.8.1 Düşey yükler	110
3.8.2 Kar yükü.....	110
3.8.3 Rüzgar yükü	111
3.8.4 Deprem yükü.....	113
3.9 ASCE 7-05 Yönetmeliğine Göre Boyutlama Kombinasyonları	115
3.10 Yapısal Kesit Tahkikleri.....	116
3.10.1 Aşık kesit tahkiki	116
3.10.2 Tali giriş tahkiki	118
3.10.3 Makas alt başlık tahkiki	120
3.10.4 Makas üstbaşlık tahkiki.....	120
3.10.5 Makas dikme elemanlarının tahkiki.....	122
3.10.6 Makas diyagonallerinin tahkiki.....	123
3.10.7 Kolon kesitinin tahkiki.....	124
3.10.8 Çatı çaprazlarının tahkiki	126
3.10.9 Düşey çaprazların tahkiki.....	127
3.11 Deplasman Kontrolleri	129
3.11.1 Yatay deplasman kontrolü	129
3.11.2 Düşey deplasman kontrolü.....	131
3.12 Birleşimler	132
3.12.1 Bulonlu birleşimlerin hesabı	132
3.12.1 Kaynaklı birleşimlerin hesabı	136
3.12.3 IPE160 Tali giriş bağlantı detayı.....	139
3.12.4 Makas diyagonal IPE 160 dikme bağlantı detayları	141
3.12.5 Makas alt ve üst başlık eki	145
3.12.6 Kolon ayağı bağlantı detayı.....	150
3.12.7 Çatı çaprazı bağlantı detayı.....	155
3.12.8 Düşey çapraz bağlantı detayı.....	157
3.12.9 Makas kolon bağlantı detayı	159
4. YAPININ EC3 VE LRFD YÖNETMELİKLERİNE GÖRE.....	
BOYUTLANDIRILMASININ KARŞILAŞTIRMASI	165
4.1 Eleman Kapasite Oranlarının Karşılaştırması	165
4.2 Yapının Boyutlandırılmasında Etkin Olan Yüklerin Karşılaştırılması	165
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	169
KAYNAKLAR	171
EKLER.....	173

KISALTMALAR

EC	: Eurocode
EC3	: Eurocode 3
EC1	: Eurocode 1
EC8	: Eurocode 8
LRFD	: Load and Resistance Factor Design
ASCE	: American Society of Civil Engineers
TS 498	: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak olan Binalar Hakkında Yönetmelik
AISC	: American Institute of Steel Construction

SEMBOL LİSTESİ

S_d	: Etkilerin tasarım değerleri
F_d	: Mukavemet tasarım değerleri
f_y	: Akma gerilmesi
f_u	: Kopma dayanımı
E	: Elastisite modülü
G	: Kayma modülü
ν	: Poisson oranı
α	: Isıl genleşme katsayısı
ρ	: Yoğunluk
F_k	: Karakteristik yük
F_d	: Tasarım yükü
γ_f	: Kısmi güvenlik faktörü
γ_m	: Sabit kısmi güvenlik faktörü
$G_{k,j}$	: Sabit etkilerin karakteristik değerleri
$Q_{k,1}$	: Değişken bir etkinin karakteristik değeri
$Q_{k,i}$	: Diğer değişken etkilerin karakteristik değerleri
$\gamma_{G,j}$	: Sabit etkilerin kısmi güvenlik katsayısı
$\gamma_{Q,i}$	: Hareketli etkilerin kısmi güvenlik katsayısı
R_k	: Mukavemetin karakteristik değerleri
A	: Brüt enkesit alanı
A_{net}	: Net enkesit alanı
A_v	: Kesme alanı
S	: Statik moment
I_y	: Kesit kuvvetli eksen atalet moment
I_z	: Kesit zayıf eksen atalet moment
i_y	: Kuvvetli eksen atalet yarıçapı
i_z	: Zayıf eksen atalet yarıçapı
$W_{y,el}$	: Kesit kuvvetli eksen elastik mukavemet momenti
$W_{z,el}$	: Kesit zayıf eksen elastik mukavemet momenti
$W_{y,pl}$	: Kesit kuvvetli eksen plastik mukavemet moment
$W_{z,pl}$	: Kesit zayıf eksen plastik mukavemet moment
$N_{t,Sd}$	: Eksenel çekme tasarım değeri
$N_{t,Rd}$	: Eksenel çekme tasarım dayanımı
$N_{pl,Rd}$	: Brüt enkesit plastic tasarım dayanımı
$N_{u,Rd}$	: Net enkesit sınır tasarım dayanımı
$N_{c,Sd}$	: Eksenel basınç tasarım değeri
$N_{c,Rd}$	: Eksenel basınç tasarım dayanımı
A_{eff}	: Enkesit sınıfına efektif alan
M_{Sd}	: Eğilme moment tasarım değeri
$M_{c,Rd}$	: Eğilme moment tasarım dayanımı
$M_{el,Rd}$	: Elastik eğilme moment tasarım dayanımı
$W_{el,eff}$	: Efektif alana göre hesaplanan efektif elastik mukavemet momenti
V_{Sd}	: Kesme kuvveti tasarım değeri
$V_{pl,Rd}$	: Enkesit plastik kesme dayanımı

b	: Kesit genişliği
h	: Kesit toplam yüksekliği
d	: Kesitin gövde yüksekliği
r	: Kesitin eğrilik yarıçapı
t_f	: Kesitin başlık genişliği
t_w	: Gövde kalınlığı
M_{v,Rd}	: Kesme etkisinde indirgenmiş eğilme momenti tasarım dayanımı
M_{N,Rd}	: Normal kuvvet nedeniyle indirgenmiş eğilme momenti tasarım dayanımı
M_{pl,Rd}	: Enkesit plastik moment tasarım dayanımı
N_{B,Rd}	: Basınca çalışan eleman burkulma dayanımı
κ	: Burkulma modu indirgeme katsayısı
α	: Kusur katsayısı
λ	: Göreceli narinlik
C₁	: Yanal burulmalı burkulma katsayısı
M_{b,Rd}	: Kesit yanal burulmalı burkulma dayanımı
κ_{LT}	: Yanal burulmalı burkulma modu indirgeme katsayısı
λ_{LT}	: Yanal burulmalı burkulma geometrik narinliği
M_{cr}	: Yanal burulmalı burkulma elastic moment değeri
I_t	: Enkesit burulma dayanımı
I_w	: Enkesit çarpılma dayanımı
L_{LT}	: Yanal doğrultuda tutulu noktalar arası uzaklık
I_{LT}	: Eğilme düzlemi dışına burkulmada burkulma boyu
C_{pe}	: Rüzgar dışbasınç katsayısı
G	: Yerçekimi ivmesi
I	: Bina önem katsayısı
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
A₀	: Etkin yer ivmesi katsayısı
Z_n	: Yerel zemin sınıfı
T_n	: Spektrum karakteristik periyodu sınır değeri
F_b	: Taban kesme kuvveti
S_d(T₁)	: Yapının hakim periyoduna karşılık gelen spectral ivme katsayısı
λ	: Korelasyon katsayısı
M	: Deprem hesabına esas yapının etkin kütlesi
a_g	: Maksimum yer ivmesi
q	: Taşıyıcı system davranış katsayısı
δ_i	: Yatay ötelenme değeri
Δ	: Düşey deplasman
F_{v,Rd}	: Bulon makaslama tasarım dayanımı
F_{v,Sd}	: Bulon makaslama tasarım değeri
F_{v,Rk}	: Bulon makaslama tasarım karakteristik dayanımı
F_{b,Rd}	: Bulon ezilme tasarım dayanımı
F_{b,Sd}	: Bulon ezilme tasarım değeri
F_{b,Rk}	: Bulon ezilme tasarım karakteristik dayanımı
d₀	: Delik çapı
f_{ub}	: Bulon kopma dayanımı
A_s	: Bulon dışdibi alanı
F_{t,Rd}	: Birleşimde çekme tasarım dayanımı
F_{t,Sd}	: Bulon çekme tasarım değeri
F_{t,Rk}	: Bulon çekme tasarım karakteristik dayanımı

$F_{w,Rd}$	: Köşe kaynakta birim boyun dayanımı
$F_{v,wd}$	: Kaynak dikişinin tasarım makaslama dayanımı
a	: Kaynak dikişi kalınlığı
β_w	: Kaynak dayanımı düzeltme katsayısı
φ	: Dayanımın belirlenmesindeki belirsizlikleri hesaba katan dayanım azaltma katsayısı
R_u	: Gerekli dayanım
R_n	: Karakteristik dayanım
A_g	: Brüt enkesit alanı
A_e	: Faydalı enkesit alanı
A_{gv}	: Kesme etkisindeki brüt enkesit alanı
A_{nv}	: Kesme etkisindeki net enkesit alanı
I_x	: Kesit kuvvetli eksen atalet moment (LRFD)
I_y	: Kesit zayıf eksen atalet moment (LRFD)
r_x	: Kuvvetli eksen atalet yarıçapı (LRFD)
r_y	: Zayıf eksen atalet yarıçapı (LRFD)
S_x	: Kesit kuvvetli eksen elastik mukavemet moment (LRFD)
S_y	: Kesit zayıf eksen elastik mukavemet moment (LRFD)
Z_x	: Kesit kuvvetli eksen plastik mukavemet moment (LRFD)
Z_y	: Kesit zayıf eksen plastik mukavemet moment (LRFD)
λ_p	: Kompakt enkesit için sınır narinlik değeri (LRFD)
λ_r	: Kompakt olmayan enkesit için sınır narinlik değeri (LRFD)
λ	: Enkesit narinlik değeri (LRFD)
P_a	: Eksenel çekme kuvveti tasarım değeri
P_n	: Eksenel yük tasarım karakteristik dayanımı
F_y	: Malzeme akma dayanımı
F_u	: Malzeme kopma dayanımı
P_c	: Eksenel basınç kuvveti tasarım değeri
F_{cr}	: Kritik akma gerilmesi
K	: Etkili boy katsayısı
F_e	: Elastik ve inelastic burkulmayı ayıran sınır gerilme değeri
Q	: İndirgeme faktörü
M_n	: Kesit nominal moment dayanımı
M_p	: Kesit plastic moment dayanımı
V_n	: Enkesitte nominal kesme dayanımı
V_u	: Enkesite etki eden kesme tasarım değeri
T_r	: Elemanda etkili olan burulma moment
T_c	: Eleman burulma moment dayanımı
P_f	: Kar yükü
C_e	: Kar yükü etki katsayısı
G_{Cp}	: Rüzgar yükü dışbasınç katsayısı
V	: Taban kesme kuvveti
R	: Taşıyıcı system davranış modifikasyon katsayısı (LRFD)
H	: Zeminden itibaren yükseklik
R_{nt}	: Bir bulonun karakteristik çekme dayanımı
F_{nt}	: Bulon karakteristik kopma dayanımı
R_{nv}	: Bir bulonun karakteristik kayma gerilmesi dayanımı
F_{nv}	: Bulon karakteristik kayma dayanımı
R_n	: Kayma yırtılması için toplam dayanım
L_c	: Delik kenarından birleştirilen kenara toplam uzaklık

A_b	: Bulon diş açılmamış enkesit alanı
F_v	: İşletme yüklerinden dolayı bulonda oluşan kayma gerilmesi
A_w	: Köşe kaynak alanı
L_e	: Etkili köşe kaynak uzunluğu
L	: Gerçek köşe kaynak uzunluğu
w	: Kaynak enkesiti kenar boyutu
F_w	: Köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı
F_{EXX}	: Kaynak elektrodu sınıflandırma kodu
F_E	: Kaynak metalinin karakteristik çekme
t_p	: Bağlantı plakası et kalınlığı
e	: Dıřmerkezlilik mesafesi
n	: Birleřimdeki bulon adedi
d	: Bulon çapı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Çelik malzeme akma ve kopma dayanımı değerleri.....	6
Çizelge 2.2 : Bulon sınıflarına göre akma ve kopma dayanımı değerleri.....	6
Çizelge 2.3 : Etkiler (yükler).....	8
Çizelge 2.4 : Mukavemet (dayanım).....	8
Çizelge 2.5 : Kesit dayanım hesabına esas enkesit değerleri.....	9
Çizelge 2.6 : Burkulma gerilme eğrisi – α katsayısı ilişkisi.....	16
Çizelge 2.7 : Yanal burulmalı burkulmada etkili boy katsayıları.....	18
Çizelge 2.8 : C_1 değeri ve ψ 'nin tanımı.....	19
Çizelge 2.9 : Çatı eğimine göre μ_1 ve μ_2 şekil katsayısı.....	20
Çizelge 2.10 : TS EN 1991-1-4 Düz çatılarda çatı düzlemlerine göre rüzgar dışbasınç katsayıları.....	22
Çizelge 2.11 : TS EN 1991-1-4 Çizelge 7.1 Cephelere göre rüzgar dışbasınç katsayıları.....	23
Çizelge 2.12 : TS EN 1991-1-4 Çift eğimli çatılarda çatı düzlemlerine göre rüzgar.... dışbasınç katsayıları.....	25
Çizelge 2.13 : TS EN 1991-1-4 Tek eğimli çatılarda çatı düzlemine etkiyen rüzgar 27 dışbasınç katsayıları.....	27
Çizelge 2.14 : Eurocode 8 Zemin sınıflarına göre period sınır değerleri.....	31
Çizelge 2.15 : Eurocode 3 yönetmeliğine göre boyutlama kombinasyonları.....	33
Çizelge 2.16 : Bulonlu birleşimlerin sınıflandırılması.....	52
Çizelge 2.17 : Zorlanma türüne göre birleşim tipleri.....	52
Çizelge 2.18 : Bulon dışdibi alanları.....	54
Çizelge 2.19 : β_w düzeltme katsayısı.....	57
Çizelge 3.1 : ASTM' ye göre bazı çelik kalitelerinin karbon oranı ve mekanik..... özellikleri.....	82
Çizelge 3.2 : Dayanım azaltma katsayıları.....	83
Çizelge 3.3 : Kesit dayanım hesabına esas olan enkesit değerleri.....	84
Çizelge 3.4 : ASCE 7-05 Çatı düzlemlerine rüzgar dışbasınç katsayıları.....	112
Çizelge 3.5 : ASCE 7-05 yönetmeliğine göre boyutlama kombinasyonları.....	116
Çizelge 3.6 : AISC' ye göre bulon sınıfları ve dayanımları.....	132
Çizelge 3.7 : AISC' ye göre bulon çaplarına göre kullanılacak delik çapları.....	132
Çizelge 3.8 : AISC' ye göre minimum kaynak kalınlıkları.....	137
Çizelge 3.9 : AISC' ye göre kaynak dikişi dayanım azaltma katsayıları.....	139
Çizelge 4.1 : Kapasite oranları karşılaştırması.....	165
Çizelge 4.2 : EC1 yüklerine göre mesnet reaksiyonları.....	166
Çizelge 4.3 : ASCE 7-05 yüklerine göre mesnet reaksiyonları.....	166

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tipik enine aks görünüşü.	2
Şekil 1.2 : Tipik boyuna aks görünüşü.	3
Şekil 1.3 : Makaslar arası tali kiriş düzeni.....	3
Şekil 1.4 : Çatı çapraz planı.	3
Şekil 1.5 : Çatı planı.	4
Şekil 2.1 : Şetli çatılarda kar yüklemesi elverişsiz durumları	20
Şekil 2.2 : Çatı düzlemine etkileyen kar yüklemesi durumu.....	21
Şekil 2.3 : TS EN 1991-1-4 Düz çatılarda çatı düzlemlerine göre rüzgar etki.....	22
bölgeleri.....	22
Şekil 2.4 : TS EN 1991-1-4 Cephelere göre rüzgar etki bölgeleri.....	23
Şekil 2.5 : Yapı enine doğrultusunda cepheler ve çatı düzlemleri için hesaplanan... rüzgar dışbasınç katsayıları	24
Şekil 2.6 : TS EN 1991-1-4 Çift eğimli çatılarda rüzgar yükü parametreleri.....	24
Şekil 2.7 : TS EN 1991-1-4 Çift eğimli çatılarda çatı düzlemlerine göre rüzgar etki bölgeleri.....	25
Şekil 2.8 : TS EN 1991-1-4 Tek eğimli çatılarda rüzgar yükü parametreleri.....	26
Şekil 2.9 : TS EN 1991-1-4 Tek eğimli çatılarda çatı düzlemlerine göre rüzgar etki bölgeleri.....	26
Şekil 2.10 : TS EN 1991-1-4 Şetli çatılarda şetlere dik doğrultuda rüzgar dışbasınç katsayıları.	27
Şekil 2.11 : Çatı şetlerinde görülen c_{pe} rüzgar dışbasınç katsayıları.....	28
Şekil 2.12 : Çatı şet düzlemlerine etkileyen 8 farklı rüzgar yükleme durumu.	29
Şekil 2.13 : EC 8 Spektrum fonksiyonu grafiği.....	31
Şekil 2.14 : Aşıklarda görülen en elverişsiz M_Y diyagramı (kN.m).	34
Şekil 2.15 : Makaslarda görülen en elverişsiz eksenel yük diyagramı (kN)	44
Şekil 2.16 : SAP 2000 programında yapının EYP deplasmanı.	49
Şekil 2.17 : SAP 2000 programında yapının EXP deplasmanı.	49
Şekil 2.18 : SAP 2000 programında yapının WYP deplasmanı.	50
Şekil 2.19 : SAP 2000 programında yapının WXP deplasmanı.	50
Şekil 2.20 : SAP 2000 programında yapının 1.0D+1.0L deplasmanı.	51
Şekil 2.21 : Kesme kuvvetine maruz birleşimlerde bulon mesafe notasyonları.....	53
Şekil 2.22 : Normal kuvvete maruz birleşimlerde bulon mesafe notasyonları.....	53
Şekil 2.23 : Bulonlarda makaslama ve çekme etkisinde etkileşim.	55
Şekil 2.24 : Kaynak dikiş tipleri.	56
Şekil 2.25 : Tali kiriş bağlantısı detayı	58
Şekil 2.26 : L80.8 diyagonal bağlantı detayı	60
Şekil 2.27 : L70.7 diyagonal bağlantı detayı	62
Şekil 2.28 : Makas alt başlık eki.....	64
Şekil 2.29 : Makas üst başlık eki	66
Şekil 2.30 : Kolon ayağı bağlantısı şematik detayı.....	68
Şekil 2.31 : Kolon ayağı bağlantısı detayı.	71
Şekil 2.32 : Çatı çaprazı bağlantısı detayı	72

Şekil 2.33 : Düşey çapraz bağlantısı detayı	74
Şekil 2.34 : Makas üst başlık kolon bağlantısı.....	76
Şekil 2.35 : Makas alt başlık kolon bağlantısı	79
Şekil 3.1 : ASCE 7-05 Çok eğimli çatılarda dengesiz kar yükü dağılımı.	110
Şekil 3.2 : Yapıya etkiyen kar yüklemesi diyagramı.	111
Şekil 3.3 : ASCE 7-05 Çatı düzlemlerine göre rüzgar etki bölgeleri.	111
Şekil 3.5 : Yapı enine doğrultusunda hesaplanan rüzgar dışbasınç katsayıları.	112
Şekil 3.6 : ASCE 7-05 Şetli çatılarda rüzgar yükü dışbasınç katsayıları.....	112
Şekil 3.7 : Yapıya etkiyen rüzgar yükü dışbasınç katsayıları.	113
Şekil 3.8 : ASCE 7-05 Spektrum fonksiyon grafiği.	114
Şekil 3.9 : SAP2000 programında yapının EYP deplasmanı.....	130
Şekil 3.10 :SAP2000 programında yapının EXP deplasmanı.....	130
Şekil 3.11 : SAP2000 programında yapının WYP deplasmanı.	131
Şekil 3.12 : SAP2000 programında yapının WXP deplasmanı.	131
Şekil 3.13 : SAP2000 programında yapının 1.0D+1.0L deplasmanı.....	132
Şekil 3.15 : Normal kuvvete maruz birleşimlerde bulon mesafe notasyonları.....	133
Şekil 3.16 : Tali giriş bağlantısı detayı.	139
Şekil 3.17 : L 80.8 diyagonal bağlantı detayı	141
Şekil 3.18 : L70.7 diyagonal bağlantı detayı.	143
Şekil 3.19 : Makas altbaşlık eki.	145
Şekil 3.20 : Makas üst başlık eki.	148
Şekil 3.21 : Kolon ayağı bağlantısı şematik diyagramı.	151
Şekil 3.22 : Kolon ayağı bağlantısı detayı.	155
Şekil 3.23 : Çatı çaprazı bağlantısı detayı.....	155
Şekil 3.24 : Düşey çapraz bağlantısı detayı.	157
Şekil 3.25 : Makas üst başlık kolon bağlantısı.....	159
Şekil 3.26 : Makas alt başlık kolon bağlantısı.	162

ŞET ÇATILI ÇELİK BİR YAPININ EC3 VE LRFD YÖNETMELİKLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRMALI BOYUTLANDIRILMASI

ÖZET

Çelik yapılarda mühendislik tasarımı en önemli safhayı oluşturmaktadır. Bu süreci tamamlamada mühendislere birçok yönetmelik rehberlik etmektedir. Bu yönetmelikler farklı tasarım prensiplerine dayanmaktadır. Günümüzde en yaygın olanları emniyet gerilmeleri ve sınır durumlar prensibine göre tasarım metodlarıdır.

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada dünyada çok yaygın olarak kullanılan, sınır durumlar prensibine dayanan iki farklı yönetmelik olan Eurocode 3 ve AISC 360-05/ LRFD yönetmeliklerine göre karşılaştırmalı olarak boyutlandırma yapılmıştır. Türkiye şartlarında yapının maruz kaldığı rüzgar, kar yüklerinin etkimesinde ilgili yabancı yönetmelikler göz önünde bulundurulmuştur. Deprem yükü için EC3 ve LRFD yönetmeliklerinin ilgili sismik yönetmelikleri, DBYBHY kapsamında tanımlanan parametrelere karşılık gelen parametreler modifiye edilerek kullanılmıştır. Söz konusu yapı her iki yönetmeliğe göre boyutlandırılıp karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırma yapılırken yapıya etkileyen yükler her iki yönetmeliğin referans aldığı yönetmelikler dikkate alınarak yük etkilerindeki farklar da ortaya konulmuştur. Yapının bilgisayar destekli analizinde SAP2000 programı kullanılmıştır. Yapısal ve detay çizimleri ekte sunulmuştur.

Birinci bölümde yapısal taşıyıcı sistem ile ilgili bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde bir doğrultusu süneklik düzeyi normal çerçevelerden, diğer doğrultusu ise süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdelerden oluşan şet çatılı çelik bir makas yapısının EC3 yönetmeliğine göre yük analizi, statik analizi, boyutlandırması ve detay hesapları yapılmıştır.

Üçüncü bölümde ise aynı yapının LRFD yönetmeliğine göre yük analizi, statik analizi, boyutlandırması ve detay hesapları yapılmıştır.

Dördüncü bölümde, Eurocode 3 ve LRFD yönetmeliklerine göre boyutlandırılan sistem elemanlarının kapasite oranlarının ve boyutlandırma ile ilgili önemli noktalar vurgulanmıştır.

Son bölümde ise yapılan yapının iki farklı yönetmeliğe göre analiz edilip boyutlandırılması sonucu ortaya çıkan önemli farkların karşılaştırması yapılmıştır.

COMPARATIVE DESIGN OF A SHED ROOFED STEEL STRUCTURE ACCORDING TO EUROCODE 3 AND LRFD

SUMMARY

Engineering design is a vital process in steel structures. In this duration many codes are guiding to structural engineers. These codes depend on different methods. Most commonly used two design methods in the world are allowable stress design method and ultimate state design method.

In this study, which is presented as a M.Sc thesis, a steel structure is designed comparatively according to Eurocode 3 and LRFD code based on ultimate design method. Snow and wind load values for this structure in Turkish standards are taken into account, but loading forms are performed according to both related codes. For seismic loads, related seismic codes of EC3 and LRFD are used by modifying the parameters defined in Turkish earthquake code to equivalent parameters. Structure is designed and compared according to both codes. At this comparison, load effects are taken into account by the related codes which referred respectively by EC3 & LRFD, although these loading differences are resulted. SAP2000 program is used in computer aided modelling. Structural basic and detailed drawings presented as attachments.

In the first chapter structural system is described.

In the second chapter, a shed roofed steel truss building consisting of ordinary moment frames in one direction and concentrically braced frames in the other direction, is and designed. Structural steel connection calculations are done by using Eurocode 3 design and loading methods.

In the third chapter, the same structure is analyzed and designed. Structural steel connection calculations are done by using LRFD design and loading methods.

In the fourth chapter element capacity ratios and loading results are compared according to both EC3 and LRFD design.

In the last chapter main design results and differences are discussed according to EC3 & LRFD; vital points are discussed according to both design methods.

1. GİRİŞ

1.1 Yapı Hakkında Genel Bilgi

Tasarlanan yapı 28 m x 30 m kapalı bir alana sahip çok amaçlı kullanım için öngörölmüş bir yapıdır. Yapının maksimum yüksekliğı 8.30 m olup, çatı eğimi nedeniyle bu yükseklik 7.50 m' ye düşmektedir. Yapının çatı ve cephe kaplaması trapezoidal sandviç panel olarak öngörölmüşür. Yapının boyutlandırması sırasında aşağıdaki yüklere maruz kalacağı varsayılmıştır.

Ölü yükler: (Yatay Düzlemde)

Çatı Kaplaması0.15 kN / m²

Aşık Özağırlığı0.10 kN / m²

Rüzgar Yüğü.....0.50 kN / m²

Kar Yüğü.....0.75 kN / m²

Deprem yüğü için DBYBHY 'de aşağıda belirtilen koşullara karşılık gelen parametreler dikkate alınarak hesap yapılmıştır.

Deprem bölgesi.....II

Bina önem katsayısı (*I*).....1.0

Hareketli yük katılım katsayısı (*n*).....0.3

Etkin yer ivmesi katsayısı (*A₀*).....0.3

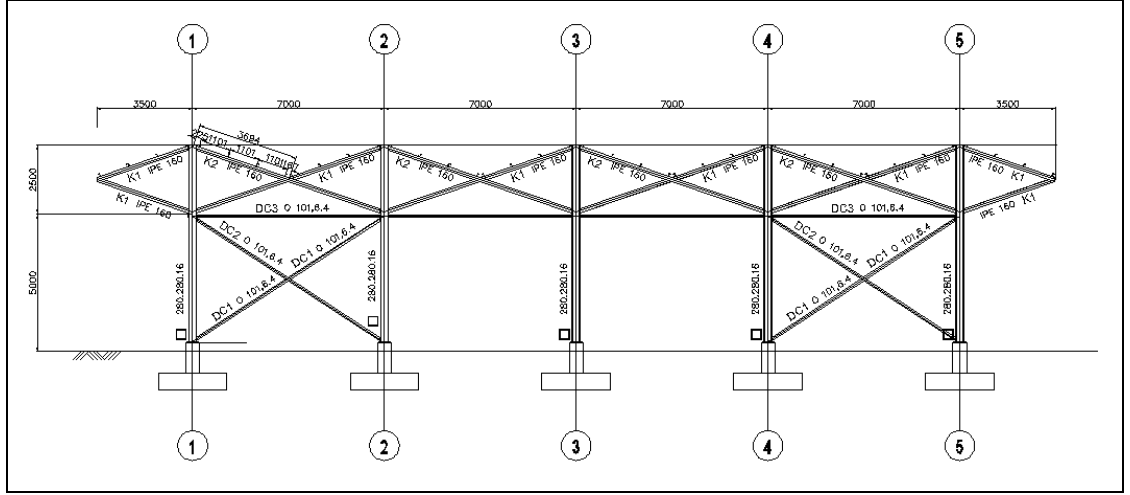
Yerel zemin sınıfı (*Z_n*).....Z2

Spektrum karakteristik periyodu (*T_A*).....0.15 sn

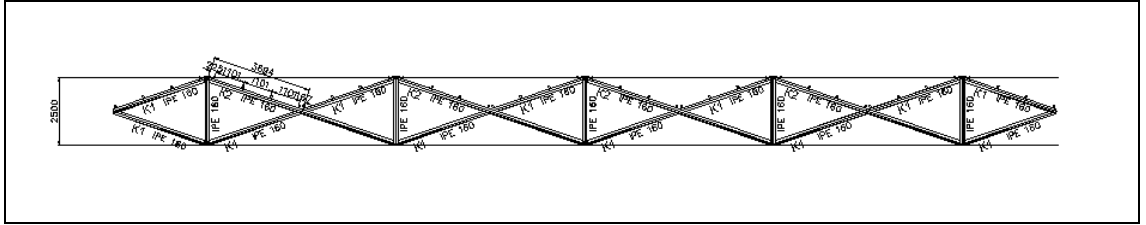
Spektrum karakteristik periyodu (*T_B*).....0.40 sn

1.2 Yapının Taşıyıcı Sistemi

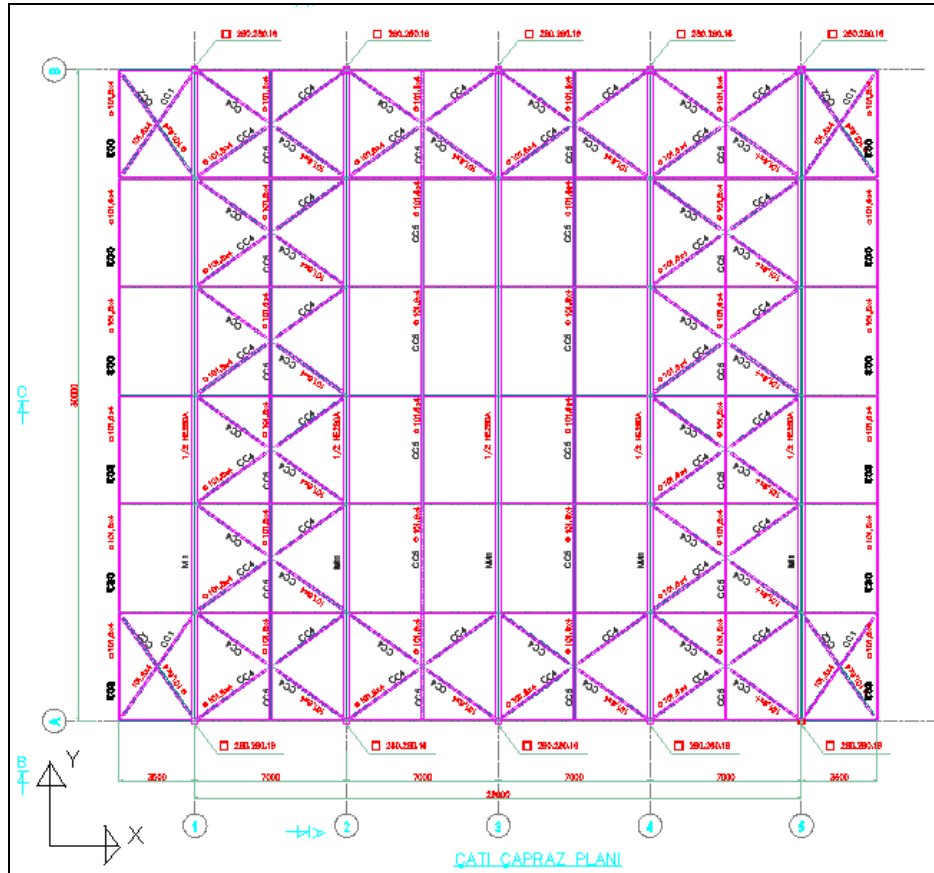
Yapı taşıyıcı sistemi enine doğrultusunda (*Y* doğrultusunda) 5 adet ana makastan oluşmaktadır. Bu makastların yüksekliğı 2.50 m olarak boyutlandırılmıştır. Ana makas aralıkları 7.0 m olarak düzenlenmiştir. Bu makastlar arasında 5.0 aralıklarla papyon geometrisinde düzenlenmiş tali kirişler bulunmaktadır. Aşıklar bu tali kirişlere mesnetlenecek şekilde 1.05 m aralıklarla düzenlenmiştir. Çatıda aşık



Şekil 1.2 : Tipik boyuna aks görünüşü.

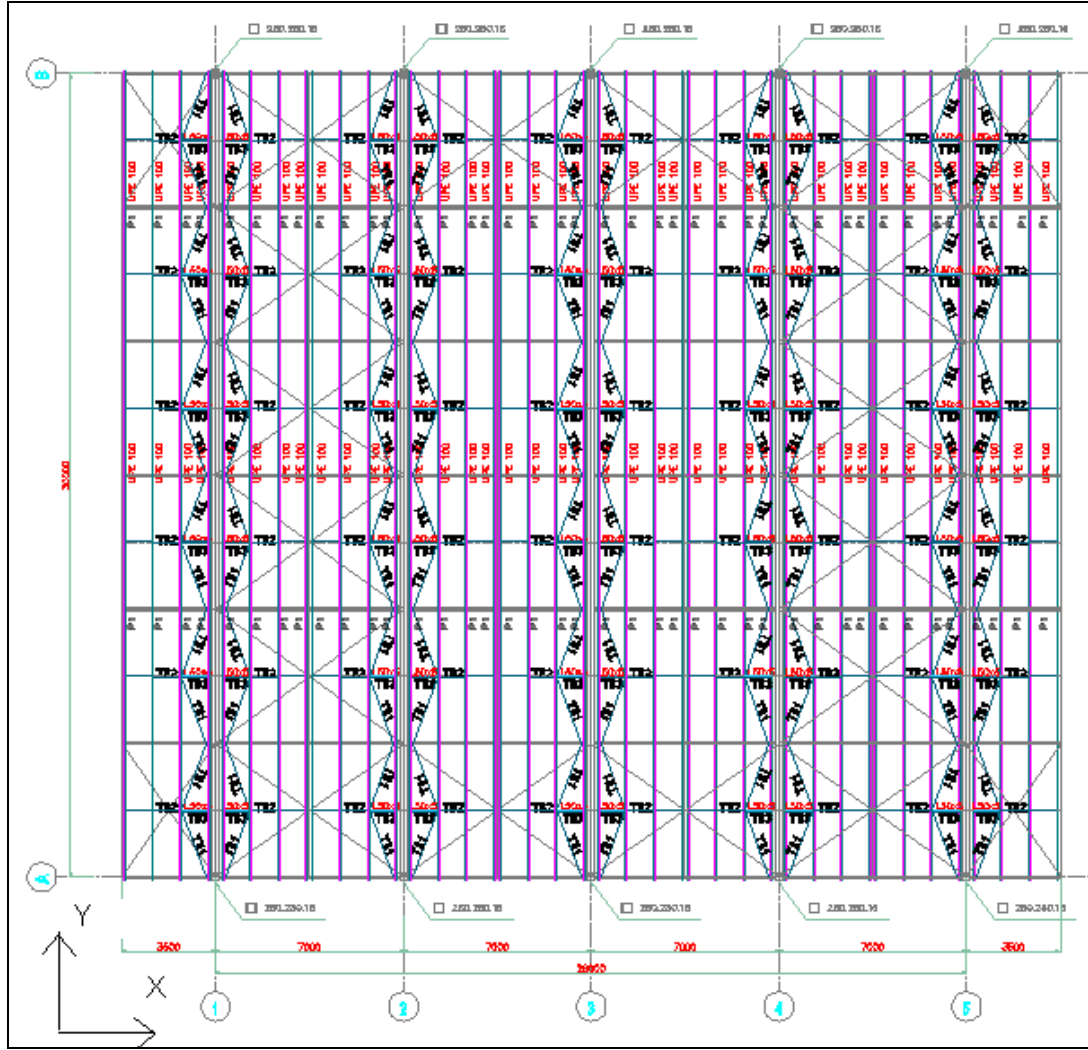


Şekil 1.3 : Makaslar arası tali kiriş düzeni.



Şekil 1.4 : Çatı çapraz planı.

Çatı planı ise aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 1.5 : Çatı planı.

2. EUROCODE 3 YÖNETMELİĞİNE GÖRE BOYUTLANDIRMA

2.1 Eurocode 3 Yönetmeliğinin Genel Tasarım Esasları [1]

Eurocode 3 çelik yapıların boyutlandırılmasında limit duruma göre tasarım prensibini esas almaktadır. Yapıyı oluşturan elemanların ve birleşimlerin boyutlandırılmasında maksimum yük ve deformasyon altında limit dayanım esas alınmaktadır. Tüm yapısal stabilite ve deformasyon kontrolleri yapıya etkiyecek olan yük ve etkilerin en elverişsiz durumu göz önüne alınarak gerçekleştirilir. Yapı elemanlarının ve birleşim noktalarının mukavemet değerlerinin bu yük ve etkilerin yapısal elemanlarda ve birleşimlerde oluşturacakları tasarım değerlerini karşılaması gerekmektedir.

Eurocode 3 yönetmeliğine göre tasarımda aşağıdaki ana koşul sağlanmalıdır;

$$S_d \leq R_d \quad (2.1)$$

S_d = Etkilerin tasarım değerleri

R_d = Mukavemet tasarım değerleri

Eurocode 3 çelik yapıların boyutlandırılmasında ekonomik ve güvenli tasarımı amaçlamaktadır. İşletme yüklerine göre limit duruma göre boyutlandırılırken gerekli deformasyon sınırlandırılmaları yapılmaktadır. Bu deformasyon sınırlamaları aşağıdaki kontrolleri içermektedir;

- Enkesit dayanımı kontrolü
- Eleman dayanımı kontrolü
- Birleşim dayanımı kontrolü
- Münferit elemanlarda stabilite kontrolü
- Tüm taşıyıcı sistemde stabilite kontrolü
- Statik denge kontrolü
- Yorulma dayanımı kontrolü
- Kullanılabilirlik kontrolü

2.2 Malzeme Karakteristik Özellikleri ve Dayanımları [1]

Çelik malzeme ve bulonlar için sınır dayanım değerleri Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2 'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Çelik malzeme akma ve kopma dayanımı değerleri.

Nominal Çelik Kalitesi	Kalınlık t^* (mm)			
	$t \leq 40$ mm		$40 \leq t \leq 100$ mm	
	f_y (N / mm ²)	f_u (N / mm ²)	f_y (N / mm ²)	f_u (N / mm ²)
Fe 360	235	360	215	340
Fe 430	275	430	255	410
Fe 510	355	410	355	490
* t yapı elemanının nominal kalınlığıdır. - Hadde profillerde başlık kalınlığı - Kaynaklı yapı elemanlarında münferit elemanların kalınlığı (Başlık, gövde) f_y = akma gerilmesi f_u = çekme dayanımı				

Çizelge 2.2 : Bulon sınıflarına göre akma ve kopma dayanımı değerleri.

Bulon kalitesi	4.6	5.6	8.8	10.9
f_{yb} (N / mm ²)	240	300	640	900
f_{ub} (N / mm ²)	400	500	800	1000
f_{yb} = bulon akma dayanımı f_{ub} = bulon kopma dayanımı				

Elastisite modülü (E) = 210000 N/mm²

Kayma modülü (G) = 81000 N/mm²

Poisson Oranı (ν) = 0.30

Isı genleşme katsayısı (α) = 12x10⁻⁶ 1 / °C

Yoğunluk (ρ) = 78,50 kN/m³

2.3 Kısmi güvenlik katsayıları [1]

Karakteristik yük F_k kısmi güvenlik faktörleriyle çarpılarak (γ_F) tasarım yükü (F_d) elde edilir.

$$F_d = \gamma_f \times F_k \quad (2.2)$$

Eurocode 3 'e göre tasarım esasında yük ve mukavemet karakteristik değerleri γ_f ve γ_m sabit kısmi güvenlik katsayıları çarpılmaktadır. γ_f kısmi güvenlik katsayısı ile ana etken olan karakteristik değerlerde meydana gelen sapmalar göz önüne alınır. γ_m malzeme güvenlik katsayısı ile üretim kusurları ve karakteristik değerlerde meydana gelen sapmalar göz önüne alınmış olur.

$$S_d \leq R_d \quad (2.1)$$

S_d = Etkilerin tasarım değerleri

R_d = Mukavemet tasarım değerleri

Yüksek yapılarda etkilerin boyutlandırma değerleri S_d ,

Yalnız en elverişsiz hareketli etkinin göz önüne alınması halinde;

$$S_d = \sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \quad (2.3)$$

Tüm elverişsiz hareketli etkilerin göz önüne alınması halinde;

$$S_d = \sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} Q_{k,i} \quad (2.4)$$

Bu ifadelerde:

$G_{k,j}$ = Sabit etkilerin karakteristik değerleri

$Q_{k,1}$ = Değişken bir etkinin karakteristik değeri

$Q_{k,i}$ = Diğer değişken etkilerin karakteristik değerleri

$\gamma_{G,j}$ = G_{kj} Sabit etkisinin kısmi güvenlik katsayıları

$\gamma_{Q,i}$ = Q_{kj} Hareketli etkilerinin kısmi güvenlik katsayıları

Kısmi güvenlik katsayılarının değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Etkiler (yükler). [2]

Taşıma yükü sınır durumu	Kullanılabilirlik sınır durumu
• Yalnız en elverişsiz etki eden hareketli yük Q $S_d = 1,35 \sum G_{k,j} + 1,5 Q_{k,1}$ • Tüm hareketli yükler $S_d = 1,35 \sum G_{k,j} + 1,35 \sum Q_{k,i}$	• Yalnız en elverişsiz etki eden hareketli yük Q $S_d = \sum G_{k,j} + Q_{k,1}$ • Tüm hareketli yükler $S_d = \sum G_{k,j} + 0,90 \sum Q_{k,i}$
En elverişsiz yük kombinasyonu esas alınır.	

Çizelge 2.4 : Mukavemet (dayanım). [2]

Taşıma yükü sınır durumu	Kullanılabilirlik sınır durumu
$R_d = R_k / \gamma_M$ $R_d = f(f_y)$ ise $\gamma_M = 1.1$ $R_d = f(f_u)$ ise $\gamma_M = 1.25$	$R_d = R_k / \gamma_M$ $\gamma_M = 1.0$
R_k : mukavemetin karakteristik değeri f_y : akma gerilmesi f_u : çekme dayanımı γ_{M0} : 1., 2. ve 3. sınıf enkesitler için 1,10 γ_{M2} : 4. sınıf enkesitler ve burkulma dayanımı hesabı için 1,10 γ_{M2} : Çekme dayanımı gerektiren hesaplamalarda 1,25	

2.4 Yükler [1]

Yapı elemanlarının öz ağırlıklarının oluşturduğu sabit yükler, yapının kullanma safhasında ortaya çıkan, hareketli karakterde olan işletme yükleri, kar yükü, deprem yükleri olarak gruplandırılabilir. Demiryolu ve karayolu köprülerinde, endüstri yapılarında kren kirişi ve köprülerinde, su yapılarında yüklerin dinamik ve darbe etkileri, malzeme yorulması, mesnet çökmesi, ısı etkileri de dikkate alınmalıdır.

Tasarımda sabit, işletme, kar, rüzgar ve deprem yüklerinin belirli kombinasyonları yapılarak konstrüksiyonda en elverişsiz kesit etkileri araştırılır.

2.5 Kesit Dayanım Hesabına Esas Enkesit Değerleri [1]

Kesit dayanımına esas enkesit değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 2.5 : Kesit dayanım hesabına esas enkesit değerleri.

Kesit Etkisi	Gerilme Şekli	Kesit dayanımının hesabında kullanılan enkesit değerleri	
Kesit Etkisi	Gerilme Şekli	N ve V	M_B ve M_T
Normal kuvvet N	Basınç	A	
	Çekme	A_{net}	
Eğilme momenti M_b	Basınç		W_{el}, W_{pl}
	Çekme		$W_{el}, W_{pl}^{*)}$
Normal kuvvet N ve eğilme momenti M_b	Basınç	A	W_{el}, W_{pl}
	Çekme	A_{net}	$W_{el}, W_{pl}^{*)}$
Kesme kuvveti V	Kayma	$A_v, S, I, t^{*)}$	
Burulma Momenti			
A : brüt enkesit alanı			
A_{net} : net enkesit alanı			
A_v : kesme alanı			
S : statik moment			
I : atalet momenti			
W_{el} : elastik mukavemet momenti			
W_{pl} : plastik mukavemet momenti			
t : kayma gerilmelerini aktaran enkesit kısımlarının kalınlığı			
*) : delik zayıflaması göz önüne alınmalıdır.			

2.6 Eurocode 3 Yönetmeliğine Göre Enkesitlerin Sınıflandırılması [1]

Elemanların enkesitleri dört sınıfa ayrılmaktadır.

1. sınıf enkesitler (plastik enkesitler) : Yeterli dönme kapasiteli plastik mafsallar oluştururlar.
2. sınıf enkesitler (kompakt enkesitler) : Maksimum plastik dayanımına sahip olup, sınırlı dönme kapasitesindedirler.
3. sınıf enkesitler (yarı kompakt enkesitler) : En elverişsiz enkesit lifinde akma gerilmesine ulaşılır, fakat yerel buruşmalar (burkulmalar) nedeniyle plastik rezervler kullanılamaz.
4. sınıf enkesitler (narin enkesitler) : Basınca maruz enkesit kısımlarında meydana gelen yerel buruşmalar (burkulmalar) nedeniyle, tam elastik dayanıma ulaşamaz; enkesitte göçme elastik kesitte meydana gelir. Bu nedenle bu kesitler moment ve basınç dayanımları (mukavemetleri), yerel buruşma göz önüne alınarak hesaplanmalıdır. 4. sınıf enkesitlerde enkesit buruşması sonucu enkesit dayanımı etkili genişlik kullanılarak hesaplanır.

Enkesitler, basınca maruz kısımlarının boyut oranlarına bağlı olarak sınıflandırılır.

Basınca maruz kısımlar, herhangi bir yükleme durumunda eksenel kuvvet veya eğilme momentiyle, tamamen veya kısmen zorlanan enkesit kısımlarıdır. Bir enkesitte basınca maruz kısımlar (başlık veya gövde) farklı sınıflara ayrılabilir. Bir enkesit, basınca maruz elemanlarının en elverişsiz sınıfına göre sınıflandırılır. Basınca maruz bir enkesit kısmı 3. sınıf enkesit sınır oranlarını sağlamadığı takdirde 4. sınıf enkesite dahil olur.

2.7 Kesit Dayanımları [3]

2.7.1 Çekme dayanımı

Eksenel çekme kuvveti etkisinde bir elemanda, $N_{t,Sd}$ oluşan eksenel çekme kuvveti olmak üzere, aşağıdaki koşul sağlanmalıdır.

$$N_{t,Sd} < N_{t,Rd} \quad (2.5)$$

$N_{t,Rd}$; Kesitin eksenel çekme kuvveti kapasitesi olup aşağıdaki iki değerden küçük olanı tasarıma esas olarak kabul edilir.

- $N_{pl,Rd}$: Enkesite ait plastik çekme dayanımı olmak üzere;

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} \quad (2.6)$$

şeklinde hesap edilir.

- Delik çevresindeki kritik kesite göre hesap edilmesi durumunda ;

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}} \quad (2.7)$$

şeklinde hesap edilir.

2.7.2 Basınç dayanımı

Eksenel basınç kuvveti etkisinde bir elemanda, $N_{c,Sd}$ oluşan eksenel basınç kuvveti olmak üzere, aşağıdaki koşul sağlanmalıdır.

$$N_{c,Sd} < N_{c,Rd} \quad (2.8)$$

$N_{c,Rd}$; Kesitin eksenel basınç kuvveti kapasitesi olup 1., 2. ve 3. sınıf enkesitlerde aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} \quad (2.9)$$

4. sınıf enkesitlerde ise ;

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \times f_y}{\gamma_{M0}} \quad (2.10)$$

2.7.3 Sadece eğilmeye çalışan elemanların dayanımı

Enkesitte etkili olan eğilme momenti M_{Sd} olmak üzere, aşağıdaki dayanım koşulu sağlanmalıdır.

$$M_{Sd} \leq M_{c,Rd} \quad (2.11)$$

$M_{c,Rd}$ tasarım dayanım momenti olmak üzere;

1. ve 2. sınıf enkesitlerde plastik hesap göz önüne alınarak;

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} \quad (2.12)$$

şeklinde hesaplanır.

3. sınıf enkesitlerde ise elastik hesap gözönüne alınarak;

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} \times f_y}{\gamma_{M0}} \quad (2.13)$$

4. sınıf enkesitlerde ise enkesitte çalışan efektif alan gözönüne alınarak;

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el,eff} \times f_y}{\gamma_{M0}} \quad (2.14)$$

2.7.4 Kesme dayanımı

Elemana gelen kesme kuvveti V_{Sd} olmak üzere sözkonusu enkesitte aşağıdaki koşul sağlanmalıdır;

$$V_{Sd} \leq V_{pl,Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} \quad (2.15)$$

$V_{pl,Rd}$ enkesit plastik kesme dayanımı olarak tanımlanmıştır.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} \quad (2.16)$$

A_v kesme alanı olup;

- Hadde I ve H kesitlerde yük gövdeye paralel ise : $A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$
- Hadde U kesitler için: $A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$
- Kaynaklı I, H ve kutu kesitlerde yük gövdeye paralel ise : $\Sigma(dt_w)$
- Kaynaklı I, H, U ve kutu kesitlerde yük gövdeye paralel ise : $A - \Sigma(dt_w)$
- Hadde dikdörtgen kutu kesitlerde;
 - Yük yüksek kenara paralel ise: $Ah / (b + h)$
 - Yük enine doğrultuya paralel ise: $Ab / (b + h)$
- Dairesel boru kesitlerde: $2A/\pi$
- Plaka ve dolu kesitli çubuklarda: A

olarak kabul edilir.

A : kesit alanı

b : kesit genişliği

h : kesit toplam yüksekliği

d : kesitin gövde yüksekliği

r : kesitin eğrilik yarıçapı

t_f : başlık kalınlığı

t_w : gövde kalınlığı

2.7.5 Eğilme momenti ve kesme kuvveti etkisindeki enkesit dayanımı [4]

Bir kesitte kesme kuvveti plastik moment dayanımını azaltır. Kesme kuvvetinin küçük olması halinde dayanım azalması miktar küçüktür ve ihmal edilebilir. Kesme kuvveti plastik kesme kuvveti dayanımının %50' sini aştığı durumda, plastik moment dayanımı azaltılarak hesap yapılır.

- Kuvvetli eksen etrafında eğilen simetrik kirişlerde;

$$M_{v,Rd} = \left(W_{pl} - \frac{\rho \times A_v^2}{4 \times t_w} \right) \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \leq M_{c,Rd} \quad (2.17)$$

dayanım koşulunun sağlanması gerekmektedir.

- ρ dayanım indirgeme faktörü olmak üzere;

$$\rho = \left(2 \times \frac{V_{Sd}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)$$

formülü ile hesaplanır.

- Diğer hallerde enkesitin $M_{v,Rd}$ plastik moment dayanımı etkili kayma yüzeyinde $(1-\rho).f_y$ indirgenmiş akma dayanımı ile hesap yapılır.

2.7.6 Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki enkesit dayanımı [4]

- Sınıf 1 ve 2 enkesitler için ;

$$M_{Sd} \leq M_{N,Rd} \quad (2.18)$$

koşulunun sağlanması gerekmektedir. $M_{N,Rd}$ normal kuvvet nedeniyle indirgenmiş plastik moment dayanımıdır.

- Delik bulunmayan bir levhada indirgenmiş plastik moment dayanımı ;

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \left[1 - \left(\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \right] \quad (2.19)$$

bağıntısıyla yazılır. Ve denklem

$$\frac{M_{Sd}}{M_{pl,Rd}} + \left(\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (2.20)$$

şeklini alır.

-Başlıklı enkesitlerde y-y eksen etrafında eğilmede, normal kuvvetin küçük olması halinde plastik moment dayanımında indirgenen mükdar küçüktür ve ihmal

edilebilir. Buna karşılık, normal kuvvetin gövde levhasının plastik çekme kuvvetinin %50 'sini veya enkesit plastik çekme kuvvetinin %25 'ini aşması halinde plastik moment dayanımı indirgenir. Z-z eksenini etrafında da benzer şekilde normal kuvvet gövde levhasının plastik çekme dayanımını aştığı zaman indirgeme yapılır.

-Hadde ve kaynaklı I ve H kesitli profiller için aşağıdaki bağıntı kullanılabilir.

$$M_{y,N,Rd} = M_{y,pl,Rd} \left(\frac{1-n}{1-0,5a} \right) \leq M_{y,pl,Rd} \quad (2.21)$$

$$n \leq a \text{ ise } M_{z,N,Rd} = M_{z,pl,Rd} \quad (2.22)$$

$$n > a \text{ ise } M_{z,N,Rd} = M_{z,pl,Rd} \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right] \quad (2.23)$$

Burada;

$$n = \frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}}$$

$$a = \frac{A - 2 \times b \times t_f}{A} \leq 0,5 \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

-Delik bulunmayan sabit cidar kalınlıklı dikdörtgen kesit kutu profiller ve kaynaklı simetrik sandık kesitler için;

$$M_{y,N,Rd} = M_{y,pl,Rd} \left(\frac{1-n}{1-0,5a_w} \right) \leq M_{y,pl,Rd} \quad (2.24)$$

$$M_{z,N,Rd} = M_{z,pl,Rd} \left(\frac{1-n}{1-0,5a_f} \right) \leq M_{z,pl,Rd} \quad (2.25)$$

bağıntıları kullanılabilir.

Burada;

$$a_w = \frac{A - 2 \times b \times t}{A} \leq 0.5$$

$$a_f = \frac{A - 2 \times h \times t}{A} \leq 0.5$$

kutu kesitler için,

$$a_w = \frac{A - 2 \times b \times t_f}{A} \leq 0.5$$

$$a_f = \frac{A - 2 \times h \times t_w}{A} \leq 0.5$$

kaynaklı sandık kesitler için geçerlidir.

-İki eksen etrafında eğilme durumunda

$$\left(\frac{M_{y,Sd}}{M_{y,N,Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Sd}}{M_{z,N,Rd}} \right)^\beta \leq 1 \quad (2.26)$$

bağıntısı geçerlidir.

α ve β sabit katsayılar olup;

I ve H profillerinde $\alpha=2$; $\beta=5n \geq 1$

Borularda $\alpha = 2$; $\beta = 2$

Dikdörtgen kutu profillerde $\alpha = \beta = \frac{1.66}{1-1.13n^2} \leq 6$

Dolu dikdörtgen enkesitlerde ve levhalarda $\alpha = \beta = 1.73 + 1.8n^3$

değerleri kabul edilir. Burada; $n = N_{Sd} / N_{pl,Rd}$ dir.

Denklem 2.26 basitleştirilerek ;

$$\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,pl,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1 \quad (2.27)$$

şeklini alır.

- Sınıf 3 enkesitler için ;

Eğilme momenti ve normal kuvvetten meydana gelen normal gerilme ;

$$\sigma_{x,Ed} \leq f_{yd} \quad (2.28)$$

koşulunu sağlamalıdır.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} \quad (2.29)$$

Delik bulunmayan enkesitlerde (2.28) koşulundan;

$$\frac{N_{Sd}}{A \times f_{yd}} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{y,el} \times f_{yd}} + \frac{M_{z,Sd}}{W_{z,el} \times f_{yd}} \leq 1 \quad (2.30)$$

bağıntısı elde edilir.

- Sınıf 4 enkesitler için ;

Basınca maruz enkesit kısımlarının indirgenmiş etkili genişlikleri göz önüne alınarak hesaplanan maksimum normal gerilme (2.28) koşulunu sağlamalıdır.

Delik bulunmayan enkesitlerde (2.28) koşulundan;

$$\frac{N_{Sd}}{A_{eff} \times f_{yd}} + \frac{M_{y,Sd} + N_{Sd} e_{y,N}}{W_{y,eff} \times f_{yd}} + \frac{M_{z,Sd} + N_{Sd} \times e_{z,N}}{W_{z,eff} \times f_{yd}} \leq 1 \quad (2.31)$$

A_{eff} : Üniform basınç gerilmesi altında efektif enkesit alanı

W_{eff} : Yalnızca eğilmeye çalışan kesitte efektif enkesitin mukavemet momenti

e_N : Enkesitte indirgenme sonucu oluşan öteleme değeri olarak alınır.

2.7.7 Burkulma dayanımı [4]

Burkulma Dayanımı üniform basınca çalışan enkesitlerde;

$$N_{Sd} \leq N_{b,Rd} \quad (2.32)$$

koşulu ile sağlanır.

$N_{b,Rd}$ basınca çalışan elemanın burkulma dayanımıdır.

$$N_{b,Rd} = \chi \times \beta_A \times A \times \frac{f_y}{\gamma_M} \quad (2.33)$$

Sınıf 1,2 ve 3 enkesitlerde $\beta_A = 1$ değerini alır.

Sınıf 4 enkesitlerde ise $\beta_A = \frac{A_{eff}}{A}$ değerini alır.

χ burkulma moduna bağlı indirgeme katsayısıdır.

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1 \quad (2.34)$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right] \quad (2.35)$$

Burada α kusur katsayısıdır. Burkulma gerilmesi eğrisine bağlı olarak aşağıdaki değerlere göre hesaplanır.

Çizelge 2.6 : Burkulma gerilme eğrisi – α katsayısı ilişkisi.

Burkulma gerilmesi eğrisi	a	b	c	d
α	0.21	0.34	0.49	0.76

Göreceli narinlik ($\bar{\lambda}$) 1., 2. ve 3. Sınıf enkesitlerde

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} \quad (2.36)$$

$$N_{cr} = \pi^2 EI / l^2 \quad (2.37)$$

4. Sınıf enkesitlerde;

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \times f_y}{N_{cr}}} \quad (2.38)$$

değerini alır.

N_{cr} ; ilgili burkulma modu için elastik kritik burkulma yüküdür.

2.7.8 Yanal burulmalı burkulma dayanımı [4]

Yanal doğrultuda tutululuk koşulu sağlanmamış kirişlerde yanal burulmalı burkulma dayanımı tahkiki yapılmalıdır.

Yanal burulmalı burkulma dayanımı;

$$M_{b,Rd} \leq \chi_{LT} \times M_{c,Rd} \quad (2.39)$$

bağıntısı ile kontrol edilir. Burada χ_{LT} yanal burulmalı burkulma indirgeme katsayısıdır.

$$\chi = \chi_{LT} \quad (2.40)$$

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_{LT} \quad (2.41)$$

Yukarıdaki bağıntılar sonucunda denklem 2.29 ve 2.30 yanal burulmalı burkulma dayanımı için geçerli olmaktadır. Hadde profiller için “a” burkulma gerilmesi eğrisi, kaynaklı kesitler için “c” burkulma gerilmesi eğrisi kullanılarak χ_{LT} yanal burulmalı burkulma indirgeme katsayısı bulunabilir. Bağıntılarda λ_{LT} yanal burulmalı burkulma geometrik narinliği bütün enkesit sınıfları için;

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E \times W_{y,pl}}{M_{cr}}} \quad (2.42)$$

bağıntısıyla belirlenir.

M_{cr} ; yanal burulmalı burkulma elastik moment değeridir. Çift simetri eksenli kesitlerin yanal doğrultuda tutulu noktalarında uç momentleriyle yüklenmesi halinde

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I}{l_{LT}^2} \cdot \sqrt{\frac{(k / k_w)^2 I_w + 0.039 \times l_{LT} \times I_t}{I_z}} \quad (2.43)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada

I_t : enkesitin burulma dayanımı

I_w : enkesitin çarpılma dayanımı

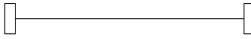
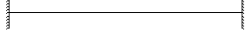
k, k_w : etkili boy katsayıları

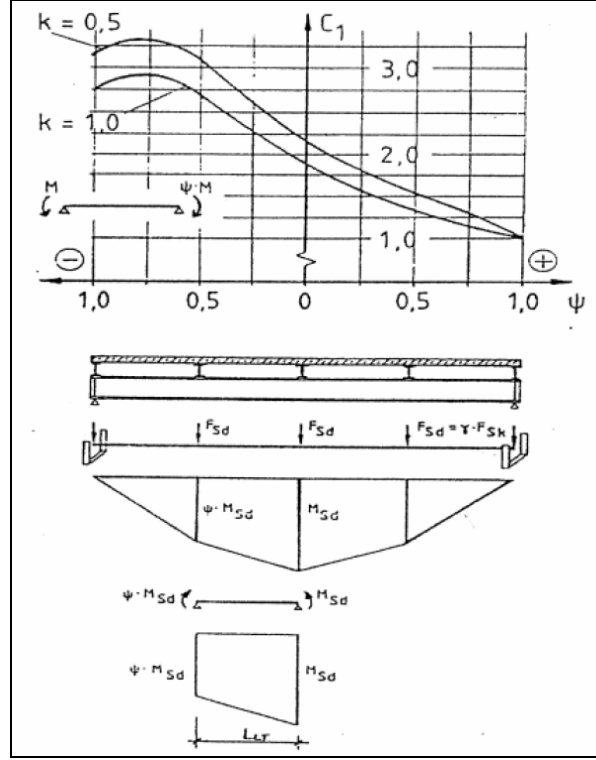
$l_{LT} = k.L_{LT}$ eğilme düzlemi dışına burkulmada burkulma boyu

C_1 : Çizelge 2.8' den alınan bir katsayıdır.

$\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$ olması halinde $\chi_{LT} = 1$ alınır. Yanal burulmalı burkulma kontrolüne gerek kalmaz.

Çizelge 2.7 : Yanal burulmalı burkulmada etkili boy katsayıları.

Düzlem dışına eğilmede uç koşulları		Çarpılmada uç koşulları	
	$k_w = 1$		$k_w = 1.0$
	$k_w = 0.5$		$k_w = 0.50$



Çizelge 2.8 : C_1 değeri ve ψ 'nin tanımı.

2.8 EC-1 Yönetmeliğine Göre Sisteme Etkiyen Yükler

2.8.1 Düşey yükler

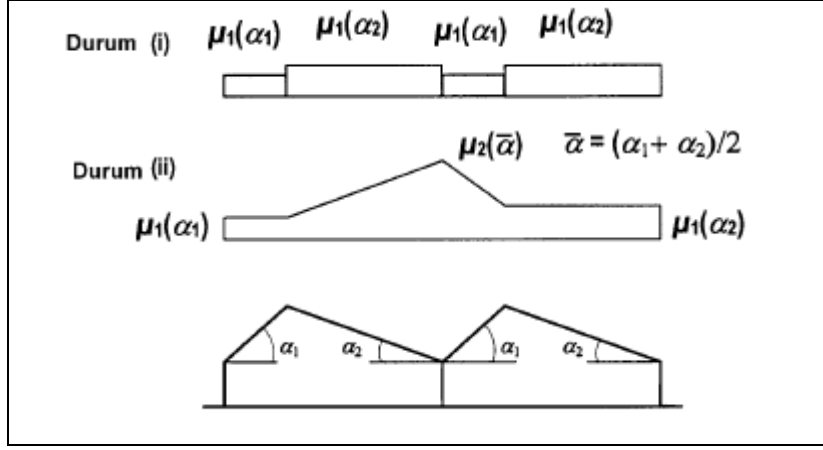
Ölü yükler: (Yatay Düzlemde)

Çatı Kaplaması0.15 kN / m²

Aşık Özağırlığı0.10 kN / m²

2.8.2 Kar yükü

Sisteme etkiyen hareketli yük kar yükü olarak tanımlanabilir. Kar yükü yatay düzlemde 0.75 kN / m² değerine göre hesaplara dahil edilmiştir. Kar yükünün yapıya etkime esasları ise Eurocode TS EN 1991-1-3 yönetmeliği göz önünde bulundurularak hesap yapılmıştır. Kar yükü değeri TS EN 1991-1-3 yönetmeliği Ek MA kısmında yer alan Türkiye için verilen değerlere göre seçilmiştir. Yapıya kar yükünün etkime esasları için TS EN 1991-1-3 yönetmeliği bölüm 5.3.4. Çok Eğimli Çatılar kısmında belirtilen durum dikkate alınmıştır. Çok eğimli çatılarda kar birikmesi durumu dikkate alınarak en elverişsiz durum göz önüne alınmıştır.



Şekil 2.1 : Şetli çatılarda kar yüklemesi elverişsiz durumları.

Çatı eğimine göre $\alpha_1 = \alpha_2 = 20^\circ$

μ_1 ve μ_2 şekil katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

Çizelge 2.9 : Çatı eğimine göre μ_1 ve μ_2 şekil katsayısı.

Çatı eğim açısı, α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0.8	$0.8(60 - \alpha)/30$	0
μ_2	$0.8 + 0.8(\alpha/30)$	1.6	-

Çatı şet yüzeylerinde en elverişsiz durum, 2. Yükleme hali için oluşmaktadır. Buna göre

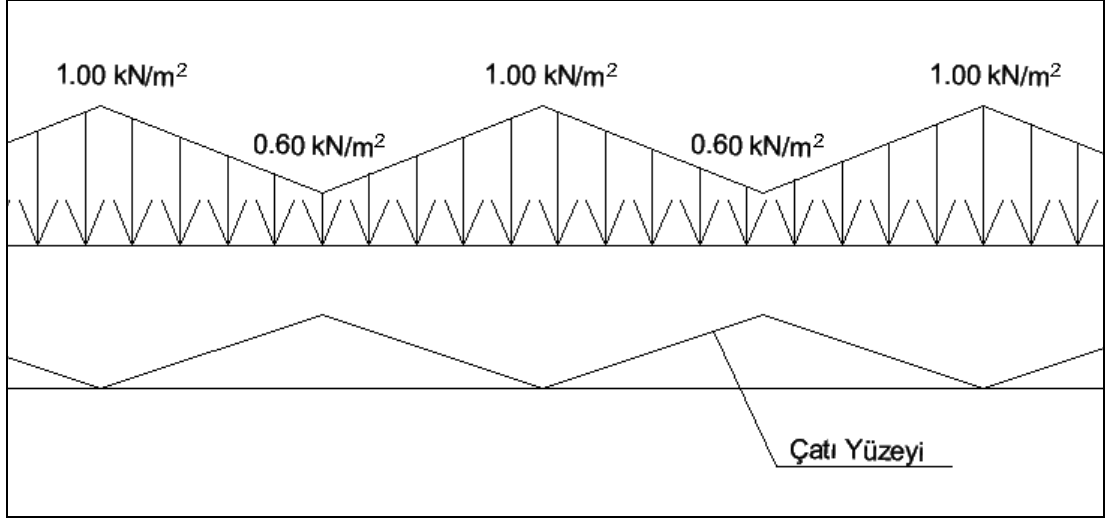
$$\bar{\alpha} = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2$$

$$\bar{\alpha} = (20 + 20) / 2 = 20$$

$$\mu_1 = 0.8$$

$$\mu_2 = 0.8 + 0.8.(20/30) = 1.333 \text{ değerini almaktadır. [5]}$$

Bu katsayılar sonucunda çatı düzleminde kar yükleme durumu aşağıdaki gibi bir hal almaktadır. EC1 yönetmeliğinde verilen kar yükü dengesiz dağılımı etkisi ülkemizde de bir süre geçerli olan TS 7046 yönetmeliği ile aynı değerleri vermektedir. [6]



Şekil 2.2 : Çatı düzlemine etkiyen kar yüklemesi durumu.

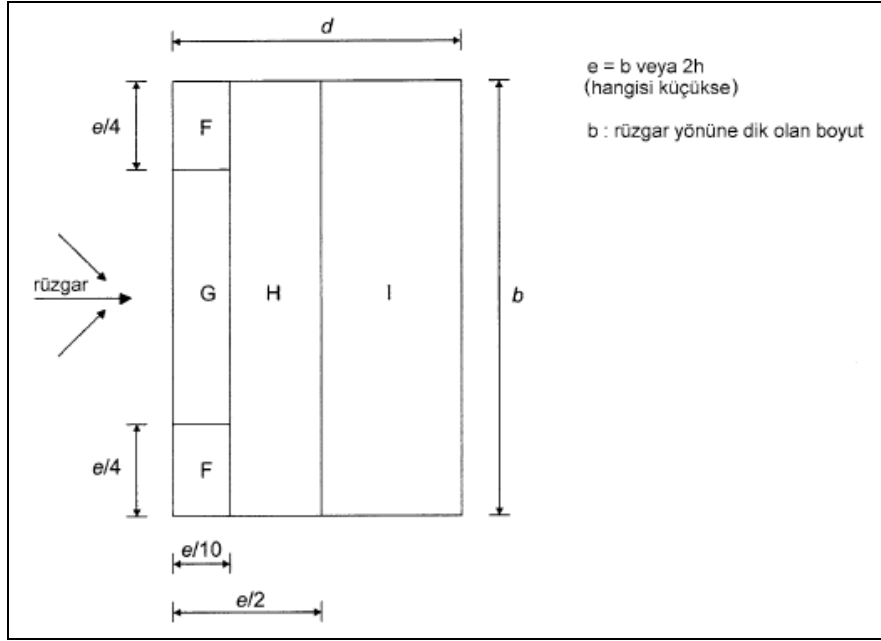
2.8.3 Rüzgar yükü

Rüzgar yükü yapıda 2 farklı doğrultu için hesaplanmıştır.

- Enine doğrultuda rüzgar yükü hesabı

Rüzgar yükü yapı yüksekliği göz önünde bulundurularak 0.5 kN/m^2 alınmıştır.[7] Bu değer hesaplara dahil edilirken TS 498 yönetmeliği göz önüne alınmıştır. Eurocode TS EN 1991-1-4 yönetmeliğinde Türkiye için bir yük değeri söz konusu olmadığından yük değeri için TS 498 yönetmeliği referans alınmıştır. Yükleme şekli ve etkisi için TS EN 1991-1-4 yönetmeliği referans alınmıştır.

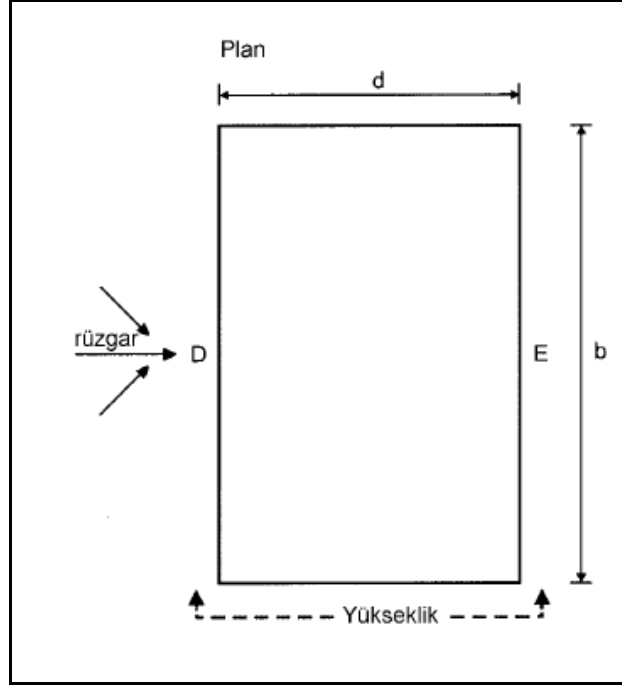
Enine doğrultuda, çatı eğimi $\alpha = 2.86^\circ$ değeri göz önünde bulundurularak düz çatılara göre hesap edilmiştir. Bunun sonucunda çatı yüzeylerinde ve cephelerde aşağıdaki katsayılar ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.3 : TS EN 1991-1-4 Düz çatılarda çatı düzlemlerine göre rüzgar etki bölgeleri.

Çizelge 2.10 : TS EN 1991-1-4 Düz çatılarda çatı düzlemlerine göre rüzgar dışbasınç katsayıları.

Çatı tipi		Bölge							
		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Keskin kenarlı saçaklar		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Parapetli	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h=0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h=0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$r/h=0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4	-0,2	+0,2	-0,2
	$r/h=0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3	-0,2	+0,2	-0,2
	$r/h=0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3	-0,2	+0,2	-0,2
Kenarları yuvarlatılmış saçaklı		-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3	-0,2	+0,2	-0,2
Kenarları pahlı saçaklı		-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4	-0,2	+0,2	-0,2
		-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5	-0,2	+0,2	-0,2



Şekil 2.4 : TS EN 1991-1-4 Cephelere göre rüzgar etki bölgeleri.

$$e = h / d$$

$$h = 7.50 \text{ m}$$

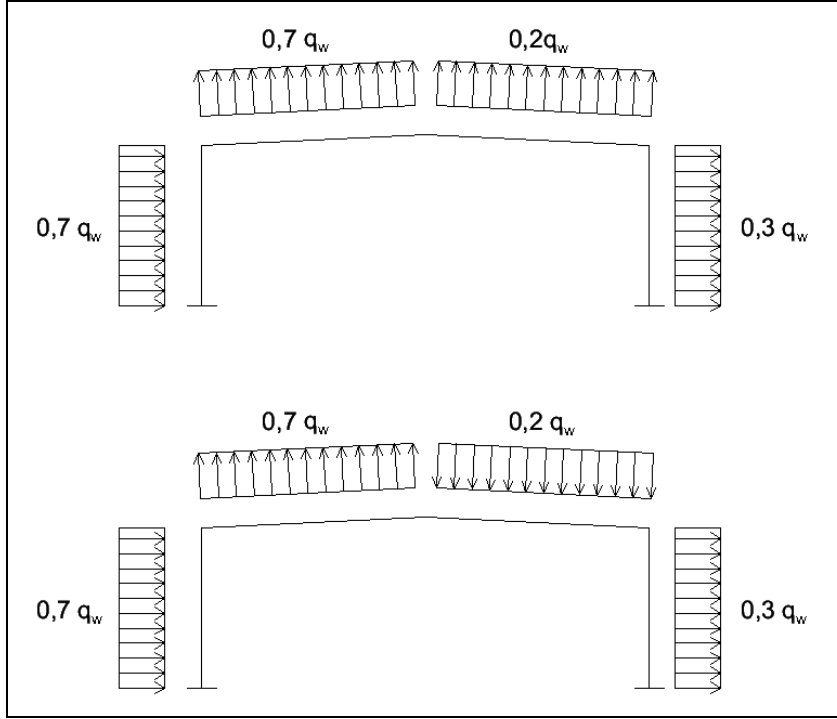
$$d = 30 \text{ m}$$

$$e = 7.5 / 30 = 0.25$$

Cephelere göre rüzgar dışbasınç katsayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 2.11 : TS EN 1991-1-4 Çizelge 7.1 Cephelere göre rüzgar dışbasınç katsayıları.

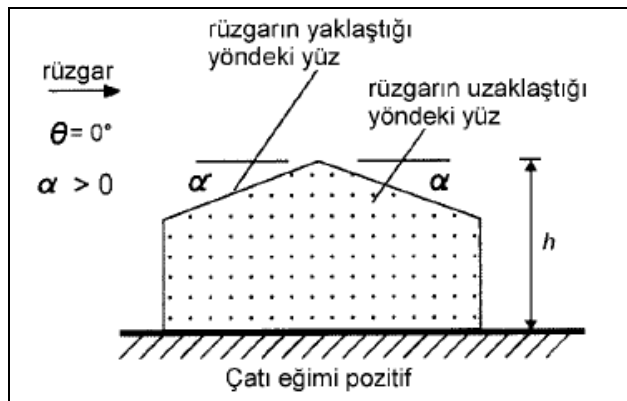
Bölge	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	



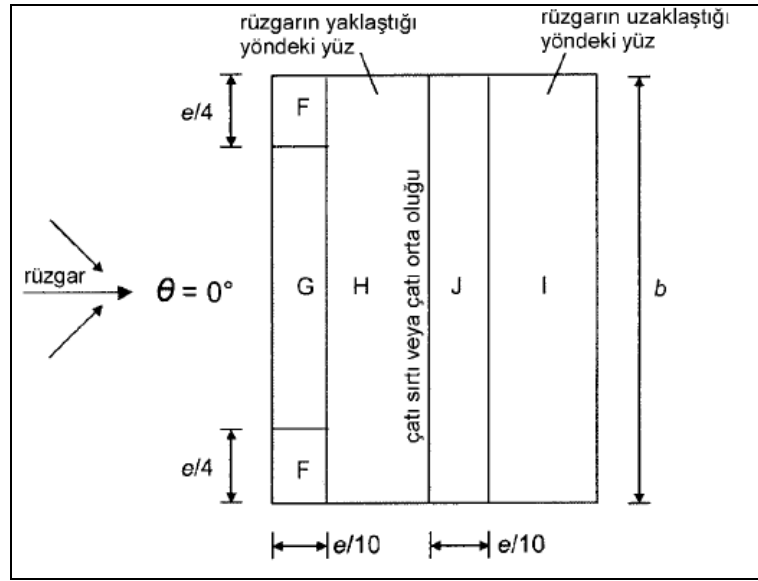
Şekil 2.5 : Yapı enine doğrultusunda cepheler ve çatı düzlemleri için hesaplanan rüzgar dışbasınç katsayıları.[8]

- Boyuna doğrultuda rüzgar yükü hesabı

Yapıya boyuna doğrultuda rüzgar yükü etkisi düşünülürken çatı şet yüzeylerinin etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Çatı şet yüzeyleri ile yatay doğrultu arasındaki açı $\alpha = 20^\circ$ olduğundan dolayı rüzgar yükü etki katsayıları tek ve çift eğimli çatılar için olması durumuna göre baz alınıp çok açıklıklı çatı etkisine göre katsayılar değiştirilmiştir. Buna göre ilk şet yüzeyindeki rüzgar etki katsayısı tek eğimli çatı olması durumuna göre diğer bütün çatı şet yüzeylerinde çift eğimli çatı olması durumuna göre hesap yapılmıştır.



Şekil 2.6 : TS EN 1991-1-4 Çift eğimli çatılarda rüzgar yükü parametreleri.

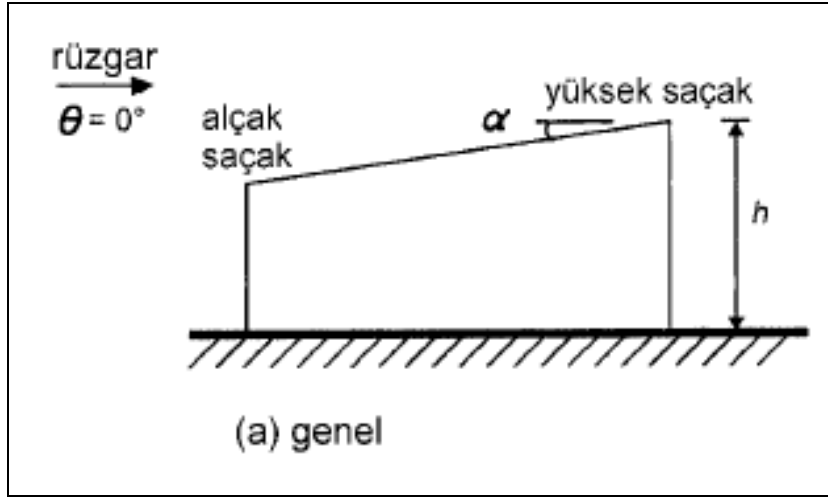


Şekil 2.7 : TS EN 1991-1-4 Çift eğimli çatılarda çatı düzlemlerine göre rüzgar etki bölgeleri.

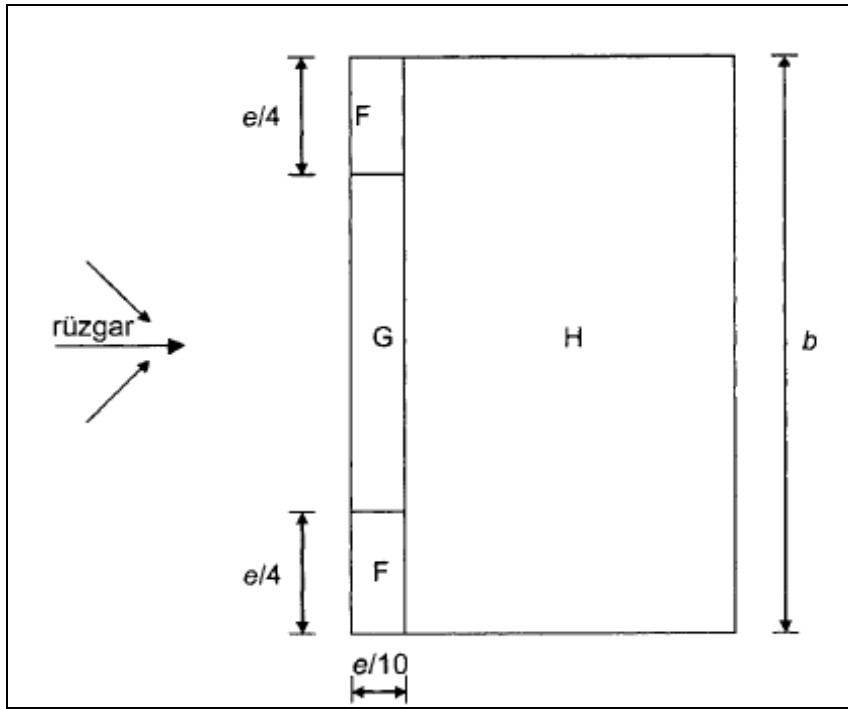
Çizelge 2.12 : TS EN 1991-1-4 Çift eğimli çatılarda çatı düzlemlerine göre rüzgar dışbasınç katsayıları.

Eğim açısı α	Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için bölgeler									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2			+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0		-0,6		-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Tek eğimli çatılarda rüzgar yükü parametreleri ve dışbasınç katsayıları ile ilgili şekiller ve çizelge aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.8 : TS EN 1991-1-4 Tek eğimli çatılarda rüzgar yükü parametreleri.

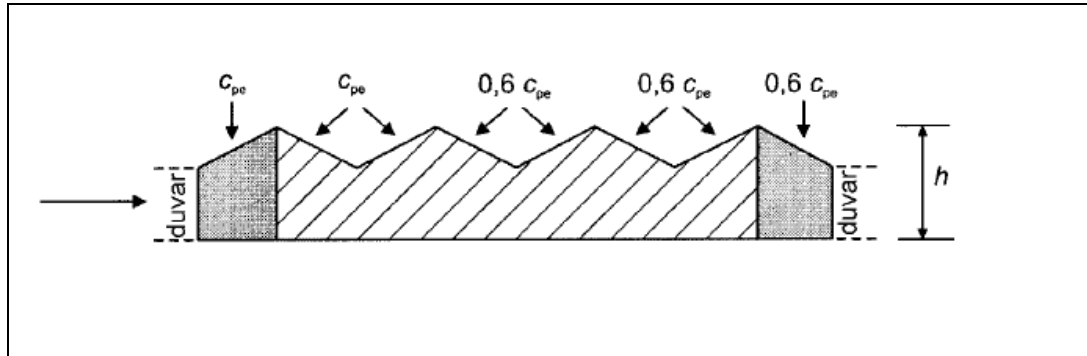


Şekil 2.9 : TS EN 1991-1-4 Tek eğimli çatılarda çatı düzlemlerine göre rüzgar etki bölgeleri.

Çizelge 2.13 : TS EN 1991-1-4 Tek eğimli çatılarda çatı düzlemine etkiyen rüzgar dışbasınc katsayıları.

Eğim açısı α	Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için bölgeler						Rüzgâr yönü $\theta = 180^\circ$ için bölgeler					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
10°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+0,2							
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

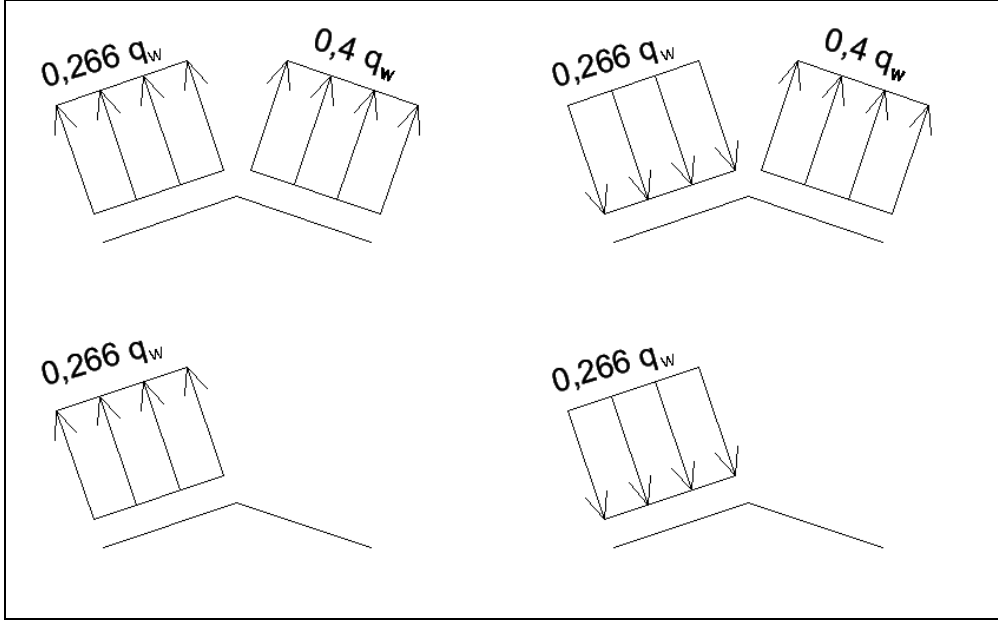
Şetli çatılarda rüzgar dışbasınc katsayıları Şekil 2.10' da verilmiştir.



Şekil 2.10 : TS EN 1991-1-4 Şetli çatılarda şetlere dik doğrultuda rüzgar dışbasınc katsayıları. [8]

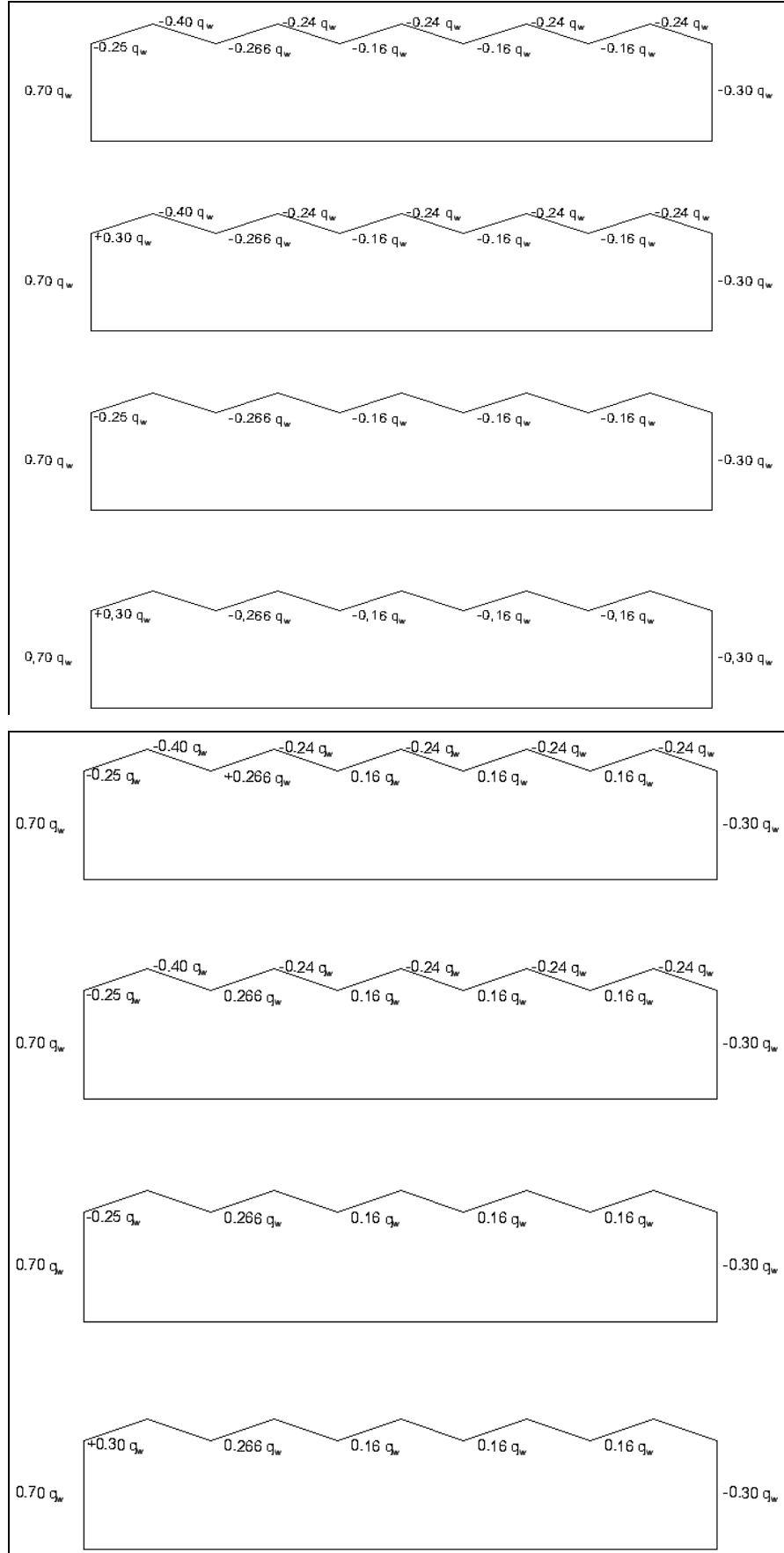
İlk çatı şet yüzeyinde c_{pe} katsayısı iterasyon yapılarak -0.25; +0.30 değerlerine göre hesap edilmiştir.

Diğer bütün çatı şet yüzeylerinde c_{pe} katsayısı aşağıdaki gibi göz önüne alınmıştır.



Şekil 2.11 : Çatı şetlerinde görülen c_{pe} rüzgar dışbasınç katsayıları. [8]

Bu etkiler göz önünde bulundurularak yapıya boyuna doğrultuda rüzgar yükü 8 farklı durumda etkimesi göz önüne alınmıştır.



Şekil 2.12 : Çatı şet düzlemlerine etkiyen 8 farklı rüzgar yükleme durumu.

2.8.4 Deprem yükü

Deprem Yüklerinin hesaplanmasında Eurocode 8 yönetmeliği göz önüne alınmıştır. Yapının deprem hesabı DBYBHY parametrelerinin karşılığı olan değerlere göre düzenlenmiş ve hesaplar buna göre yapılmıştır.

Deprem bölgesi.....	II
Bina önem katsayısı (I).....	1.0
Hareketli yük katılım katsayısı (n).....	0.3
Etkin yer ivmesi katsayısı (A_0).....	0.3
Yerel zemin sınıfı (Z_n).....	Z2
Spektrum karakteristik periyodu (T_A).....	0.15 sn
Spektrum karakteristik periyodu (T_B).....	0.40sn
EC 8 'e göre yapıya etkiyen taban kesme kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanır. [9]	

$$F_b = S_d(T_1) \times m \times \lambda \quad (2.44)$$

F_b : Taban kesme kuvveti

$S_d(T_1)$: Yapının hakim periyoduna karşılık gelen spektral ivme katsayısı

λ : Korelasyon katsayısı

m : Deprem hesabına esas olan yapının etkin kütlesi

$S_d(T_1)$ yapının hakim periyoduna karşılık gelen spektral ivme katsayısı olmak üzere, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$0 \leq T \leq T_B \text{ ise } S_d(T_1) = a_g \times S \times \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (2.45)$$

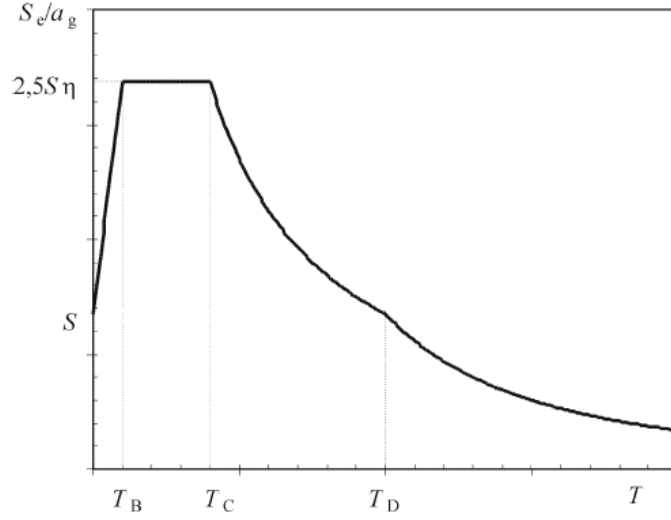
$$T_B \leq T \leq T_C \text{ ise } S_d(T_1) = a_g \times S \times \frac{2.5}{q} \quad (2.46)$$

$$T_C \leq T \leq T_D \text{ ise } S_d(T_1) = a_g \times S \times \frac{2.5}{q} \times \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (2.47)$$

$$T_D \leq T \text{ ise } S_d(T_1) = a_g \times S \times \frac{2.5}{q} \times \left[\frac{T_C \times T_D}{T^2} \right] \quad (2.48)$$

S : Zemin faktörü

a_g : maksimum yer ivmesi



Şekil 2.13 : EC 8 Spektrum fonksiyonu grafiği.

η :Sönüm oranı düzeltme faktörü

%5 sönüm oranı için $\eta = 1$ kabul edilir.

Çizelge 2.14 : Eurocode 8 Zemin sınıflarına göre period sınır değerleri.

Zemin Sınıfı	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

DBYBHY 'de belirtilen Z2 yerel zemin sınıfına EC8 'de A sınıfı zeminin karşılık geldiği görülmektedir. Buna göre S katsayının 1 olması ile elastik tasarım spektrum eğrisi 2 saniye değerinden küçük tüm periyot değerleri için DBYBHY spektrum eğrisi ile eşdeğer hale gelmektedir.

DBYBHY 'de 2. derece deprem bölgesi için maksimum yer ivmesi $a_g = 0.3g$ kabul edilmiştir. 9] Eurocode 8' e göre hesap yapılırken maksimum yer ivmesi değeri bu değere göre baz alınmıştır.

Yapıda yatay yükler bir yönde süneklik düzeyi normal çerçeveler tarafından, diğer yönde ise süneklik düzeyin normal merkezi çelik çaprazlar tarafından karşılandığından dolayı taşıyıcı sistem davranış katsayısı her iki doğrultuda da $q = 4$

kabul edilerek hesap yapılmıştır. W yapının taban kesme kuvveti hesabı için etkin kütesidir.

X doğrultusundaki deprem yükü için aşağıdaki gibi hesap yapılmıştır.

$$W = 843.55 \text{ kN}$$

Yapının X doğrultusundaki hakim periyodu T_{1X} olmak üzere;

$$T_{1X} = 0.11 \text{ s.}$$

$$S_d(T_1) = a_g \times S \times \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] = 0.3g \times 1. \left[\frac{2}{3} + \frac{0.11}{0.15} \left(\frac{2.5}{4} - \frac{2}{3} \right) \right] = 1.88$$

$$F_b = 1.88 \times \frac{a_g}{q} \times m \times \lambda$$

$$F_b = 1.88 \times \frac{0.3 \times 9.81}{4} \times \frac{843.55}{9.81} \times 1 = 118.94 \text{ kN}$$

Y doğrultusundaki deprem yükü için aşağıdaki gibi hesap yapılmıştır.

$$W = 843.55 \text{ kN}$$

Yapının Y doğrultusundaki hakim periyodu T_{1Y} olmak üzere

$$T_{1Y} = 0.23 \text{ s}$$

$$S_d(T_1) = 2.5 \times a_g / q$$

$$F_b = 2.5 \times \frac{a_g}{q} \times m \times \lambda$$

$$F_b = 2.5 \times \frac{0.3 \times 9.81}{4} \times \frac{843.55}{9.81} \times 1 = 158.17 \text{ kN}$$

Yapıya X ve Y doğrultusunda etkiyen taban kesme kuvveti eşdeğer deprem katsayısı :

$$C_x = A_0 \times I \times S(T) / R_x = 0.30 \times 1 \times 1.88 / 4 = 0.141$$

$$C_y = A_0 \times I \times S(T) / R_y = 0.30 \times 1 \times 2.5 / 4 = 0.1875$$

Yapıya X ve Y doğrultusunda etkiyen taban kesme kuvveti eşdeğer deprem katsayısı DBYBHY yönetmeliği gözönünde bulundurularak hesaplınsaydı aşağıdaki katsayılar elde edilmiş olacaktır. [10]

$$S(T_x) = 1 + 1.5 \times \left(\frac{T}{T_A} \right) = 1 + 1.5 \times \left(\frac{0.11}{0.15} \right) = 2.1$$

$$R_x = 1.5 + (R - 1.5) \times \left(\frac{T}{T_A} \right) = 1.5 + (4 - 1.5) \times \left(\frac{0.11}{0.15} \right) = 3.33$$

$$C_x = A_0 \times I \times S(T) / R_x = 0.30 \times 1 \times 2.1 / 3.33 = 0.189$$

$$S(T_y) = 2.5, R_y = 5$$

$$C_y = A_0 \times I \times S(T) / R_y = 0.30 \times 1 \times 2.5 / 5 = 0.15$$

2.9 Eurocode 3 Yönetmeliğine Göre Boyutlama Kombinasyonları

Yapı EC3 yönetmeliğine göre boyutlandırılırken aşağıdaki tabloda verilen yük kombinasyonları kullanılmıştır.[2] Rüzgar yükünün 8 farklı etkiye durumu bu kombinasyonlarda göz önüne alınmıştır. EC8 yönetmeliğinde belirtilen depremli kombinasyonlarda, depremin ana etkiye doğrultusuna olan dik doğrultudaki pozitif ve negatif %30 etkisi de göz önüne alınmıştır. [9]

Çizelge 2.15 : Eurocode 3 yönetmeliğine göre boyutlama kombinasyonları.

1.35D	1.35D+1.35L+1.35WYN1	1.0D+1.50WYN1	1.35D+1.50WYP2
1.35D+1.50L	1.35D+1.35L+1.35WYN2	1.0D+1.50WYN2	1.35D+1.50WYN1
1.35D+1.35L+1.35WXP1	1.0D+1.50WXP1	1.0D+1.50WYN2	1.35D+1.50WYN2
1.35D+1.35L+1.35WXP2	1.0D+1.50WXP2	1.35D+1.50WXP1	1.0D+0.5L+1.0EXP+0.3EYP
1.35D+1.35L+1.35WXP3	1.0D+1.50WXP3	1.35D+1.50WXP2	1.0D+0.5L+1.0EXP+0.3EYN
1.35D+1.35L+1.35WXP4	1.0D+1.50WXP4	1.35D+1.50WXP3	1.0D+0.5L+1.0EXN+0.3EYP
1.35D+1.35L+1.35WXP5	1.0D+1.50WXP5	1.35D+1.50WXP4	1.0D+0.5L+1.0EXN+0.3EYN
1.35D+1.35L+1.35WXP6	1.0D+1.50WXP6	1.35D+1.50WXP5	1.0D+0.5L+1.0EYP+0.3EXP
1.35D+1.35L+1.35WXP7	1.0D+1.50WXP7	1.35D+1.50WXP6	1.0D+0.5L+1.0EYP+0.3EXN
1.35D+1.35L+1.35WXP8	1.0D+1.50WXP8	1.35D+1.50WXP7	1.0D+0.5L+1.0EYN+0.3EXP
1.35D+1.35L+1.35WXN1	1.0D+1.50WXN1	1.35D+1.50WXP8	1.0D+0.5L+1.0EYN+0.3EXN
1.35D+1.35L+1.35WXN2	1.0D+1.50WXN2	1.35D+1.50WXN1	1.0D+1.0EXP+0.3EYP
1.35D+1.35L+1.35WXN3	1.0D+1.50WXN3	1.35D+1.50WXN2	1.0D+1.0EXP+0.3EYN
1.35D+1.35L+1.35WXN4	1.0D+1.50WXN4	1.35D+1.50WXN3	1.0D+1.0EXN+0.3EYP
1.35D+1.35L+1.35WXN5	1.0D+1.50WXN5	1.35D+1.50WXN4	1.0D+1.0EXN+0.3EYN
1.35D+1.35L+1.35WXN6	1.0D+1.50WXN6	1.35D+1.50WXN5	1.0D+1.0EYP+0.3EXP
1.35D+1.35L+1.35WXN7	1.0D+1.50WXN7	1.35D+1.50WXN6	1.0D+1.0EYP+0.3EXN
1.35D+1.35L+1.35WXN8	1.0D+1.50WXN8	1.35D+1.50WXN7	1.0D+1.0EYN+0.3EXP
1.35D+1.35L+1.35WYP1	1.0D+1.50WYP1	1.35D+1.50WXN8	1.0D+1.0EYN+0.3EXN
1.35D+1.35L+1.35WYP2	1.0D+1.50WYP2	1.35D+1.50WYP1	
D = Ölü yükler, L = Hareketli yükler WXP, WXN = X doğrultusunda pozitif ve negatif rüzgar yükü WYP, WYN = Y doğrultusunda pozitif ve negatif rüzgar yükü EXP, EXN = X doğrultusunda pozitif ve negatif deprem yükü EYP, EYN = Y doğrultusunda pozitif ve negatif deprem yükü			

2.10 Yapısal Kesit Tahkikleri

2.10.1 Aşık kesit tahkiki

Aşık açıklığı $l = 5.0$ m

Aşık aralığı $t = 1.05$ m

Çatı eğimi $\alpha = 20^\circ$

$$P_g = (g_{kap} + g_a) \cdot t = (0.15 + 0.10) \times 1.05 = 0.2625 \text{ kN/m}$$

$$P_s = Q_s \cdot t = 0.9 \cdot 1.05 = 0.945 \text{ kN/m}$$

$$P_w = 1.25 \times (0.3 \times 0.5) \cdot 1.05 = 0.197 \text{ kN/m}$$

Rüzgar yükünün çatı şet yüzeylerine basınç uyguladığı durumlardaki etkisi göz önüne alınmıştır.

Tasarım Yükleri ;

$$\underline{P_g + P_k}$$

$$q_{Zsd} = (1.35 \times P_g + 1.5 \times P_s) \times \cos \alpha = (1.35 \times 0.2625 + 1.5 \times 0.945) \times 0.94 = 1.67 \text{ kN / m}$$

$$q_{Ysd} = (1.35 \times P_g + 1.5 \times P_s) \times \sin \alpha = (1.35 \times 0.2625 + 1.5 \times 0.945) \times 0.342 = 0.61 \text{ kN / m}$$

$$\underline{P_g + P_k + P_w}$$

$$q_{Zsd} = (1.35 \times (P_g + P_s + P_w)) \times \cos \alpha = 1.35 \times (0.2625 + 0.945 + 0.197) \times 0.94 = 1.78 \text{ kN / m}$$

$$q_{Ysd} = (1.35 \times (P_g + P_s + P_w)) \times \sin \alpha = 1.35 \times (0.2625 + 0.945 + 0.197) \times 0.342 = 0.65 \text{ kN / m}$$

Hesaplara göre $P_g + P_k + P_w$ yüklemedeki değerler daha büyüktür. Bu nedenle tasarıma esas olan yükleme durumu rüzgarlı yük kombinasyonudur.

Statik sistem ve kesit tesirleri:

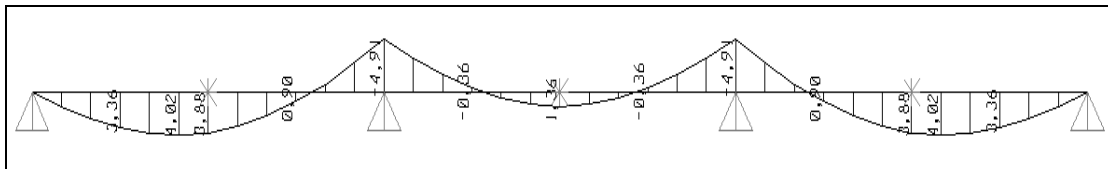
Aşıklar üç açıklıklı sürekli kiriş olarak tasarlanmıştır.

$$M_{Y, Sd} = -4.91 \text{ kNm}$$

$$M_{Z, Sd} = 0.59 \text{ kNm}$$

$$V_{Y, Sd} = 5.79 \text{ kN}$$

$$V_{Z, Sd} = -1.03 \text{ kN}$$



Şekil 2.14 : Aşıklarda görülen en elverişsiz M_Y diyagramı (kN.m).

Kesit : UPE 100

$$h = 100 \text{ mm } b = 55 \text{ mm } d = 65 \text{ mm } t_w = 4.5 \text{ mm } t_f = 7.5 \text{ mm } r = 10 \text{ mm}$$

$$W_{y,pl} = 48.0 \text{ cm}^3 \quad W_{z,pl} = 19.3 \text{ cm}^3 \quad A = 12.5 \text{ cm}^2 \quad I_y = 207 \text{ cm}^4 \quad I_z = 38.3 \text{ cm}^4$$

$$I_t = 2.01 \text{ cm}^4 \quad I_w = 0.53 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

$$\text{Sınıflandırma Fe360} \quad \varepsilon = \sqrt{\left\{ \frac{235}{235} \right\}} = 1$$

$$\text{Başlık : } b / t_f = 55 / 7.5 = 7.33 < 10. \quad \varepsilon = 10 \quad (\text{Sınıf 1})$$

$$\text{Gövde : } d / t_w = 65 / 4.5 = 14.44 < 72. \quad \varepsilon = 72 \quad (\text{Sınıf 1})$$

Tüm kesit sınıfı Sınıf – 1 ‘ e aittir.

Kesit dayanımı :

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{y,pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{48 \times 23.5}{1.10} = 1025.45 \text{ kNcm}$$

$$M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{z,pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19.3 \times 23.5}{1.10} = 412.32 \text{ kNcm}$$

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{(1.04 \times h \times t) \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{(1.04 \times 100 \times 4.5) \times 23.5}{\sqrt{3} \times 1.10} \cdot \frac{1}{1000} = 57.7 \text{ kN}$$

Gövdede buruşma kontrolü;

$$\frac{d}{t_w} = \frac{65}{4.5} = 14.44 < 69 \times \varepsilon = 69$$

Gövdede buruşma kontrolüne gerek yoktur.

Enkesit dayanım kontrolü ;

$$V_{y,Sd} = 5.76 \text{ kN} < 0.5 \times V_{y,pl,Rd} = 0.5 \times 57.7 = 28.85 \text{ kN}$$

Moment indirgenemez , $\rho=0$

$$M_{N,V,Rd} = M_{y,pl,Rd} = 1025.45 \text{ kNcm}$$

$$\frac{M_{z,Sd}}{M_{z,pl,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{59}{412.32} + \frac{491}{1025.45} = 0.14 + 0.48 = 0.62$$

Eğilmeli burkulma kontrolü :

$$h / b = 100 / 55 = 1.82 \quad \rightarrow \quad y-y \text{ eksenine dik burkulmada a eğrisi kullanılacak.}$$

$$t_f = 7.5 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad z-z \text{ eksenine dik burkulmada b eğrisi kullanılacak.}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \sqrt{\frac{21000}{23.5}} = 93.91$$

y – y eksenine dik burkulma :

$$l_{ky} = 500cm$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ky}}{\sqrt{\frac{I_y}{F}}} = \frac{500}{\sqrt{\frac{207}{12,5}}} = 122.87$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{122.87}{93.91} = 1.31$$

$$\alpha = 0.21$$

$$\phi = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2] = \frac{1}{2} [1 + 0.21(1.31 - 0.2) + 1.31^2] = 1.47$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{1.47 + \sqrt{1.47^2 - 1.31^2}} = 0,468 < 1$$

z – z eksenine dik burkulma :

$$l_{kz} = 250cm$$

$$\lambda_z = \frac{l_{kz}}{\sqrt{\frac{I_z}{F}}} = \frac{250}{\sqrt{\frac{38.3}{12.5}}} = 142.82$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{142.82}{93.91} = 1.52$$

$$\alpha = 0.34$$

$$\phi = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2] = \frac{1}{2} [1 + 0.34(1.52 - 0.2) + 1.52^2] = 1.88$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{1.88 + \sqrt{1.88^2 - 1.52^2}} = 0.335 < 1$$

$$\frac{k_y \times M_{ySd}}{W_{yplRd} \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \times M_{zSd}}{W_{zplRd} \times f_y / \gamma_{M1}} = \frac{1.5 \times 4.91}{10.25} + \frac{1.5 \times 0.59}{4.12} = 0.72 + 0.21 = 0.93 < 1$$

Eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü :

$$k_{LT} = 1 \quad k = 1 \quad k_w = 0,75$$

$$\psi = 1$$

$$C_1 = 1$$

$$l_{LT} = 1 \times 250 = 250cm$$

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{LT}^2} \cdot \sqrt{\frac{(\frac{k}{k_w})^2 \times I_w + 0.039 \times l_{LT}^2 \times I_T}{I_z}}$$

$$M_{cr} = 1 \times \frac{\pi^2 \times 21000 \times 38.3}{250^2} \cdot \sqrt{\frac{(\frac{1}{0.75})^2 \times 0.53 \times 10^{-3} + 0.039 \times 250^2 \times 2.01}{38.3}} = 1436.51 \text{ kNcm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E \times W_{y,pl}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{\pi \times 21000 \times 48}{1436.51}} = 83.22$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} = \frac{83.22}{93.9} = 0.89$$

$$\alpha = 0.21$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] = \frac{1}{2} \left[1 + 0.21 \times (0.89 - 0.2) + 0.89^2 \right] = 0.97$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{0.97 + \sqrt{0.97^2 - 0.89^2}} = 0.74 < 1$$

Genel Kesit Tahkiki;

$$\frac{k_{LT} \times M_{ySd}}{\kappa_{LT} W_{y,pl} \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \times M_{zSd}}{W_{z,pl} \times f_y / \gamma_{M1}} = \frac{1 \times 491}{0.74 \times 48 \times 23.5 / 1.1} + \frac{1.50 \times 59}{19.3 \times 23.5 / 1.1} = 0.65 + 0.21 = 0.86 < 1$$

UPE100 Aşık kesiti için sehim kontrolü;

İşletme Yükleri:

$$P_g + P_s :$$

$$q_{ySd} = 1.67 \text{ kN / m}$$

$$q_{zSd} = 0.61 \text{ kN / m}$$

$$P_g + P_s + P_w :$$

$$q_{ySd} = 1.78 \text{ kN / m}$$

$$q_{zSd} = 0.65 \text{ kN / m}$$

Sehim kontrolü de rüzgarlı duruma göre yapılacaktır.

$$f_{y maks} = 1.64 \text{ cm} < f_{lim} = l / 250 = 500 / 250 = 2 \text{ cm}$$

2.10.2 Tali kiriş tahkiki

Makaslar arası tali kirişler aşıklara mesnetlik edip yükü düzlem makas düğüm noktalarına aktarmaktadırlar. Kesit tesirleri ve deplasmanlar SAP2000 yapısal analiz programı yardımıyla bulunmuştur. En elverişsiz kesit tesirleri 1.35D+1.35L+1.35WXP6 kombinasyonunda bulunmuştur. Kesit bu kombinasyona göre boyutlandırılacaktır.

$$M_{y,Sd} = -13.37 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Sd} = 9.43 \text{ kN}$$

$$N_{t,Sd} = 29.20 \text{ kN}$$

Kesit : IPE 160

$$h = 160 \text{ mm } b = 82 \text{ mm } d = 127.2 \text{ mm } t_w = 5.0 \text{ mm } t_f = 7.4 \text{ mm } r = 9 \text{ mm}$$

$$W_{y,Pl} = 124 \text{ cm}^3 \quad W_{z,Pl} = 26.1 \text{ cm}^3 \quad A = 20.1 \text{ cm}^2 \quad I_y = 869 \text{ cm}^4 \quad I_z = 68.3 \text{ cm}^4$$

$$I_t = 2.01 \text{ cm}^4 \quad I_w = 0.53 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

$$\text{Sınıflandırma Fe360 } \varepsilon = \sqrt{\left\{ \frac{235}{235} \right\}} = 1$$

$$\text{Başlık : } c / t_f = 41 / 7.4 = 5.54 < 10\varepsilon = 10 \quad (\text{Sınıf 1})$$

$$\text{Gövde : } d / t_w = 127.2 / 5 = 25.44 < 72\varepsilon = 72 \quad (\text{Sınıf 1})$$

Tüm kesit sınıfı Sınıf – 1 ‘ e aittir.

Kesit dayanımı :

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{y,pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{124 \times 23.5}{1.10} = 2649 \text{ kNcm}$$

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{(1.04 \times h \times t) \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{(1.04 \times 160 \times 5) \times 235}{\sqrt{3} \times 1.10} \cdot \frac{1}{1000} = 102.62 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20.1 \times 100 \times 235}{1 \times 10} \cdot \frac{1}{1000} = 429 \text{ kN}$$

Gövdede buruşma kontrolü;

$$\frac{d}{t_w} = \frac{127.2}{5} = 25.44 < 69\varepsilon = 69.0$$

Gövdede buruşma kontrolüne gerek yoktur.

Enkesit dayanım kontrolü ;

$$V_{y,Sd} = 9.43 \text{ kN} < 0.5 \times V_{y,pl,Rd} = 0.5 \times 57.7 = 162.02 \text{ kN}$$

$$M_{V,Rd} = M_{y,pl,Rd} = 2649 \text{ kNcm}$$

$$\frac{M_{y,Sd}}{M_{V,Rd}} = \frac{13.37}{26.39} = 0.51 < 1$$

$$N_{Sd} = 29.20 \text{ kN} < N_{pl,Rd} = 429 \text{ kN}$$

$k_y = 1.50$ kabul edilmiştir.

$$\frac{N_{cSd}}{N_{c,Rd}} + \frac{k_y \times M_{ySd}}{W_{y,pl} \times f_y / \gamma_{M1}} = \frac{29.20}{20.1 \times 23.5 / 1.1} + \frac{1.50 \times 13.37}{26.49} = 0.068 + 0.76 = 0.83 < 1$$

Eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü :

$$k_{LT} = 1 \quad k = 1 \quad k_w = 0.75$$

$$\psi = 1$$

$$C_1 = 1$$

$$l_{LT} = 1 \times 372 = 372 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{LT}^2} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \times I_w + 0.039 \times l_{LT}^2 \times I_T}{I_z}}$$

$$M_{cr} = 1 \times \frac{\pi^2 \times 21000 \times 68.3}{372^2} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{0.75}\right)^2 \times 3.69 \times 10^{-3} + 0.039 \times 372^2 \times 3.60}{68.3}} = 1725.3 \text{ kN.cm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E \times W_{ypl}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times 21000 \times 124}{1725.3}} = 122.05$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} = \frac{122.05}{93.9} = 1.30$$

$$\alpha = 0.21$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] = \frac{1}{2} \left[1 + 0.21(1.30 - 0.2) + 1.30^2 \right] = 1.46$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{1.46 + \sqrt{1.46^2 - 1.30^2}} = 0.47 < 1$$

Genel Kesit Tahkiki;

$$\frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} + \frac{k_{LT} \times M_{ySd}}{\kappa_{LT} \times W_{y,pl} \times f_y / \gamma_{M1}} - \psi_{vec} \times k_{LT} \frac{N_{t,Sd} \times W_{com,y}}{A \times M_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\psi_{vec} = 0.8$$

$$W_{com,y} = 1.571 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\frac{29.20}{20.1 \times 23.5 / 1.1} + \frac{1 \times 13.27}{0.47 \times 26.49} - 0.8 \times 1 \times \frac{29.20 \times 1.57 \times 10^{-4}}{0.002 \times 0.47 \times 26.49} =$$

$$0.068 + 1.06 - 0.14 = 0.98 < 1$$

2.10.3 Makas alt başlık tahkiki

Kesit : ½ HE200A

$$h = 95 \text{ mm } b = 200 \text{ mm } d = 65 \text{ mm } t_w = 6.5 \text{ mm } t_f = 10 \text{ mm } r = 18 \text{ mm}$$

$$W_{y,Pl} = 101.9 \text{ cm}^3 \quad W_{z,Pl} = 31.92 \text{ cm}^3 \quad A = 26.92 \text{ cm}^2 \quad I_y = 667.6 \text{ cm}^4 \quad I_z = 132.6 \text{ cm}^4$$

$$i_y = 2.22 \text{ cm } i_z = 4.98 \text{ cm}$$

$$\text{Sınıflandırma Fe360 } \varepsilon = \sqrt{\left\{ \frac{235}{235} \right\}} = 1$$

$$d / t_w = 65 / 6.5 = 14.6 < 33. \quad \varepsilon = 33 \quad (\text{Sınıf 1})$$

$$b / 2t_f = 200 / 20 = 10 = 11. \varepsilon = 11 \quad (\text{Sınıf 2})$$

1.35D+1.35L+1.35WXP8 kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

$$M_{y,Sd} = 0.22 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Sd} \approx 0$$

$$N_{t,Sd} = 387.15 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26.92 \times 23,5}{1,1} = 575.11 \text{ kN}$$

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{y,pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{101.9 \times 23,5}{1,10} = 2176.95 \text{ kNcm}$$

$$\frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,pl,Rd}} = \frac{387.15}{575.11} + \frac{22}{2176.95} = 0.67 + 0.01 = 0.68 < 1$$

2.10.4 Makas üst başlık tahkiki

Kesit : ½ HE280A

$$h = 135 \text{ mm } b = 280 \text{ mm } d = 98 \text{ mm } t_w = 8 \text{ mm } t_f = 13 \text{ mm } r = 24 \text{ mm}$$

$$W_{y,Pl} = 79.34 \text{ cm}^3 \quad W_{z,Pl} = 259 \text{ cm}^3 \quad A = 48.63 \text{ cm}^2 \quad I_y = 477 \text{ cm}^4 \quad I_z = 2381 \text{ cm}^4$$

$$i_y = 3.13 \text{ cm } i_z = 7.00 \text{ cm}$$

$$\text{Sınıflandırma Fe360 } \varepsilon = \sqrt{\left\{ \frac{235}{235} \right\}} = 1$$

$$d / t_w = 98 / 8 = 12.25 < 33. \varepsilon = 33 \quad (\text{Sınıf 1})$$

$$b / 2t_f = 280 / 26 = 10.77 = 11. \varepsilon = 11 \quad (\text{Sınıf 2})$$

1.35D+1.35L+1.35WXP8 kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

$$M_{y,Sd} = 0.395 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Sd} = 0.115 \text{ kN.m}$$

$$N_{c,Sd} = -547.62 \text{ kN}$$

y – y eksenine dik burkulma :

$$l_{ky} = 250 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ky}}{\sqrt{\frac{I_y}{F}}} = \frac{250}{\sqrt{\frac{477}{48.63}}} = 79.82$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{79.82}{93.91} = 0.85$$

$$\alpha = 0.49$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] = \frac{1}{2} \left[1 + 0.49(0.85 - 0.2) + 0.85^2 \right] = 1.02$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{1.02 + \sqrt{1.02^2 - 0.85^2}} = 0.63 < 1$$

z – z eksenine dik burkulma :

$$l_{kz} = 500 \text{ cm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{kz}}{\sqrt{\frac{I_z}{F}}} = \frac{500}{\sqrt{\frac{2381}{48.63}}} = 71.46$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{71.46}{93.91} = 0.76$$

$$\alpha = 0.49$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] = \frac{1}{2} \left[1 + 0.49(0.76 - 0.2) + 0.76^2 \right] = 0.93$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{0.93 + \sqrt{0.93^2 - 0.76^2}} = 0.68 < 1$$

$$\kappa_{\min} = \kappa_y = 0.63$$

$$k_x = k_y = 1.50$$

$$\frac{N_{c,Sd}}{\kappa_{\min} \times A \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{W_{y,pl} \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \times M_{z,Sd}}{W_{z,pl} \times f_y / \gamma_{M1}} =$$

$$\frac{547.62}{0.63 \times 48.63 \times 23.5 / 1.1} + \frac{1.50 \times 39.5}{79.34 \times 23.5 / 1.1} + \frac{1.50 \times 11.3}{259 \times 23.5 / 1.1} = 0.83 + 0.03 + 0 = 0.86$$

2.10.5 Makas dikme elemanlarının tahkiki

1.35D+1.35L+1.35WXP8 kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

$$M_{y,Sd} = 0$$

$$M_{z,Sd} = 0$$

$$N_{c,Sd} = -140.4 \text{ kN}$$

Kesit : IPE 160

$$h = 160 \text{ mm } b = 82 \text{ mm } d = 127.2 \text{ mm } t_w = 5.0 \text{ mm } t_f = 7.4 \text{ mm } r = 9 \text{ mm}$$

$$W_{y,Pl} = 124 \text{ cm}^3 \quad W_{z,Pl} = 26.1 \text{ cm}^3 \quad A = 20.1 \text{ cm}^2 \quad I_y = 869 \text{ cm}^4 \quad I_z = 68.3 \text{ cm}^4$$

$$\text{Sınıflandırma Fe360 } \varepsilon = \sqrt{\left\{ \frac{235}{235} \right\}} = 1$$

$$\text{Başlık : } c / t_f = 41 / 7.4 = 5.54 < 10. \varepsilon = 10 \quad (\text{Sınıf 1})$$

$$\text{Gövde : } d / t_w = 127.2 / 5 = 25.44 < 72. \varepsilon = 72 \quad (\text{Sınıf 1})$$

Tüm kesit sınıfı Sınıf – 1 ‘ e aittir.

Kesit dayanımı :

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{y,pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{124 \times 23.5}{1.10} = 2649 \text{ kNcm}$$

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{(1.04 \times h \times t) \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{(1.04 \times 160 \times 5) \times 235}{\sqrt{3} \times 1.10} \cdot \frac{1}{1000} = 102.62 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20.1 \times 100 \times 235}{1.10} \cdot \frac{1}{1000} = 429 \text{ kN}$$

Gövdede buruşma kontrolü ;

$$\frac{d}{t_w} = \frac{127.2}{5} = 25.44 < 69. \varepsilon = 69,0$$

Gövdede buruşma kontrolüne gerek yoktur.

Enkesit dayanım kontrolü ;

$$N_{Sd} = 140 \text{ kN} < N_{pl,Rd} = 429 \text{ kN}$$

$$l_{ky} = l_{kz} = 250 \text{ cm}$$

$$i_{\min} = 1.84 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ky}}{\sqrt{\frac{I_y}{F}}} = \frac{250}{\sqrt{\frac{68.3}{20.1}}} = 135.87$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{135.87}{93.91} = 1.45$$

$$\alpha = 0.21$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] = \frac{1}{2} \left[1 + 0.21 (1.45 - 0.2) + 1.45^2 \right] = 1.68$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{1.68 + \sqrt{1.68^2 - 1.45^2}} = 0.40 < 1$$

$$\frac{N_{c,Sd}}{\kappa_{\min} \times A \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \times M_{ySd}}{W_{yplRd} \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \times M_{zSd}}{W_{zplRd} \times f_y / \gamma_{M1}} = \frac{140.4}{0.40 \times 20.1 \times 23.5 / 1.1} + \frac{140.4}{171.76} = 0.82 < 1$$

2.10.6 Makas diyagonallerinin tahkiki

-Kesit : L80.80.8

$$h = 80 \text{ mm } b = 80 \text{ mm } t = 8,0 \text{ mm}$$

$$A = 12.3 \text{ cm}^2 \quad I_y = 72.25 \text{ cm}^4 \quad I_z = 72.25 \text{ cm}^4$$

$$i_x = 2.43 \text{ cm} \quad i_y = 2.43 \text{ cm}$$

$$\text{Sınıflandırma Fe360} \quad \varepsilon = \sqrt{\left\{ \frac{235}{235} \right\}} = 1$$

$$h / t = 80 / 8 = 10 < 15. \quad \varepsilon = 15 \quad (\text{Sınıf 3})$$

Tüm kesit sınıfı Sınıf – 3 ‘ e aittir.

1.35D+1.35L+1.35WXP8 kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

Kesit tesirleri:

$$M_{y,Sd} = 0$$

$$M_{z,Sd} = 0$$

$$N_{t,Sd} = 198 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23.5 \times 12.3}{1.1} = 262.7 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} = \frac{198}{262.7} = 0.76 < 1$$

-Kesit : L 70.7.7

$$h = 70 \text{ mm} \quad b = 70 \text{ mm} \quad t = 7,0 \text{ mm}$$

$$A = 9.40 \quad I_y = 42.30 \text{ cm}^4 \quad I_z = 42.30 \text{ cm}^4$$

$$i_x = 2.12 \text{ cm} \quad i_y = 2.12 \text{ cm}$$

$$\text{Sınıflandırma Fe360} \quad \varepsilon = \sqrt{\left\{ \frac{235}{235} \right\}} = 1$$

$$h / t = 70 / 7 = 10 < 15. \quad \varepsilon = 15 \quad (\text{Sınıf 3})$$

Tüm kesit sınıfı Sınıf – 3 ‘ e aittir.

1.0D+1.50WYN2 kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

Kesit tesirleri:

$$M_{y,Sd} = 0$$

$$M_{x,Sd} = 0$$

$$N_{c,Sd} = -22.2 \text{ Kn}$$

$$l_{ky} = l_{kz} = 350 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{l_{ky}}{i_y} = \frac{350}{2.12} = 165$$

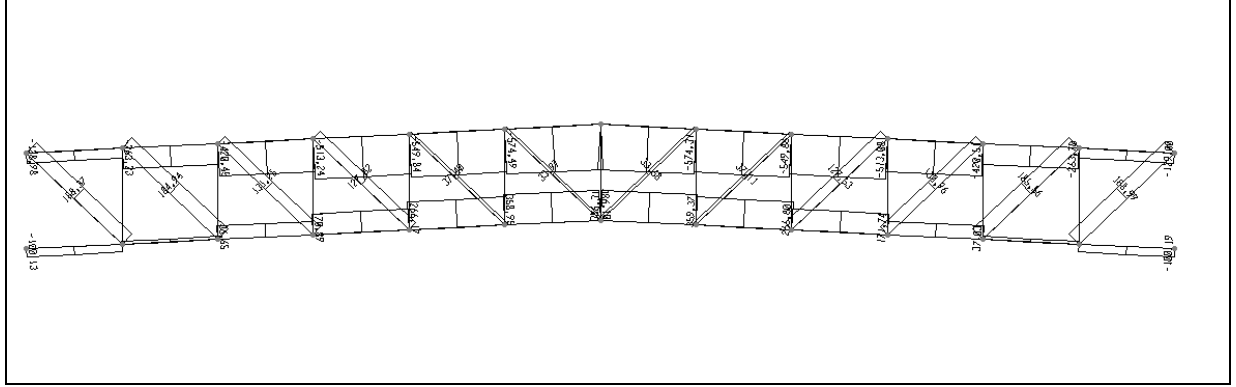
$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{165}{93.91} = 1.76$$

$$\alpha = 0.49$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] = \frac{1}{2} \left[1 + 0.49(1.76 - 0.2) + 1.76^2 \right] = 2.43$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{2.43 + \sqrt{2.43^2 - 1.76^2}} = 0.24 < 1$$

$$\frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} = \frac{N_{c,Sd}}{\kappa_{\min} \times A \times f_y / \gamma_{M1}} = \frac{22,2}{0.24 \times 9.40 \times 23.5 / 1.1} = 0.46 < 1$$



Şekil 2.15 : Makaslarda görülen en elverişsiz eksenel yük diyagramı (kN)

2.10.7 Kolon kesitinin tahkiki

Kesit :  280.280.16

$h = 280 \text{ mm}$ $b = 280 \text{ mm}$ $t_w = 16 \text{ mm}$ $t_f = 16 \text{ mm}$

$W_{y,Pl} = 1675 \text{ cm}^3$ $W_{z,Pl} = 1675 \text{ cm}^3$ $A = 169 \text{ cm}^2$ $I_y = 19700 \text{ cm}^4$ $I_z = 19700 \text{ cm}^4$

$i_y = 10.79 \text{ cm}$ $i_z = 10.79 \text{ cm}$

Sınıflandırma Fe360 $\varepsilon = \sqrt{\left\{ \frac{235}{235} \right\}} = 1$

$d / t_w = 248 / 16 = 15.5 < 72$. $\varepsilon = 72$ (Sınıf 1)

$b / t_f = 280 / 16 = 17.5 = 33$. $\varepsilon = 33$ (Sınıf 1)

Kutu enkesit sınıfı sınıf 1'e aittir. Burkulmada a eğrisi kullanılacaktır.

1.35D+1.35L+1.35WXP8 kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

Kesit tesirleri :

$M_{y,Sd} = -132.94 \text{ kNm}$

$M_{z,Sd} = -8.36 \text{ kNm}$

$N_{C,Sd} = 186.94 \text{ kN}$

y – y eksenine dik burkulma :

$$l_{ky} = 500 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ky}}{\sqrt{\frac{I_y}{F}}} = \frac{500}{\sqrt{\frac{19700}{169}}} = 46.31$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{46.31}{93.91} = 0.49$$

$$\alpha = 0.21$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] = \frac{1}{2} \left[1 + 0.21(0.49 - 0.2) + 0.49^2 \right] = 0.65$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{0.65 + \sqrt{0.65^2 - 0.49^2}} = 0.93 < 1$$

z – z eksenine dik burkulma :

$$l_{kz} = 500 \text{ cm}, 1, 2 = 600 \text{ cm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{kz}}{\sqrt{\frac{I_z}{F}}} = \frac{600}{\sqrt{\frac{19700}{169}}} = 55.57$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{55.57}{93.91} = 0.59$$

$$\alpha = 0.21$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] = \frac{1}{2} \left[1 + 0.21(0.59 - 0.2) + 0.59^2 \right] = 0.72$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{0.72 + \sqrt{0.72^2 - 0.49^2}} = 0.80 < 1$$

$$\kappa_{\min} = \kappa_z = 0.80$$

$$k_x = k_y = 1.04$$

$$\frac{N_{c,Sd}}{\kappa_{\min} \times A \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \times M_{ySd}}{W_{y,pl} \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \times M_{zSd}}{W_{z,pl} \times f_y / \gamma_{M1}} =$$

$$\frac{186.94}{0.93 \times 169 \times 23.5 / 1.1} + \frac{1.04 \times 13294}{1675.23, 5 / 1.1} + \frac{1.04 \times 836}{1675 \times 23.5 / 1.1} = 0.056 + 0.39 + 0.02 = 0,47 < 1$$

2.10.8 Çatı çaprazlarının tahkiki

Kesit : Ø 101.6 x 4 mm

$$d = 101.6 \text{ mm } t = 4 \text{ mm}$$

$$W_{y,pl} = 38.1 \text{ cm}^3 \quad W_{z,pl} = 38.1 \text{ cm}^3 \quad A = 12.3 \text{ cm}^2 \quad I_y = 146 \text{ cm}^4 \quad I_z = 146 \text{ cm}^4$$

$$i_y = 3.45 \text{ cm } i_z = 3.45 \text{ cm}$$

$$\text{Sınıflandırma Fe360 } \varepsilon = \sqrt{\left\{ \frac{235}{235} \right\}} = 1$$

Boru enkesit sınıfı $d / t = 101.6 / 4 = 25.4 < 50\varepsilon^2 = 50$ olduğundan dolayı enkesit sınıfı 1'e aittir.

1.35L+1.35L+1.35WXP4 kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

Kesit tesirleri :

$$M_{y,Sd} = 1.14 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Sd} = -0.28 \text{ kN.m}$$

$$N_{c,Sd} = 31.08 \text{ kN}$$

y – y eksenine dik burkulma :

$$l_{ky} = 628.5 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ky}}{\sqrt{\frac{I_y}{F}}} = \frac{628.5}{\sqrt{\frac{146}{12.3}}} = 182.42$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{182.42}{93.91} = 1.94 < 2$$

$$\alpha = 0.21$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] = \frac{1}{2} \left[1 + 0.21(1.94 - 0.2) + 1.94^2 \right] = 2.56$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{2.56 + \sqrt{2.56^2 - 1.94^2}} = 0.24 < 1$$

z – z eksenine dik burkulma :

$$l_{kz} = 314.25 \text{ cm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{kz}}{\sqrt{\frac{I_z}{F}}} = \frac{314.25}{\sqrt{\frac{146}{12.3}}} = 91.21$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{91.21}{93.91} = 0.97$$

$$\alpha = 0.21$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] = \frac{1}{2} \left[1 + 0.21(0.97 - 0.2) + 0.97^2 \right] = 1.05$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{1.05 + \sqrt{1.05^2 - 0.97^2}} = 0.69 < 1$$

$$\kappa_{\min} = 0.24$$

$$k_x = k_y = 1.50$$

$$\frac{N_{c,Sd}}{\kappa_{\min} \times A \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \times M_{ySd}}{W_{y,pl} \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \times M_{zSd}}{W_{z,pl} \times f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{31.08}{0.24 \times 12.3 \times 23.5 / 1.1} + \frac{1.50 \times 114}{38.1 \times 23.5 / 1.1} + \frac{1.50 \times 28}{38.1 \times 23.5 / 1.1} = 0.49 + 0.21 + 0.05 = 0.75 < 1$$

2.10.9 Düşey çaprazların tahkiki

Kesit : Ø 101.6 $t = 4$ mm

$d = 101.6$ mm $t = 4$ mm

$W_{y,pl} = 38.12$ cm³ $W_{z,pl} = 38.12$ cm³ $A = 12.26$ cm² $I_y = 146.28$ cm⁴ $I_z = 146.28$ cm⁴

$i_y = 3.45$ cm $i_z = 3.45$ cm

$$\text{Sınıflandırma Fe360 } \varepsilon = \sqrt{\left\{ \frac{235}{235} \right\}} = 1$$

Boru enkesit sınıfı $d / t = 101.6 / 4 = 25.4 < 50\varepsilon^2 = 50$ olduğundan dolayı enkesit sınıfı 1'e aittir.

1.35D+1.35L+1.35WXP6 kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

Kesit tesirleri :

$$M_{y,Sd} = 0.95 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Sd} = 0 \text{ kN.m}$$

$$N_{c,Sd} = 62.19 \text{ kN}$$

y – y eksenine dik burkulma :

$$l_{ky} = 860 \times 0.5 = 430 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ky}}{\sqrt{\frac{I_y}{F}}} = \frac{430}{\sqrt{\frac{146.28}{12.26}}} = 124.49$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{124.49}{93.91} = 1.33 < 2$$

$$\alpha = 0.21$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] = \frac{1}{2} \left[1 + 0.21(1.33 - 0.2) + 1.33^2 \right] = 1.50$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{1.50 + \sqrt{1.50^2 - 1.33^2}} = 0.46 < 1$$

z – z eksenine dik burkulma :

$$l_{kz} = 860 \times 0.5 = 430 \text{ cm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{kz}}{\sqrt{\frac{I_z}{F}}} = \frac{430}{\sqrt{\frac{146.28}{12.26}}} = 124.49$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{124.49}{93.91} = 1.33 < 2$$

$$\alpha = 0.21$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] = \frac{1}{2} \left[1 + 0.21 \times (1.33 - 0.2) + 1.33^2 \right] = 1.50$$

$$\kappa = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{1.50 + \sqrt{1.50^2 - 1.33^2}} = 0.46 < 1$$

$$\kappa_{\min} = 0.46$$

$$k_x = k_y = 1.50$$

$$\frac{N_{c,Sd}}{\kappa_{\min} \times A \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{W_{y,pl} \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \times M_{z,Sd}}{W_{z,pl} \times f_y / \gamma_{M1}} =$$

$$\frac{62.19}{0.46 \times 12.26 \times 23.5 / 1.1} + \frac{1.50 \times 99}{38.12 \times 23.5 / 1.1} + \frac{1 \times 50.0}{38.12 \times 23.5 / 1.1} = 0.52 + 0.18 + 0 = 0.70 < 1$$

2.11 Deplasman kontrolleri

Deplasman kontrolleri arttırılmamış yük birleşimlerine göre EC3' de verilen koşullara göre yapılmıştır.

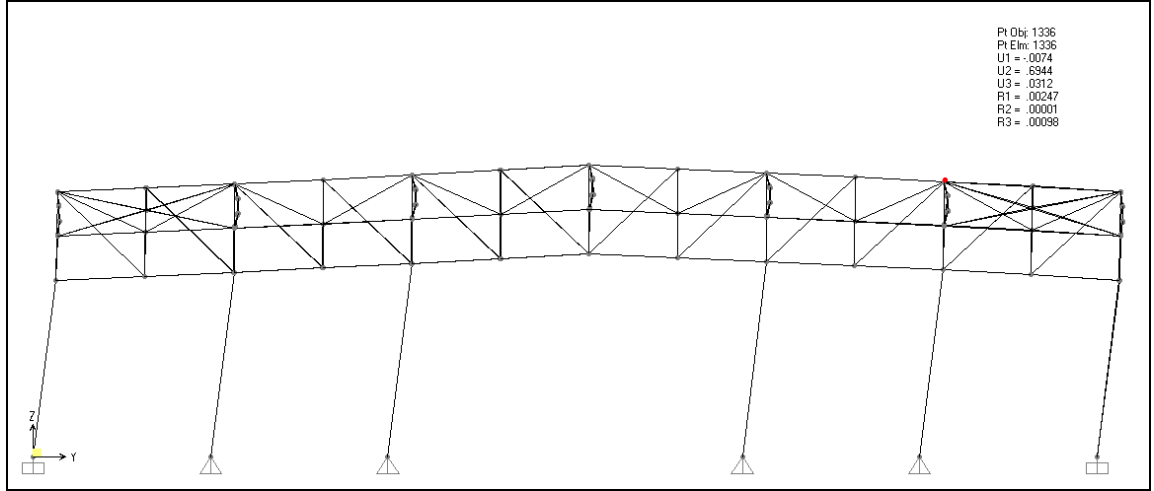
2.11.1 Yatay deplasman kontrolü

Deprem kuvvetinden oluşan deplasmanlar için EC3' e göre yapının herhangi bir katındaki görelî yerdeğiştirmeyi ifade eden δ_i olmak üzere;

$$\delta_i \leq h / 300$$

(2.49)

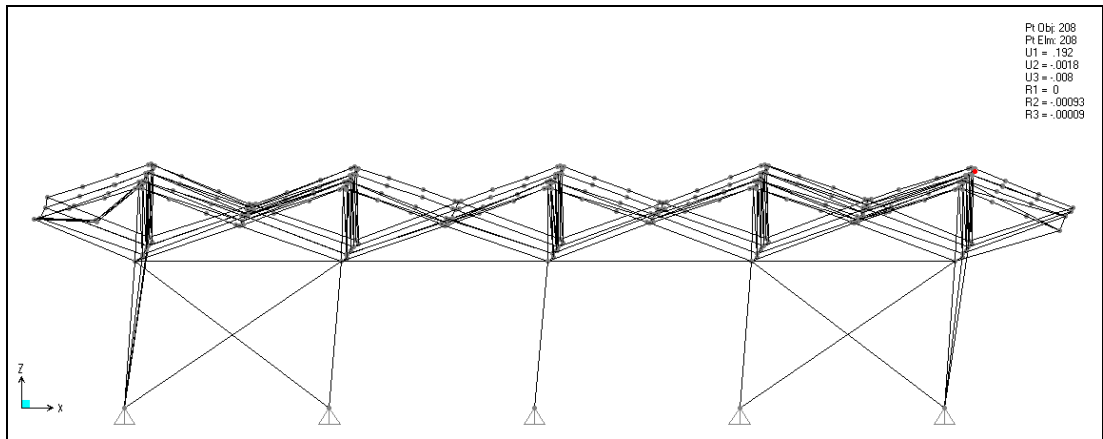
bağıntısı ile sınırlandırılır. [3]



Şekil 2.16 : SAP 2000 programında yapının EYP deplasmanı.

$$\delta_{EY} = 0.69 \text{ cm}$$

$$\delta_{EY} = 0.69 < \frac{750}{300} = 2.5 \text{ cm}$$

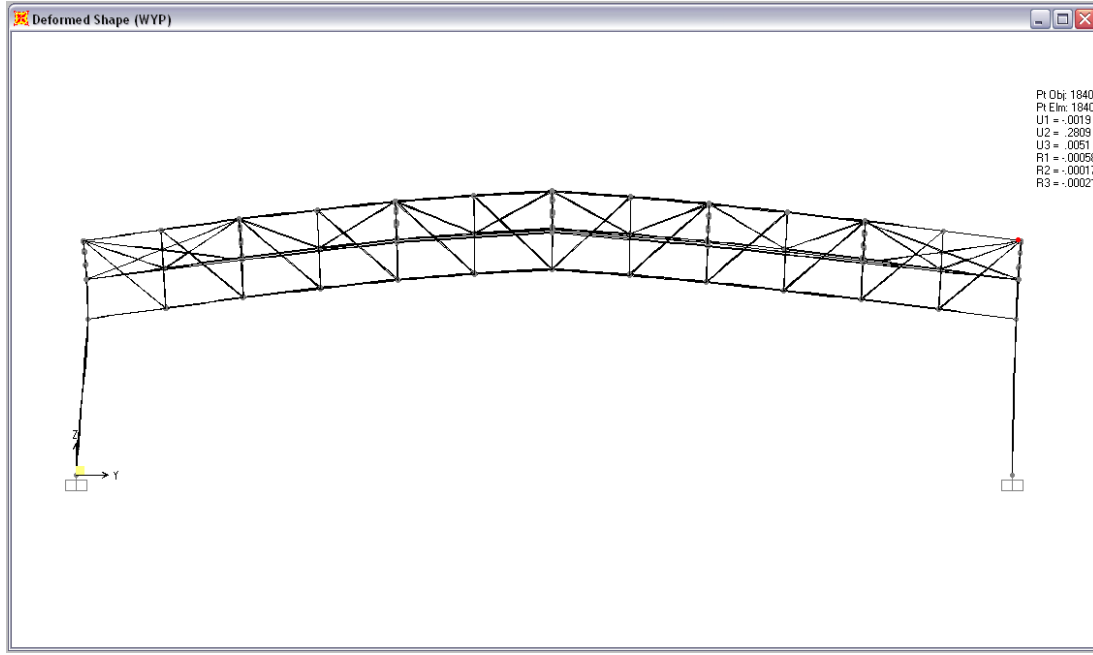


Şekil 2.17 : SAP 2000 programında yapının EXP deplasmanı.

$$\delta_{EX} = 0.19 \text{ cm}$$

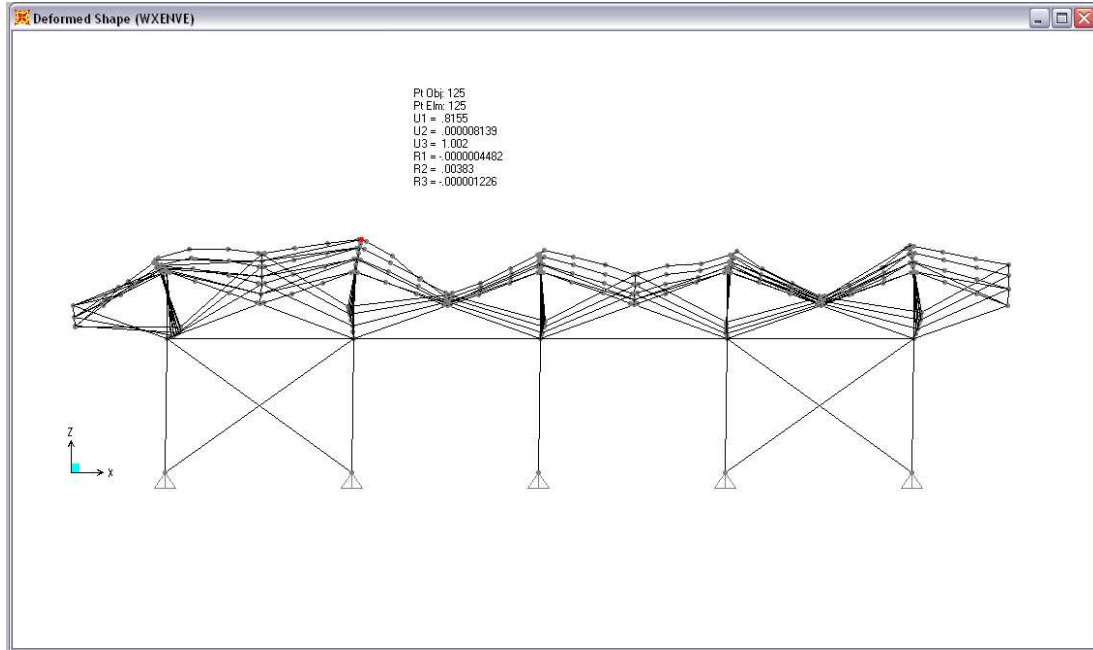
$$\delta_{EX} = 0.19 < \frac{750}{300} = 2.5 \text{ cm}$$

Rüzgar kuvvetlerinden oluşan deplasmanları sınırlandırmak için Denklem 2.49 geçerlidir.



Şekil 2.18 : SAP 2000 programında yapının WYP deplasmanı.

$$\delta_{WYP} = 0.28 \text{ cm} \quad \Delta_{maki} \leq \frac{h}{300} = \frac{750}{300} = 2.5 \text{ cm}$$



Şekil 2.19 : SAP 2000 programında yapının WXP deplasmanı.

$$\delta_{WXP} = 0.82 \text{ cm} \quad \Delta_{maki} \leq \frac{h}{300} = \frac{750}{300} = 2.5 \text{ cm}$$

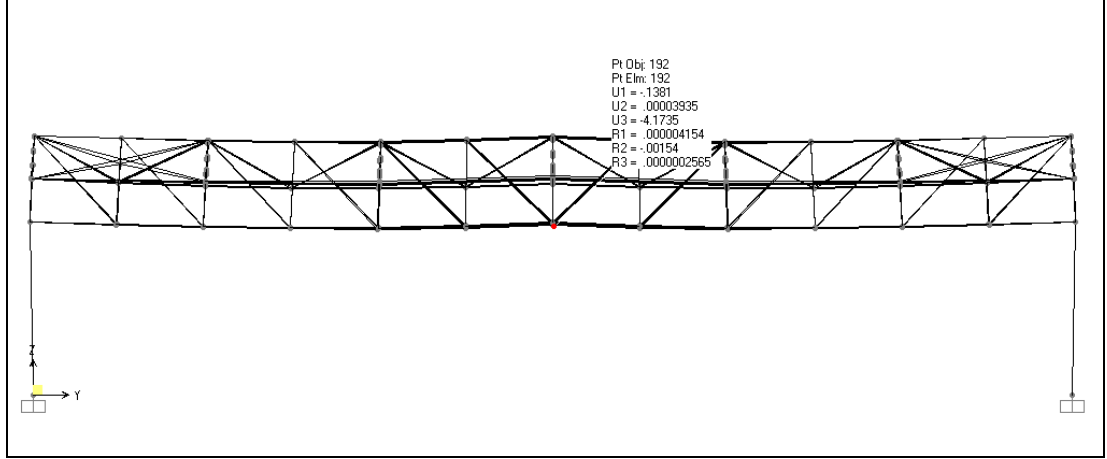
2.11.2 Düşey deplasman kontrolü

1.0D+1.0L durumunda oluşan maksimum düşey deplasman;

$$\Delta_{1.0D+1.0L} = 4.17 \text{ cm}$$

EC3'e göre artırılmış düşey deplasman limiti $\frac{L}{250}$ olarak tanımlanmıştır. [3]

$$\Delta_{mak} = 4.17 \leq \frac{L}{250} = \frac{3000}{250} = 12 \text{ cm}$$



Şekil 2.20 : SAP 2000 programında yapıнын 1.0D+1.0L deplasmanı.

2.12 Birleşimler

2.12.1 Bulonlu birleşimlerin hesabı [1]

Bulonlu birleşimlerin hesabı EC3 bölüm 1.8'e göre hesaplanmıştır. Bu yönetmeliğe göre kısmi güvenlik katsayıları aşağıda verilmiştir.

-Bulonlar, perçinler $\gamma_{Mb} = 1.25$

-Kayma mukavemetli bulonlu birleşimler :

a)Kullanılabilirlik sınır durumu $\gamma_{Ms,ser} = 1.10$

b)Taşıma yükü sınır durumu $\gamma_{Ms,ult} = 1.10$

-Delik cidarı ezilmesinde malzeme göçmesi $\gamma_{Mb} = 1.25$

-Bulonlu birleşimlerde çekmede, net enkesitte yapı elemanında $\gamma_{Mb} = 1.25$

Bulonlu Birleşimlerin Sınıflandırılması aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 2.16 : Bulonlu birleşimlerin sınıflandırılması.

Birleşim	SL	SLP	GV	GVP
Malzeme kaliteleri	4.6, 5.6, 8.8, 10.9	4.6, 5.6, 8.8, 10.9	8.8, 10.9	8.8, 10.9
İzin verilen boşluk	≤ 1 mm M12~M14 ≤ 2 mm M16~M24 ≤ 3 mm M27 ve yukarısı	(≤ 0.3 mm)	≤ 3 mm M12 ≤ 2 mm M16~M22 ≤ 6 mm M24 ≤ 8 mm M27 ve yukarısı	(≤ 0.3 mm)
Kullanıldığı yapılar	Sabit yüklere maruz	Sabit yüklere maruz	Dinamik yüklere maruz	Dinamik yüklere maruz

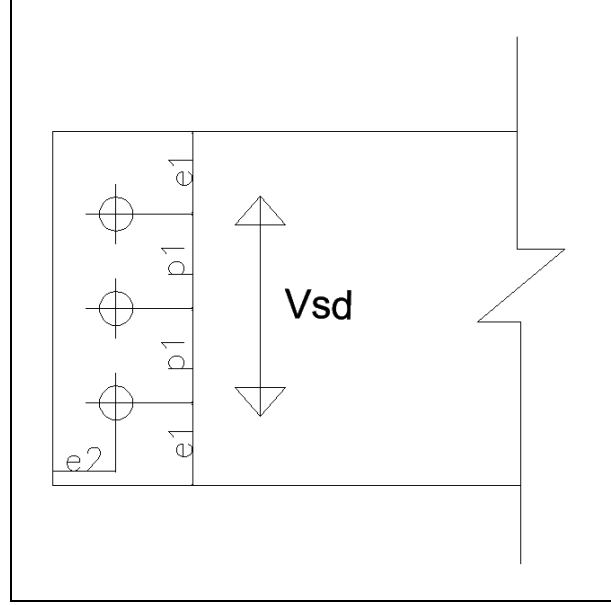
Bulonlu birleşimler zorlanma tiplerine ve birleşim çeşitlerine göre 5 farklı gruba ayrılırlar.

Çizelge 2.17 : Zorlanma türüne göre birleşim tipleri.

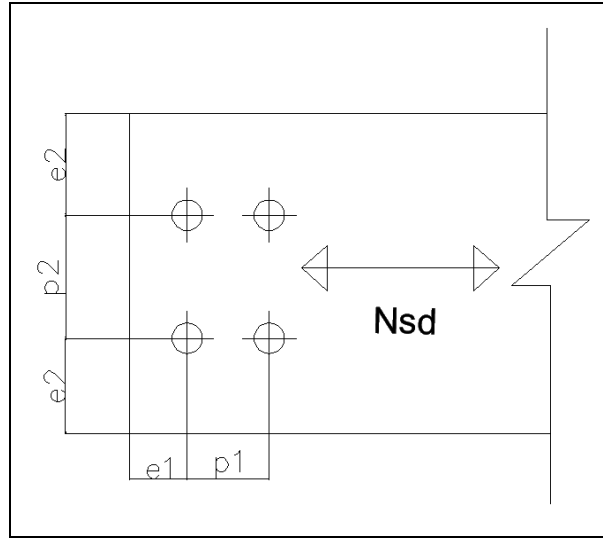
Makaslama, delik cidarında ezilme ve kayma dayanımlı birleşimler		
Birleşim Tipi	Koşul	Açıklama
A Makaslama, delik cidarında ezilmeye çalışan birleşim	$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd}$	Öngerme gereksiz Bulon malzeme kalitesi (4.6)~(10.9)
B Kullanılabilirlik sınır durumunda kayma dayanımlı birleşim	$F_{v,Sd,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd}$	Yüksek mukavemetli öngermeli bulonlar; Kullanılabilirlik sınır durumunda kayma yok
C Taşıma yükü sınır durumunda kayma dayanımlı birleşim	$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd}$	Yüksek mukavemetli öngermeli bulonlar; Taşıma yükü sınır durumunda kayma yok
Çekmeye maruz birleşimler		
Birleşim Tipi	Koşul	Açıklama
D Öngermesiz	$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd}$	Öngerme gereksiz Bulon malzeme kalitesi (4.6)~(10.9)
E Öngermeli	$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd}$	Yüksek mukavemetli öngermeli bulonlar

-Bulon aralıkları:

d_0 delik çapı olmak üzere, yapı elemanında açılan bulon delik çapı aşağıdaki aralıklar içinde bulunmalıdır. [11]



Şekil 2.21 : Kesme kuvvetine maruz birleşimlerde bulon mesafe notasyonları.



Şekil 2.22 : Normal kuvvete maruz birleşimlerde bulon mesafe notasyonları.

$$1.2d_0 \leq e_1 \leq \max(12t, 150mm)$$

$$1.5d_0 \leq e_2 \leq \max(12t, 150mm)$$

$$2.2d_0 \leq p_1 \leq \max(12t, 200mm)$$

$$3.0d_0 \leq p_2 \leq \max(14t, 200mm)$$

Bulonlu birleşimlerde başlıca makaslama ve delik cidarında ezilme kontrolleri yapılır. Bunun için iki yöntem mevcuttur:

- 1) Genel durum : $F_{v,Rd} < F_{b,Rd}$ ise, yani taşıma yükü sınır durumunda bulonun göçmesine izin verilirse, kuvvetler birleşim araçlarına lineer olarak,
- 2) $F_{b,Rd} < F_{v,Rd}$ ise, yani delik cidarında ezilme esas ise, kuvvetler birleşim araçlarına “plastik” olarak dağıtılır.

Bulonlu birleşimlerde zorlanma delik cidarında ezilme ve makaslama durumlarına göre kontrol edilir.

-Delik cidarında ezilme:

Aktarılabılır kuvvet, bulonun gövdesi arasındaki ezilmeye göre hesaplanır.

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \quad (2.50)$$

$$F_{b,Rk} = 2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t \quad (2.51)$$

$F_{b,Rk}$ = Delik cidarında ezilme dayanımının karakteristik değeri

d : bulon çapı

t: levha kalınlığı

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \times d_0}; \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1.0 \right)$$

-Makaslama dayanımı kontrolü:

Aktarılabılır kuvvet, bulonun gövdesinde makaslama alanıyla aktardığı kuvvettir.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} \quad (2.52)$$

$$F_{b,Rk} = C_1 \times f_{ub} \times A_s \quad (2.53)$$

$C_1 = 0.6$ (4.6, 5.6, 8.8)

$C_1 = 0.5$ (4.6, 5.8, 6.8, 10.9)

Çizelge 2.18 : Bulon dişdibi alanları.

Bulon Çapı (mm)	12	16	20	22	24	27	30	36
A_s (mm ²)	84,3	157	245	303	353	459	561	817

- Çekme dayanımı kontrolü:

Bulonun boyuna doğrultusunda kesit alanıyla aktardığı çekme kuvvetidir.

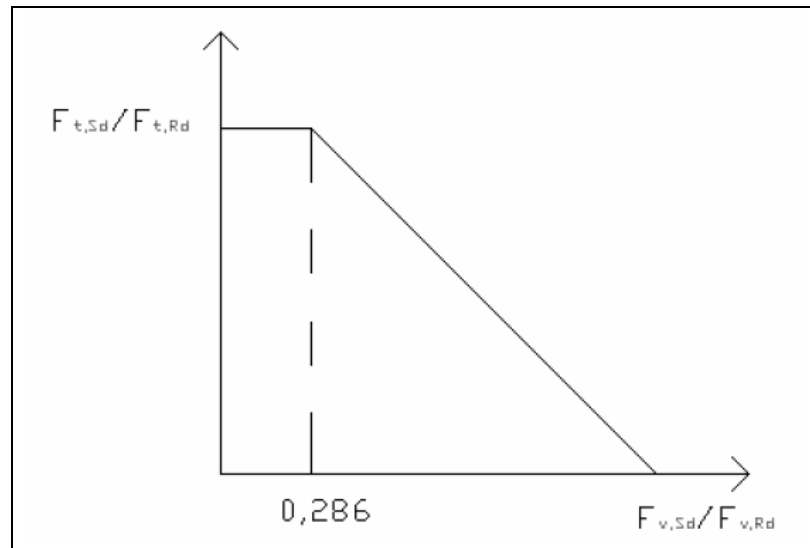
$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{Mb}} \quad (2.54)$$

$$F_{t,Rk} = 0.9 \times f_{ub} \times A_s \quad (2.55)$$

-Bulon eksenine dik ve eksen doğrultusunda kuvvetlerin aynı anda aktarılması :

Bir birleşim bölgesinde bulonlar aynı anda çekme ve makaslamaya zorlanıyor ise aşağıdaki karşılıklı etki koşulu sağlanmalıdır.

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1.4 \times F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (2.56)$$



Şekil 2.23 : Bulonlarda makaslama ve çekme etkisinde etkileşim.

Bulon tam dayanımlı olarak makaslamaya maruz kalırsa ilave bir çekme kuvveti aktaramaz. Buna karşılık çekmenin tam olarak kullanılması halinde, makaslama dayanımı kuvvetinin %28.6' sına eşit bir makaslama kuvvetini aktarabilmektedir.

-Yüksek mukavemetli bulonlarla yapılan kayma dayanımlı birleşimler

Kayma dayanımlı birleşimler öngörülen bir öngerme kuvveti ile gerilerek, birleştirilen parçaların özel olarak işlenmiş temas yüzeylerinde bulon eksenine dik sürtünme ile aktarılır.

$$F_{s,Rk} = 0.7 \times \mu \times f_{ub} \times A_s \quad (2.57)$$

$F_{s,Rk}$ = Her bir bulon ve sürtünme yüzeyi için karakteristik sürtünme dayanımı

$$F_{s,Rd} = \frac{F_{s,Rk}}{\gamma_{Ms}} \times n \times k_s \quad (2.58)$$

n: sürtünme oluşturan yüzey sayısı

k_s : delik büyüklüğünün ve formunun etkisini göz önüne alan katsayı

Bulon ile delik arasında normal boşluk var ise $k_s = 1.0$

Bulon ile delik arasında aşırı büyük boşluk veya kısa uzun delik olması durumunda $k_s = 0.85$

Büyük uzun delik olması durumunda $k_s = 0.70$

μ katsayısı ise yüzey durumuna göre belirlenen bir katsayıdır.

Yüzeye kum püskürtülerek gevşek pas uzaklaştırılır veya kum püskürtülerek çinko veya alüminyum bazlı bir kat boya sürülürse $\mu = 2.5$ kabul edilir. Yüzeye kum püskürtülerek alkali çinko silikat bir boya ile boyanırsa $\mu = 2.0$ kabul edilir. Satış tel fırça veya alev püskürtülerek temizlenir ve gevşek pas uzaklaştırılırsa $\mu = 1.50$ kabul edilir. Yüzey işlenmez ise $\mu = 1.0$ kabul edilir.

2.12.2 Kaynaklı birleşimlerin hesabı [1]

Kaynak dikişi tipleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Kaynak dikişi çeşidi	Küt ek	T Küt ek	Bindirmeli ek
Köşe dikişi			
Tam nüfuziyetli küt dikiş	 	 	
Kısmi nüfuziyetli küt dikiş	 	 	
Nokta kaynak			
Yarı kaynak			

Şekil 2.24 : Kaynak dikiş tipleri.

-Kaynaklı birleşimlerin hesabı:

Kaynaklı birleşimlerde kullanılacak yapı elemanı kalınlığı en az 4 mm olmalıdır. İnce cidarlı elemanlar için bu alt sınır değeri farklıdır. Kaynaklı konstrüksiyonlarda Fe 360, Fe 430 veya Fe 510 kalitelerinde çelikler ve özel alaşımlı Fe E 275 veya Fe E 355 kalite çelikleri kullanılabilir. Kaynak malzemesinin kalitesi kullanılan yapı çeliğinin kalitesine uygun olmalıdır.

-Köşe kaynak dikişinin dayanımı :

Köşe kaynak dikişlerinde dikiş kalınlığı a , kaynak dikişi içine çizildiği düşünülen en büyük ikizkenar üçgenin yüksekliğine eşittir. Köşe kaynaklarında minimum kaynak kalınlığı 3 mm' den az olmamalıdır. 40 mm'den veya kaynak kalınlığının 6 katından daha kısa kaynak dikişleri kuvvet aktarılmasında ihmal edilir. Kaynak kalınlığının 150 katından uzun bindirmeli eklerde köşe dikişinin boyu β_{Lw} katsayısıyla çarpılarak indirgenir.

$$\beta_{Lw} = 1.2 - 0.2 \times L_j / (150 \times a) \leq 1.0 \quad (2.59)$$

L_j : kuvvet doğrultusundaki bindirme boyu

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \times a \quad (2.60)$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{Mw}} \quad (2.61)$$

$f_{vw,d}$: kaynak dikişinin tasarım makaslama dayanımı

f_u : birleşimin daha zayıf elemanın nominal çekme dayanımı

β_w : düzeltme katsayısı

Çizelge 2.19 : β_w düzeltme katsayısı

	Çelik sınıfı	Çekme dayanımı f_u	Düzeltilme katsayısı, β_w
EN 10025	Fe360	360 N/mm ²	0.8
	Fe 430	430 N/mm ²	0.85
	Fe 510	510 N/mm ²	0.9
pr EN 10113	Fe E 275	390 N/mm ²	0.8
	Fe E 355	490 N/mm ²	0.9

-Küt kaynak dikişinin dayanımı:

Küt kaynak dikişlerinde dikiş kalınlığı birleştirdiği elemanların en incisinin kalınlığına eşittir. Küt kaynak dikişlerinde dikiş boyu birbirine kaynaklanan elemanlarının genişliğine eşittir.

Derin nüfuziyetli bir küt kaynak dikişinin tasarım mukavemeti birleştirdiği parçalardan zayıf olanının tasarım dayanımına eşittir. Burada kaynak dikişinin, uygun bir elektrodla çekildiği ve akma ve kopma gerilmesi değerlerinin en az kaynaklı numunelerle yapılan çekme deneylerinde, çeliğin akma ve kopma değerlerinde olduğu kabul edilir.

Derin nüfuziyetli olmayan küt dikişlerin tasarım dayanımı köşe kaynaklarında olduğu gibi hesaplanır.

2.12.3 IPE 160 Tali kiriş bağlantı detayı

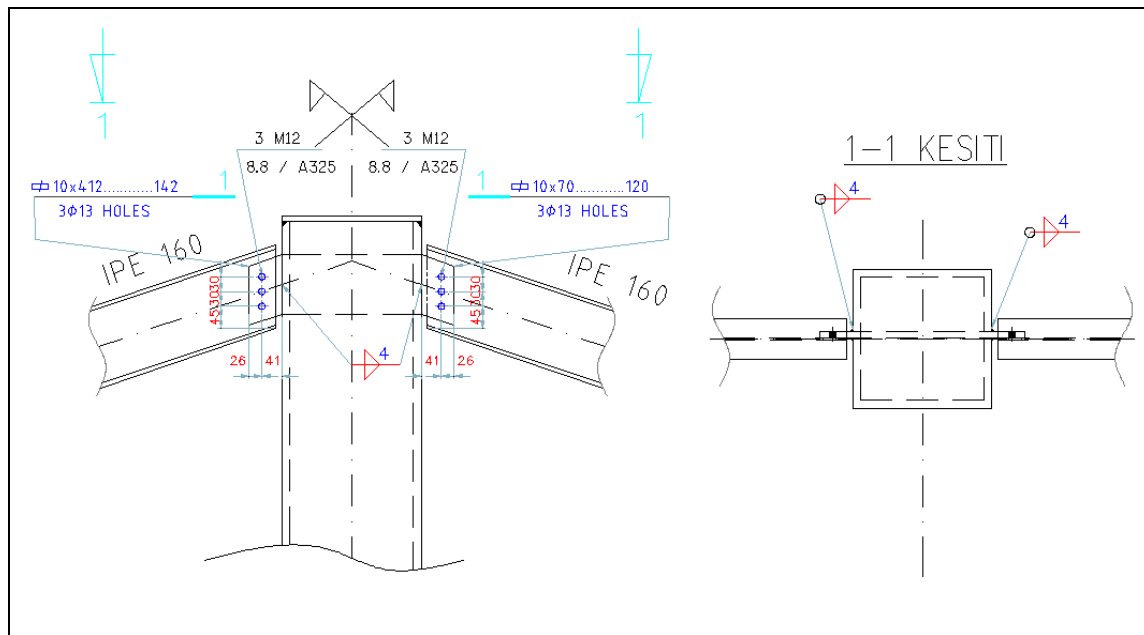
Kesit : IPE 160

$h = 160 \text{ mm}$ $b = 82 \text{ mm}$ $d = 127.2 \text{ mm}$ $t_w = 5.0 \text{ mm}$ $t_f = 7.4 \text{ mm}$ $r = 9 \text{ mm}$

Bağlantı levhası kalınlığı $t_p = 10 \text{ mm}$

Bulon çapının kontrolü $d_{\max} = \sqrt{5 \times t_{\min}} - 0,2 = \sqrt{5 \times 0,56} - 0,2 = 1,47 \text{ cm}$

Seçilen bulon çapı M12' dir.



Şekil 2.25 : Tali kiriş bağlantısı detayı

$N_{t,Sd} = 30 \text{ kN}$

$$F = 20.1 \text{ cm}^2$$

$$F_{net} = 28.5 - 3 \times 0.56 \times 1.4 = 26.15 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_M} = \frac{28.5 \times 23.5}{1.10} = 608.86 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0.9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times 26.15 \times 36}{1.25} = 677.81 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 608.86 \text{ kN}$$

Gövdede bir bulonun dayanımı için hesap aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = \min \left[\frac{e}{3 \times d_0}; \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right]$$

$$\alpha = \min \left[\frac{20}{3 \times 14}; \frac{36}{3 \times 14} - \frac{1}{4}; \frac{100}{36}; 1 \right] = 0.48$$

$$F_{b,Rd} = 2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t_{min} / \gamma = 2.5 \times 0.48 \times 36 \times 1.6 \times 1 / 1.25 = 55.30 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{C_1 \times f_{ub} \times A_{sm}}{\gamma_{Mb}} \times n = \frac{0.5 \times 80 \times 1.13}{1.25} \times 1 = 36.16 \text{ kN}$$

3 adet bulon için $3 \times 36.16 = 108.48 \text{ kN} > 30 \text{ kN}$

$V_{sd} = 8 \text{ kN}$ kesme etkisi ile birlikte düşünüldüğünde ;

Tali kiriş gövdesinde bir bulona gelen kuvvet $e = 40 \text{ mm}$ eksantrisite etkisi dikkate alındığında aşağıdaki durumu almaktadır.

$$M_{eSd} = 8 \times 4 = 32 \text{ kNcm}$$

$$N_m = 32 / 6 + (30 / 3) = 15.33 \text{ kN}$$

$$N_v = 8 / 3 = 2.67 \text{ kN}$$

$$N_R < F_{v,Rd}$$

Bağlantı plakasını kolon gövdesine bağlayan kaynaklarda kontrol:

Köşe kaynak kalınlığı $a = 4 \text{ mm}$

Kaynak çekme dayanımı $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \times a$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{Mw}}$$

$f_{v,w,d}$: kaynak dikişinin tasarım makaslama dayanımı

f_u : birleşimin daha zayıf elemanın nominal çekme dayanımı

β_w : düzeltme katsayısı

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} = 207.8 \text{ N / mm}^2$$

$$F_{w,Rd} = 207.8 \times 4 = 831.2 \text{ N / mm} = 8312 \text{ N / cm} = 8.3 \text{ kN / cm}$$

Tasarım kriteri

$$F_{w,Rd} \times l > V_{sd}$$

Gerekli kaynak boyu l olmak üzere:

$$l = \frac{8}{8.3} = 0.96 \text{ cm}$$

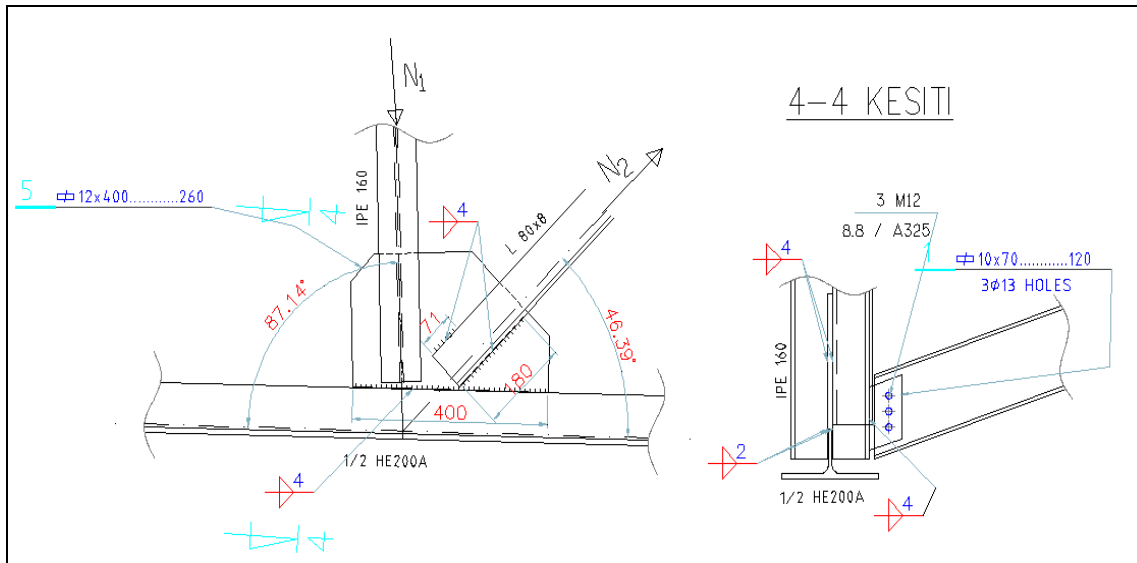
Toplam kaynak boyu l = 12 cm > 0.96 cm

2.12.4 Makas diyagonal bağlantı detayları

- L 80.8 diyagonal IPE 160 dikme bağlantı detayı

$$N_1 = 142.4 \text{ kN}$$

$$N_2 = 198 \text{ kN}$$



Şekil 2.26 : L80.8 diyagonal bağlantı detayı

Diyagonal elemanında kaynak kontrolü :

Köşe kaynak kalınlığı $a=4 \text{ mm}$

Kaynak çekme dayanımı $f_u=360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \times a$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{Mw}}$$

$f_{v,wd}$: kaynak dikişinin tasarım makaslama dayanımı

f_u : birleşimin daha zayıf elemanın nominal çekme dayanımı

β_w : düzeltme katsayısı

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1,25} = 207.8 \text{ N / mm}^2$$

$$F_{w,Rd} = 207.8 \times 4 = 831.2 \text{ N / mm} = 8312 \text{ N / cm} = 8.3 \text{ kN / cm}$$

Tasarım kriteri

$$F_{w,Rd} \times l > N_2$$

Gerekli kaynak boyu l olmak üzere:

$$l = \frac{198}{8.3} = 23.85 \text{ cm}$$

Toplam kaynak boyu $l = 18 + 7.9 = 25.9 \text{ cm} > 23.85 \text{ cm}$

Makas dikme elemanı kaynaklarında kontrol:

Köşe kaynak kalınlığı $a = 4 \text{ mm}$

Kaynak çekme dayanımı $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1,25} = 207.8 \text{ N / mm}^2$$

$$F_{w,Rd} = 207.8 \times 4 = 831.2 \text{ N / mm} = 8312 \text{ N / cm} = 8.3 \text{ kN / cm}$$

Tasarım kriteri

$$F_{w,Rd} \times l > N_1$$

Gerekli kaynak boyu l olmak üzere:

$$l = \frac{142.4}{8.3} = 17.15 \text{ cm}$$

Toplam kaynak boyu $l = 10 \times 2 = 20 \text{ cm} > 17.15 \text{ cm}$

Makas alt başlığı ile plaka arasında kaynak kontrolü :

Makas alt başlığına eksenine doğrultusunda etkiyen kuvvet $N_{t,Sd} = 145 \text{ kN}$

Köşe kaynak kalınlığı $a = 4 \text{ mm}$

Kaynak çekme dayanımı $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} = 207.8 \text{ N / mm}^2$$

$$F_{w,Rd} = 207.8 \times 4 = 831.2 \text{ N / mm} = 8312 \text{ N / cm} = 8.3 \text{ kN / cm}$$

Tasarım kriteri

$$F_{w,Rd} \times l > N_{Ed}$$

Gerekli kaynak boyu l olmak üzere:

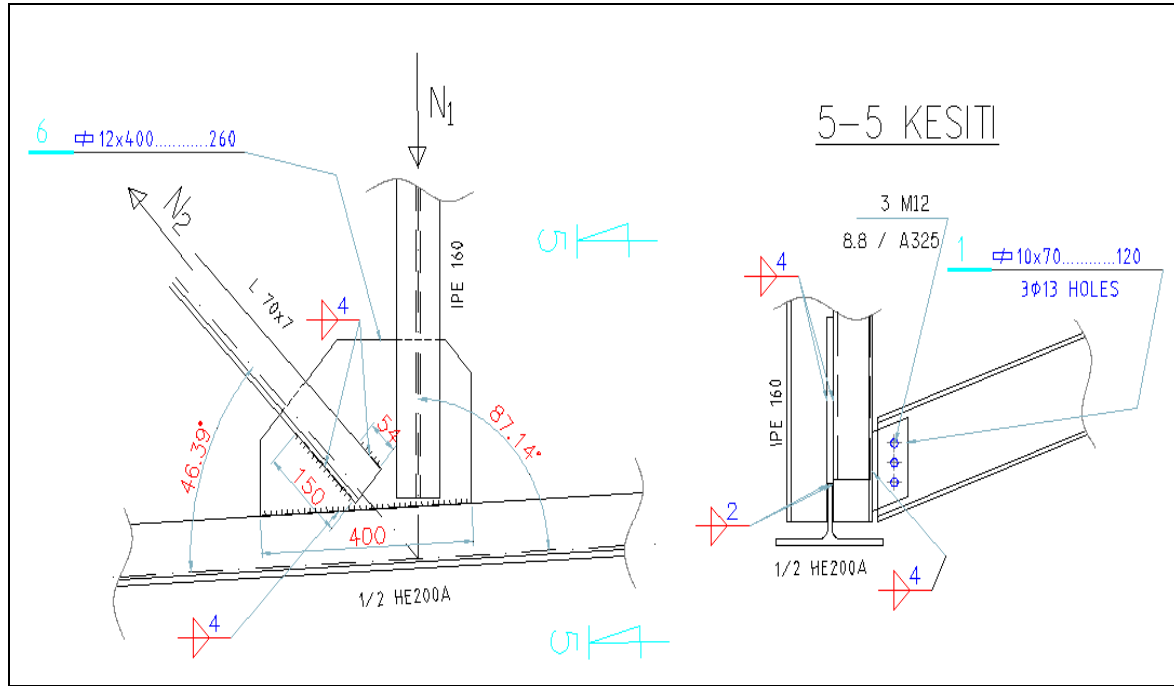
$$l = \frac{145}{8.3} = 17.46 \text{ cm}$$

Toplam kaynak boyu l = 40 cm > 17.46 cm

- L 70.7 diyagonal IPE 160 dikme bağlantı detayı

$$N_1 = 142.4 \text{ kN}$$

$$N_2 = 114.5 \text{ kN}$$



Şekil 2.27 : L70.7 diyagonal bağlantı detayı

Diyagonal elemanında kaynak kontrolü :

Köşe kaynak kalınlığı $a=4 \text{ mm}$

Kaynak çekme dayanımı $f_u=360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \times a$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{Mw}}$$

$f_{v,wd}$: kaynak dikişinin tasarım makaslama dayanımı

f_u : birleşimin daha zayıf elemanın nominal çekme dayanımı

β_w : düzeltme katsayısı

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1,25} = 207.8 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$F_{w,Rd} = 207.8 \times 4 = 831.2 \text{ N} / \text{mm} = 8312 \text{ N} / \text{cm} = 8.3 \text{ kN} / \text{cm}$$

Tasarım kriteri

$$F_{w,Rd} \times l > N_2$$

Gerekli kaynak boyu l olmak üzere:

$$l = \frac{114.5}{8.3} = 13.8 \text{ cm}$$

Toplam kaynak boyu l = 15+5,4=20.4 > 13.8 cm

Makas dikme elemanı kaynaklarında kontrol

Köşe kaynak kalınlığı a=4 mm

Kaynak çekme dayanımı $f_u=360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} = 207.8 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$F_{w,Rd} = 207.8 \times 4 = 831.2 \text{ N} / \text{mm} = 8312 \text{ N} / \text{cm} = 8.3 \text{ kN} / \text{cm}$$

Tasarım kriteri

$$F_{w,Rd} \times l > N_1$$

Gerekli kaynak boyu l olmak üzere:

$$l = \frac{142.4}{8.3} = 17.15 \text{ cm}$$

Toplam kaynak boyu l = 10x2=20cm > 17.15 cm

Makas alt başlığı ile plaka arasında kaynak kontrolü :

Makas alt başlığına eksenli doğrultusunda etkiyen kuvvet $N_{t,Sd} = 7.71 \text{ kN}$

Köşe kaynak kalınlığı a=4 mm

Kaynak çekme dayanımı $f_u=360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1,25} = 207.8 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$F_{w,Rd} = 207.8 \times 4 = 831.2 \text{ N} / \text{mm} = 8312 \text{ N} / \text{cm} = 8.3 \text{ kN} / \text{cm}$$

Tasarım kriteri

$$F_{w,Rd} \times l > N_{Ed}$$

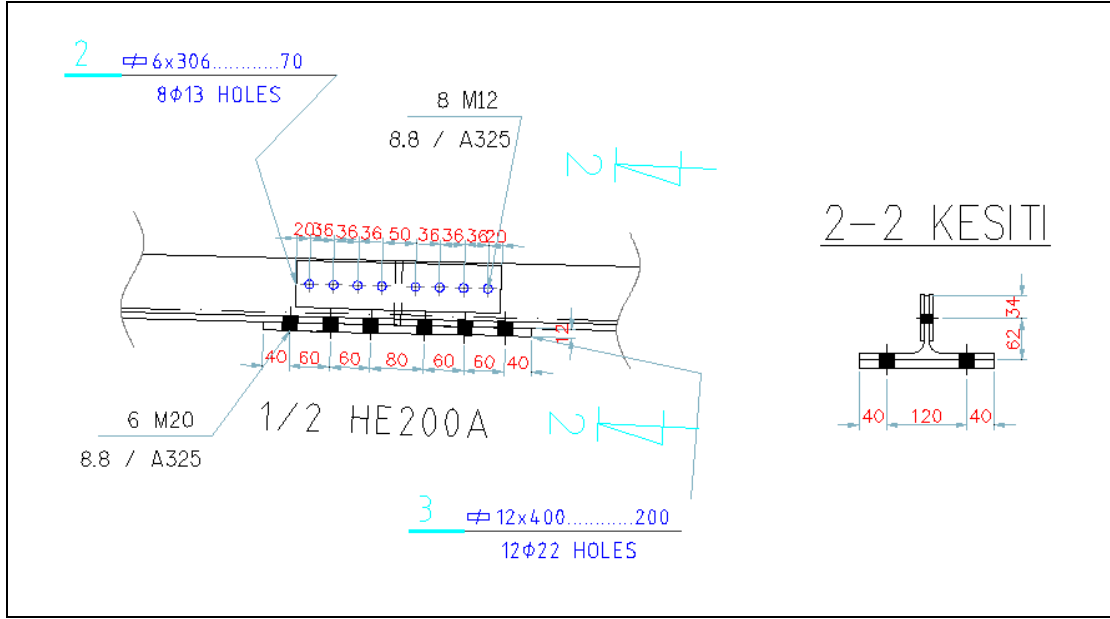
Gerekli kaynak boyu l olmak üzere:

$$l = \frac{7.71}{8.3} = 0.93 \text{ cm}$$

Toplam kaynak boyu $l = 40 \text{ cm} > 0.93 \text{ cm}$

2.12.5 Makas alt ve üst başlık ekleri

- Makas alt başlık eki



Şekil 2.28 : Makas alt başlık eki

½ HE200A Kesit

Makas alt başlığında oluşan en elverişsiz kesit tesiri $N_{t,Sd} = 386.32 \text{ kN}$

$$A_t = 26.9 \text{ cm}^2$$

$$A_f = 20 \text{ cm}^2$$

$$A_w = 6.9 \text{ cm}^2$$

$$t_f = 10 \text{ mm}$$

$$t_w = 6.5 \text{ mm}$$

Profil başlığına ve gövdesine etki eden kuvvetler

$$P_f = N_{t,Sd} \times A_f / A_t = 386.32 \times (20 / 26.9) = 287.23 \text{ kN}$$

$$P_w = N_{t,Sd} \times A_w / A_t = 386.32 \times (6.9 / 26.9) = 99.09 \text{ kN}$$

Başlık ek levhalarında seçilen boyutlar $t \ 12 \times 400 \times 200$

Gövde ek levhalarında seçilen boyutlar $t \ 6 \times 70 \times 300$

$$\sqrt{(5xt_{\min})} = \sqrt{5 \times 1} - 0.2 = 2.23 - 0.2 = 2.03 \text{ cm}$$

Başlık için M 20 (8.8) bulon seçilmiştir.

$$\sqrt{(5 \times t_{\min})} = \sqrt{5 \times 0.6} - 0.2 = 1.73 - 0.2 = 1.53 \text{ cm}$$

Gövde için M12 (8.8) bulon seçilmiştir.

$$A_{f,ek} = 1.2 \times 20 = 24 \text{ cm}^2 > A_f = 20 \text{ cm}^2$$

$$A_{w,ek} = 0.6 \times 70 \times 2 = 8.4 \text{ cm}^2 > A_w = 6.9 \text{ cm}^2$$

Başlıkta bir bulonun dayanımı aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = \min \left[\frac{e}{3 \times d_0}; \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right]$$

$$\alpha = \min \left[\frac{40}{3 \times 22}; \frac{60}{3 \times 22} - \frac{1}{4}; \frac{100}{36}; 1 \right] = 0.60$$

$$F_{b,Rd} = 2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t_{\min} / \gamma = 2.5 \times 0.6 \times 36 \times 2.2 \times 1 / 1.25 = 95.04 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{C_1 \times f_{ub} \times A_b}{\gamma_{Mb}} \times n = \frac{0.5 \times 80 \times 3.14}{1.25} \times 1 = 100.48 \text{ kN}$$

$$6 \text{ tane bulon için : } 95.04 \times 6 = 570.24 \text{ kN} > 287.23 \text{ kN}$$

Gövdede bir bulonun dayanımı aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = \min \left[\frac{e}{3 \times d_0}; \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right]$$

$$\alpha = \min \left[\frac{20}{3 \times 14}; \frac{36}{3 \times 14} - \frac{1}{4}; \frac{100}{36}; 1 \right] = 0.48$$

$$F_{b,Rd} = (2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t_{\min} / \gamma) = 2.5 \times 0.48 \times 36 \times 1.4 \times 0.65 / 1.25 = 31.45 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{C_1 \times f_{ub} \times A_b}{\gamma_{Mb}} \times n = \frac{0.5 \times 80 \times 1.13}{1.25} \times 2 = 72.32 \text{ kN}$$

$$4 \text{ tane bulon için : } 31.45 \times 4 = 125.8 \text{ kN} > 99.09 \text{ kN}$$

Başlık levhasında kontrol ;

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_M} = \frac{1.2 \times 20 \times 23.5}{1.1} = 512.7 \text{ kN} > P_f = 287.32 \text{ kN}$$

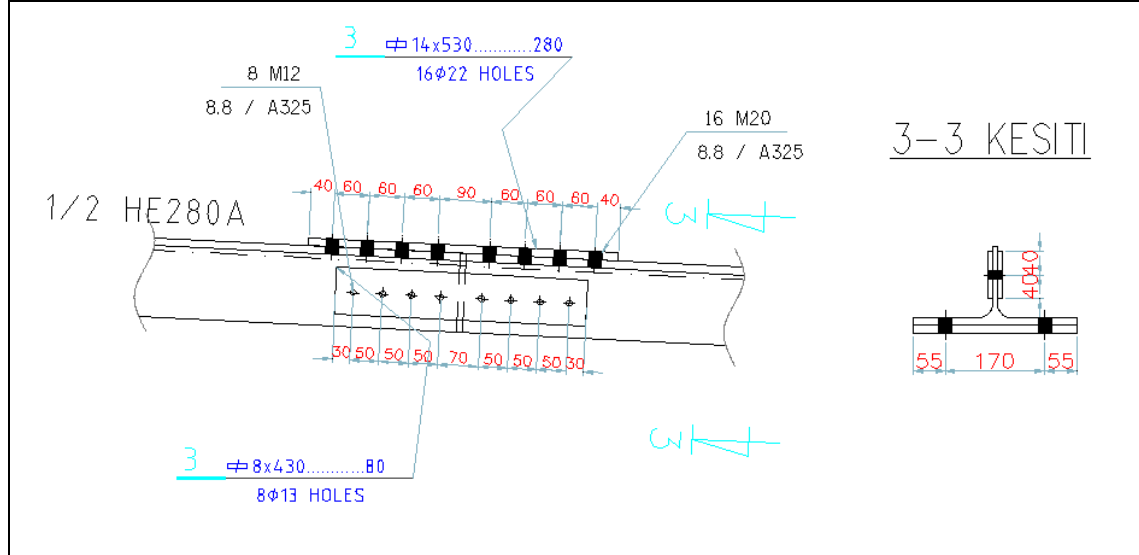
$$N_{pl,Rd} = \frac{0.9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times ((20 - 2 \times 2.2) \times 1.2) \times 36}{1.25} = 485.22 \text{ kN} > P_f = 287.32 \text{ kN}$$

Gövde levhasında kontrol ;

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_M} = \frac{2 \times 0.6 \times 7 \times 23.5}{1.1} = 179.45 \text{ kN} > P_w = 99.09 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0.9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times ((7 - 1.4) \times 0.6 \times 2) \times 36}{1.25} = 174.18 \text{ kN} > P_w = 99.09 \text{ kN}$$

-Makas üst başlık eki



Şekil 2.29 : Makas üst başlık eki

½ HE280A Kesit

Makas üst başlığında oluşan en elverişsiz kesit tesiri $N_{c,Sd} = -574.28 \text{ kN}$

$$A_t = 48.63 \text{ cm}^2$$

$$A_f = 36.4 \text{ cm}^2$$

$$A_w = 12.23 \text{ cm}^2$$

$$t_f = 13 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

Profil başlığına ve gövdesine etki eden kuvvetler

$$P_f = N_{t,Sd} \times A_f / A_t = 574.28 \times (36.4 / 48.3) = 432.79 \text{ kN}$$

$$P_w = N_{t,Sd} \times A_w / A_t = 574.28 \times (12.23 / 48.63) = 144.43 \text{ kN}$$

Başlık ek levhalarında seçilen boyutlar t 14 x 530 x 280

Gövde ek levhalarında seçilen boyutlar t 8 x 430 x 80

$$\sqrt{(5 \times t_{\min})} = \sqrt{5 \times 1.30} - 0.2 = 2.55 - 0.2 = 2.35 \text{ cm}$$

Başlık için M 22 (8.8) bulon seçilmiştir.

$$\sqrt{(5 \times t_{\min})} = \sqrt{5 \times 0.8} - 0.2 = 2 - 0.2 = 1.8 \text{ cm}$$

Gövde için M16 (8.8) bulon seçilmiştir.

$$A_{f,ek} = 1.4 \times 28 = 39.2 \text{ cm}^2 > A_f = 36.4 \text{ cm}^2$$

$$A_{w,ek} = 0.8 \times 80 \times 2 = 12.8 \text{ cm}^2 > A_w = 12.23 \text{ cm}^2$$

Başlıkta bir bulonun dayanımı için hesap aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = \min \left[\frac{e}{3 \times d_0}; \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right]$$

$$\alpha = \min \left[\frac{40}{3 \times 22}; \frac{60}{3 \times 22} - \frac{1}{4}; \frac{100}{36}; 1 \right] = 0,60$$

$$F_{b,Rd} = 2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t_{\min} / \gamma = 2.5 \times 0.6 \times 36 \times 2.4 \times 1.3 / 1.25 = 134.78 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{C_1 \times f_{ub} \times A_{sm}}{\gamma_{Mb}} \times n = \frac{0.5 \times 80 \times 3.80}{1.25} \times 1 = 121.6 \text{ kN}$$

$$6 \text{ tane bulon için : } 121.6 \times 6 = 729.6 \text{ kN} > 432.79 \text{ kN}$$

Gövdede bir bulonun dayanımı için hesap aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = \min \left[\frac{e}{3 \times d_0}; \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right]$$

$$\alpha = \min \left[\frac{30}{3 \times 18}; \frac{50}{3 \times 18} - \frac{1}{4}; \frac{100}{36}; 1 \right] = 0,56$$

$$F_{b,Rd} = 2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t_{\min} / \gamma = 2.5 \times 0.56 \times 36 \times 1.8 \times 0.8 / 1.25 = 58.06 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{C_1 \times f_{ub} \times A_{sm}}{\gamma_{Mb}} \times n = \frac{0.5 \times 80 \times 2.01}{1.25} \times 2 = 128.64 \text{ kN}$$

$$3 \text{ tane bulon için : } 58.06 \times 3 = 174.18 \text{ kN} > 144.43 \text{ kN}$$

Başlık levhasında kontrol ;

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_M} = \frac{1.4 \times 26 \times 23.5}{1.1} = 777.64 \text{ kN} > P_f = 432.79 \text{ kN}$$

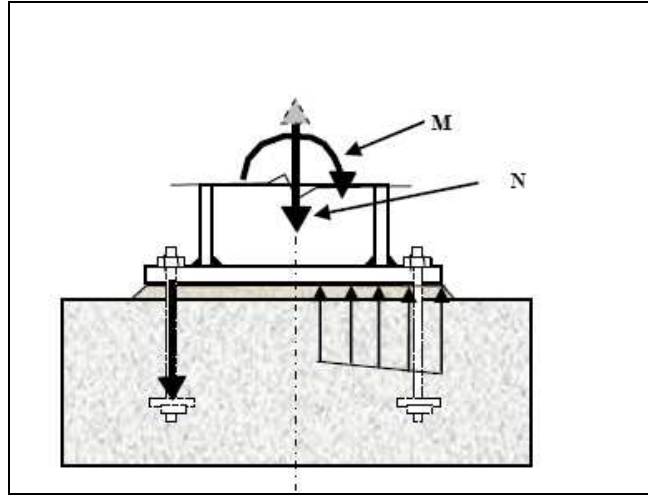
$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times ((26 - 2 \times 2.2) \times 1.4) \times 36}{1.25} = 783.82 \text{ kN} > P_f = 432.79 \text{ kN}$$

Gövde levhasında kontrol ;

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_M} = \frac{2 \times 0.8 \times 8 \times 23.5}{1.1} = 273.45 \text{ kN} > P_w = 144.43 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times ((8 - 1.8) \times 0.8 \times 2) \times 36}{1.25} = 257.12 \text{ kN} > P_w = 144.43 \text{ kN}$$

2.12.6 Kolon ayağı bağlantı detayı



Şekil 2.30 : Kolon ayağı bağlantısı şematik detayı.

Kolon ankrajı hesabı aşağıda verilmiştir.

$$h_p = 48 \text{ cm}$$

$$b_p = 48 \text{ cm}$$

$$h_f = b_f = 58 \text{ cm}$$

$$t_{fc} = 1,6 \text{ cm}$$

$$z = 38 \text{ cm}$$

$$M_{y,Ed} = 108.54 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Ed} = 0 \text{ kN.m}$$

$$N_{Ed} = -180.95 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -48.69 \text{ kN}$$

Bulonlarda görülen maksimum çekme kuvveti ;

$$F_{t,Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{h_c - t_{fc}} - \frac{N_{Ed}}{2}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{108.54}{0.28 - 0.016} - \frac{180.95}{2} = 320.66 \text{ kN}$$

$$\text{Bulon sayısı } n = 3$$

Bir bulona gelen çekme kuvveti

$$F_{T,Ed} = 320.66 / 3 = 106.89 \text{ kN}$$

Ankraj bulonu dayanımı (5.6 kalite) için:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times 50 \times A_s}{1.25} = 36A_s$$

$$36A_s = 106.89$$

$$A_{smin} = 2.97 \text{ cm}^2$$

Seçilen ankraj bulonu M24 $A_s=3.53 \text{ cm}^2$

Ankraj boyunun tespiti

$$F_{t,bond,Rd} = \frac{1}{2.25} (\pi \phi l_b f_{bd})$$

C25 beton sınıfı için $f_{bd} = 1.25 \text{ N/mm}^2$

$$F_{t,bond,Rd} > 106.89 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2.25} (\pi \cdot 2.4 \cdot l_b \cdot 1.25) > 106.89 \text{ kN}$$

$$l_b > 25.52 \text{ cm}$$

Ankraj bulonlarında makaslama dayanımı

$$F_{b,Rd} = 2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t_{min} / \gamma = 2.5 \times 0.60 \times 30 \times 2 \times 2.5 / 1.25 = 180 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{C_1 \times f_{ub} \times A_{sm}}{\gamma_{Mb}} \times n = \frac{0.5 \times 50 \times 2.45}{1.25} \times 1 = 49 \text{ kN}$$

Ankrajda eğilme etkisinde bir taraftaki bulonların çekmeye diğer taraftakilerin kesmeye alıştığı varsayımıyla, n=3 bulon olarak kabul edilmiştir.

$$3 \times 49 = 147 \text{ kN} > V_{Ed} = 48.69 \text{ kN}$$

Beton basınç gerilmesi kontrolü

$$F_{c,Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{h_c - t_{fc}} + \frac{N_{Ed}}{2}$$

$$F_{c,Ed} = \frac{108.54}{0.28 - 0.016} + \frac{180.95}{2} = 501.61 \text{ kN}$$

$$p = \frac{501.61}{\frac{48}{4}} = 0.87 \text{ kN / cm}^2 = 8.7 \text{ N / mm}^2 < f_{jd} = 11.1 \text{ N / mm}^2$$

Taban plakası kalınlığını tespiti aşağıda verilmiştir.

$$s_x = s_y = 100 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$m_{min} = 4.25$$

$$K = p.s_x.s_y = 8.7.100.100 = 87000N$$

$$M_{\max} = K / m_{\min} = 204.70tcm = 2047kNcm$$

$$W_1 = 16.67.t^2$$

$$t_{\min} = \sqrt{(M_{\max} / 16.67.f_y)} = \sqrt{\frac{2047}{391.745}} = 2.28cm$$

Guse levhasını profil başlığına bağlayan kaynaklarda;

$$l = 20 \text{ cm}$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$N_{Ed} = -180.95 \text{ kN}$$

$$P = \frac{180.95}{8} + \frac{10854}{(28-1.6)} = 433.76kN$$

$$F_{w,Rd}.l.8 > P$$

$$l = 20 \text{ cm}$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} = 207.8N / mm^2$$

$$F_{w,Rd} = 207.8 \times 4 = 831.2N / mm = 8312N / cm = 8.312kN / cm$$

$$8.312 \times 20 \times 8 = 1329.92 > P = 433.76kN$$

Kolon gövdesini taban levhasına bağlayan dikişlerde l = 25 cm ve a = 4 mm' dir.

$$V_{Ed} = 42.72 \text{ kN}$$

$$F_{w,Rd} \times l \times 2 > V_{Ed}$$

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} = 207.8N / mm^2$$

$$F_{w,Rd} = 207.8 \times 4 = 831.2N / mm = 8312N / cm = 8.312kN / cm$$

$$8.312 \times 25 \times 2 = 415.6 > P = 42.72kN$$

Guse levhaları ile kolon başlığının birleştiği kesitte gerilme kontrolü ;

$$y = \frac{2 \times 25 \times 15 + 2.5 \times 48 \times 1.25}{1.5 \times 25 + 2.5 \times 48} = 5.71cm$$

$$I = 1.5 \times \frac{25^3}{12} + 2 \times 25 \times (15 - 5.71)^2 + 2.5 \times 48 \times (5.71 - 1.25)^2 = 8655.32cm^4$$

Guse levhalarının uç ketsinde gerilme

$$M_{F_{t,Ed}} = 284.63 \left(\frac{48 - 26.4}{2} - \frac{48}{8} \right) = 1366.22 \text{ kNcm}$$

$$M_{F_{c,Ed}} = 480.83 \times \left(\frac{48 - 26.4}{2} - 5 \right) = 2788.81 \text{ kN.cm}$$

$$f_{\max} = \frac{2788.81}{8655.32} (25 + 2.5 - 5.71) = 7.02 \text{ kN / cm}^2 < f_y = 23.5 \text{ kN / cm}^2$$

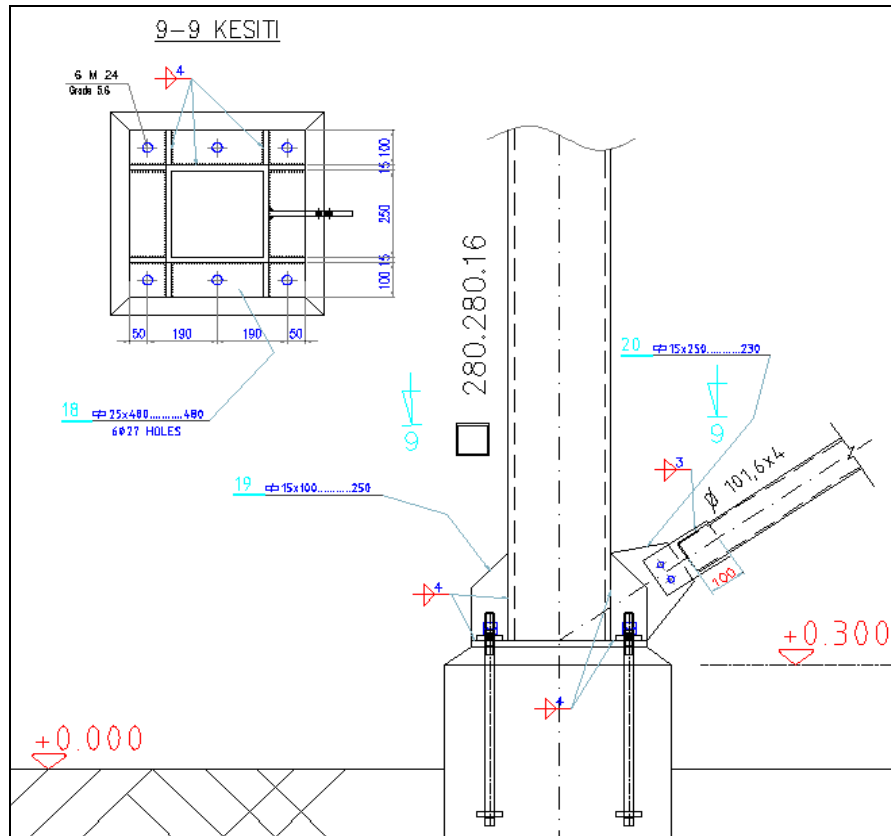
Guse levhalarını taban levhasına bağlayan dikişlerde, a=4 mm' dir.

$$V_{Ed} = 48.69 \text{ kN}$$

$$S_z = 48 \times 2.5 \times (5.71 - 1.25) = 535.2 \text{ cm}^3$$

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} = 207.8 \text{ N / mm}^2$$

$$f_{vw} = \frac{48.69 \times 535.2}{8655.32 \times 2 \times 0.4} = 3.76 \text{ kN / cm}^2 < 20.78 \text{ kN / cm}^2$$

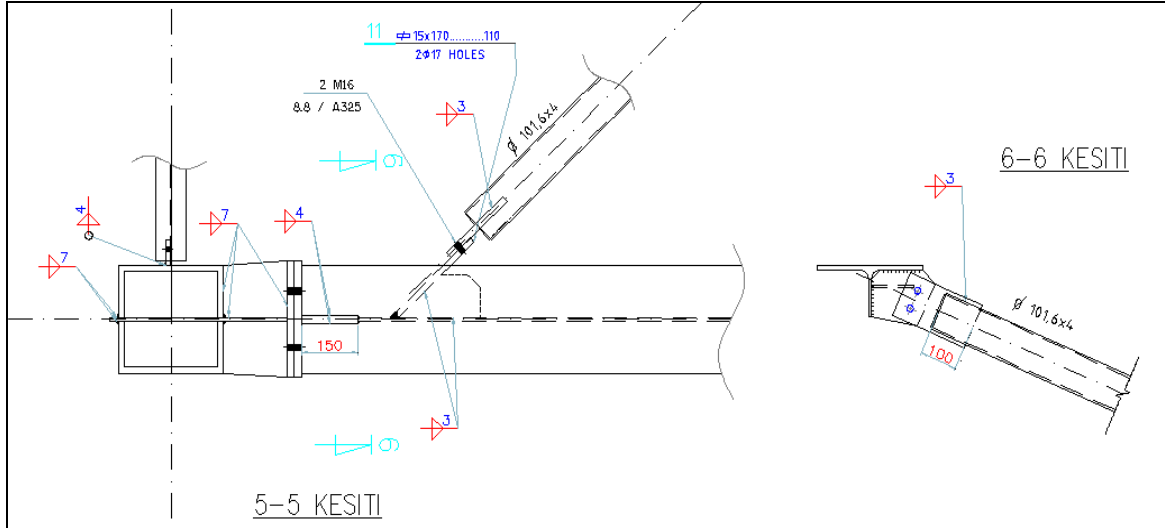


Şekil 2.31 : Kolon ayağı bağlantısı detayı.

2.12.7 Çatı çaprazı bağlantı detayı

Ø 101.6/4 Çatı stabilite bağlantısı birleşim detayı hesabı aşağıda verilmiştir.

$$N_{sd} = -31.08 \text{ kN}$$



Şekil 2.32 : Çatı çaprazı bağlantısı detayı

Stabilite elemanında kaynak kontrolü :

Köşe kaynak kalınlığı $a=3$ mm

Kaynak çekme dayanımı $f_u=360$ N/mm²

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \times a$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{Mw}}$$

$f_{v,w,d}$: kaynak dikişinin tasarım makaslama dayanımı

f_u : birleşimin daha zayıf elemanın nominal çekme dayanımı

β_w : düzeltme katsayısı

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1,25} = 207.8 \text{ N / mm}^2$$

$$F_{w,Rd} = 207.8 \times 3 = 623.4 \text{ N / mm} = 6234 \text{ N / cm} = 6.2 \text{ kN / cm}$$

Tasarım kriteri;

$$F_{w,Rd} \times l > N_{Sd}$$

Gerekli kaynak boyu l olmak üzere:

$$l = \frac{31.08}{6.2} = 5.01 \text{ cm}$$

Toplam kaynak boyu $l = 2 \times 10 = 20 \text{ cm} > 5.01 \text{ cm}$

Bağ levhasında ve bulonlarda dayanım kontrolü:

M 16 8.8 bulon için

Toplam bulon sayısı $n = 2$

Bulon brüt alanı $A_b = 201 \text{ mm}^2$

Bir bulonun dayanımı için hesap aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = 0.60$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha \times f_{ub} \times A_{sm}}{\gamma_{M2}} \times n = \frac{0.6 \times 80 \times 2.01}{1.25} \times 1 = 77.184 \text{ kN}$$

2 tane bulon için : $77.84 \times 2 = 155.68 \text{ kN} > 31.08 \text{ kN}$

Plaka dayanım kontrolü

$$\alpha = \min \left[\frac{e}{3 \times d_0}; \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right]$$

$$\alpha = \min \left[\frac{40}{3 \times 18}; \frac{50}{3 \times 18} - \frac{1}{4}; \frac{100}{36}; 1 \right] = 0.74$$

$$F_{b,Rd} = 2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t_{\min} / \gamma = 2.5 \times 0.74 \times 36 \times 1.6 \times 1.5 / 1.25 = 127.87 \text{ kN}$$

2 tane bulon için : $127.87 \times 2 = 255.74 \text{ kN} > 31.08 \text{ kN}$

Bağ levhası enkesitte net alan :

$$A_{\text{net}} = 9.40 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_M} = \frac{10 \times 23.5}{1.1} = 213.64 \text{ kN} > N_{sd} = 31.08 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0.9 \times A_{\text{net}} \times f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times 9.4 \times 36}{1.25} = 243.65 \text{ kN} > N_{sd} = 31.08 \text{ kN}$$

Bağlantı levhası makas üst başlığına ve gövdesine küt kaynaklı olarak montaj yapılacağından bu levhayı makas üst başlığına bağlayan kaynaklarda tahkike gerek yoktur.

2.12.7 Düşey çapraz bağlantı detayı

Ø 101.6/ Çatı stabilite bağlantısı birleşim detayı

$$N_{sd} = -62.19 \text{ kN}$$

Stabilite elemanında kaynak kontrolü :

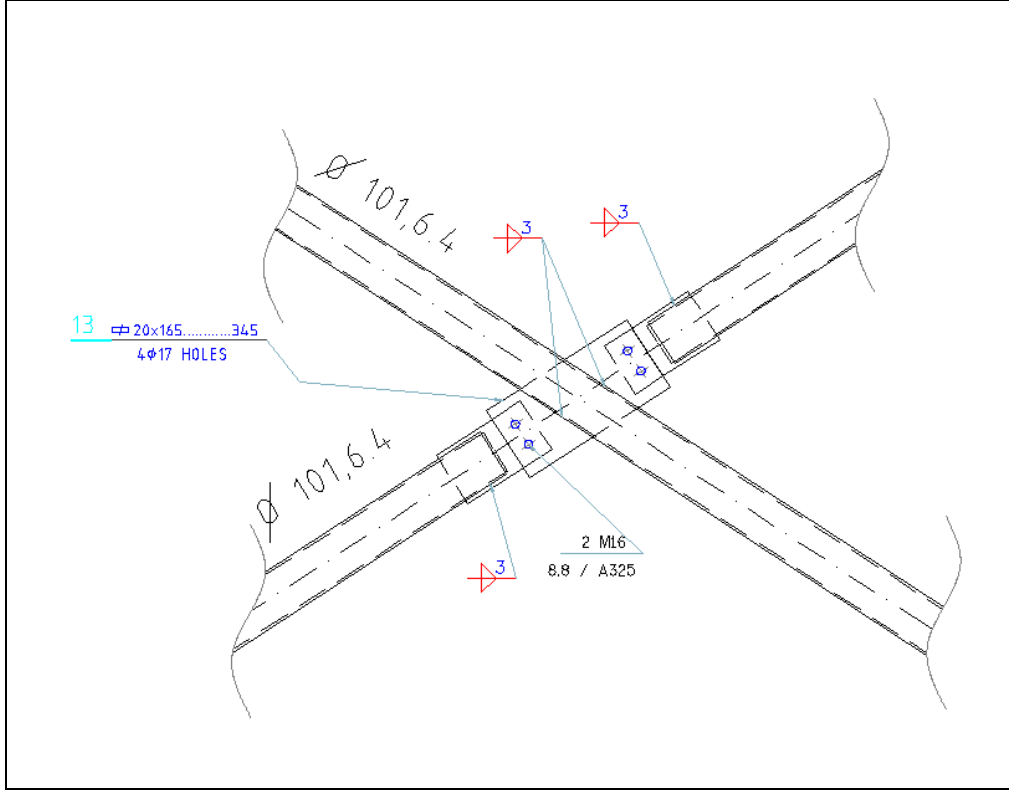
Köşe kaynak kalınlığı $a=3 \text{ mm}$

Kaynak çekme dayanımı $f_u=360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \times a$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{Mw}}$$



Şekil 2.33 : Düşey çapraz bağlantısı detayı

$f_{v,wd}$: kaynak dikişinin tasarım makaslama dayanımı

f_u : birleşimin daha zayıf elemanın nominal çekme dayanımı

β_w : düzeltme katsayısı

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1,25} = 207.8 N / mm^2$$

$$F_{w,Rd} = 207.8 \times 3 = 623.4 N / mm = 6234 N / cm = 6.2 kN / cm$$

Tasarım kriteri;

$$F_{w,Rd} \times l > N_{Sd}$$

Gerekli kaynak boyu l olmak üzere:

$$l = \frac{62.19}{6.2} = 10.03 cm$$

Toplam kaynak boyu $l = 2 \times 15 = 30 cm > 10.03 cm$

Bağ levhasında ve bulonlarda dayanım kontrolü

M 16 8.8 bulon için

Toplam bulon sayısı $n = 2$

Bulon brüt alanı $A_b = 201 \text{ mm}^2$

Bir bulonun dayanımı için hesap aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = 0.60$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha \times f_{ub} \times A_{sm}}{\gamma_{M2}} \times n = \frac{0.6 \times 80 \times 2.01}{1.25} \times 1 = 77.184 \text{ kN}$$

2 tane bulon için : $77.84 \times 2 = 155.68 \text{ kN} > 45.561 \text{ kN}$

Plaka dayanım kontrolü

$$\alpha = \min \left[\frac{e}{3 \times d_0}; \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right]$$

$$\alpha = \min \left[\frac{40}{3 \times 18}; \frac{50}{3 \times 18} - \frac{1}{4}; \frac{100}{36}; 1 \right] = 0.74$$

$$F_{b,Rd} = 2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t_{\min} / \gamma = 2.5 \times 0.74 \times 36 \times 1.6 \times 1.5 / 1.25 = 127.87 \text{ kN}$$

2 tane bulon için : $127.87 \times 2 = 255.74 \text{ kN} > 46.47 \text{ kN}$

Bağ levhası enkesitte net alan :

$$A_{\text{net}} = 9.40 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_M} = \frac{10 \times 23.5}{1.1} = 213.64 \text{ kN} > N_{sd} = 45.56 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0.9 \times A_{\text{net}} \times f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times 9.4 \times 36}{1.25} = 243.65 \text{ kN} > N_{sd} = 45.56 \text{ kN}$$

Bağlantı levhası makas üst başlığına ve gövdesine küt kaynaklı olarak montaj yapılacağından bu levhayı makas üst başlığına bağlayan kaynaklarda tahkike gerek yoktur.

2.12.8 Makas kolon birleşim detayı

- Makas üstbaşlık kolon bağlantı detayı

Diyagonal elemanında kaynak kontrolü :

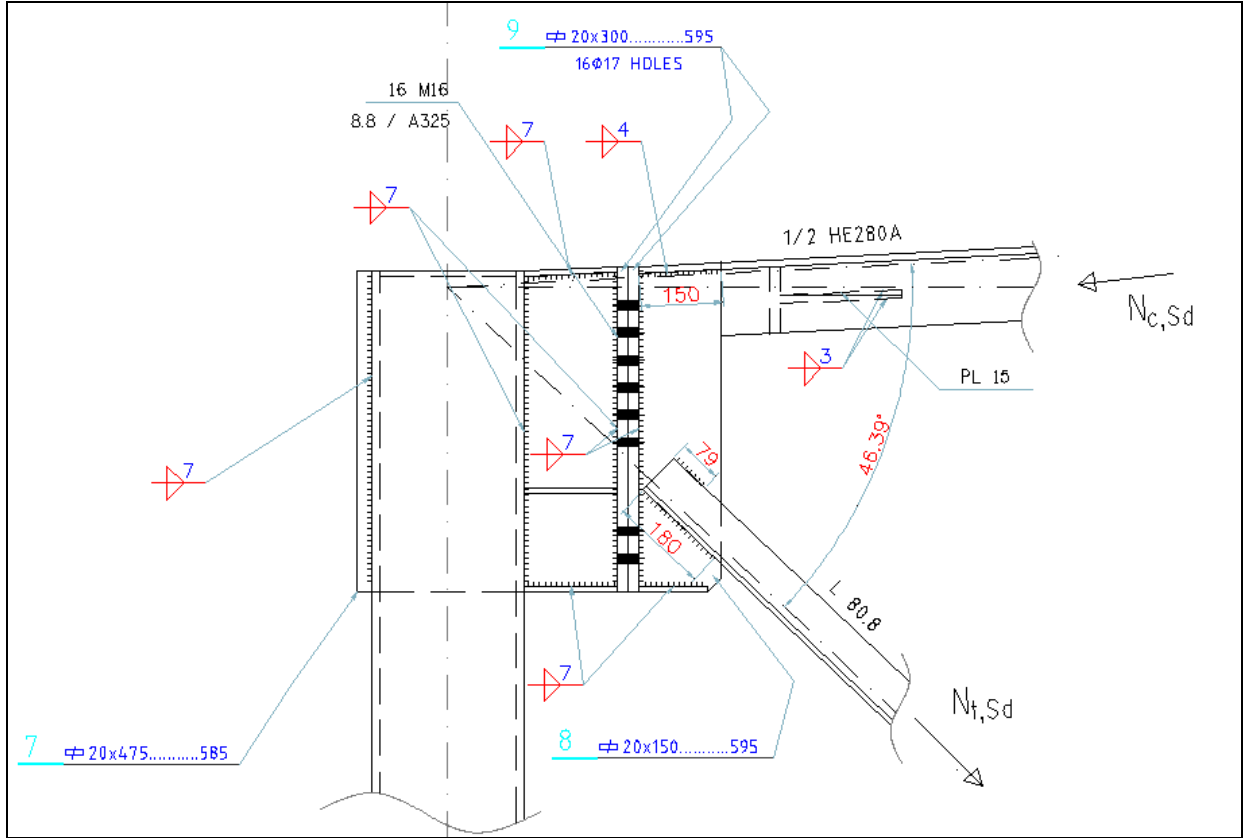
$$N_{t,Sd} = 198 \text{ kN}$$

Köşe kaynak kalınlığı $a=4 \text{ mm}$

Kaynak çekme dayanımı $f_u=360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \times a$$



Şekil 2.34 : Makas üst başlık kolon bağlantısı

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{Mw}}$$

$f_{v,w,d}$: kaynak dikişinin tasarım makaslama dayanımı

f_u : birleşimin daha zayıf elemanın nominal çekme dayanımı

β_w : düzeltme katsayısı

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} = 207.8 \text{ N / mm}^2$$

$$F_{w,Rd} = 207.8 \times 4 = 831.2 \text{ N / mm} = 8312 \text{ N / cm} = 8.3 \text{ kN / cm}$$

Tasarım kriteri

$$F_{w,Rd} \cdot l > N_{Sd}$$

Gerekli kaynak boyu l olmak üzere:

$$l = \frac{198}{8.3} = 23.86 \text{ cm}$$

Toplam kaynak boyu $l = 18 + 7.9 = 25.9 \text{ cm} > 23.86 \text{ cm}$

Makas üst başlığında kaynakların kontrolü:

$$N_{c,Sd} = -129.17 \text{ kN}$$

Köşe kaynak kalınlığı $a=4$ mm

Kaynak çekme dayanımı $f_u=360$ N/mm²

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \times a$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{Mw}}$$

$f_{vw,d}$: kaynak dikişinin tasarım makaslama dayanımı

f_u : birleşimin daha zayıf elemanın nominal çekme dayanımı

β_w : düzeltme katsayısı

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} = 207.8 \text{ N / mm}^2$$

$$F_{w,Rd} = 207.8 \times 4 = 831.2 \text{ N / mm} = 8312 \text{ N / cm} = 8.3 \text{ kN / cm}$$

Tasarım kriteri

$$F_{w,Rd} \cdot l > N_{sd}$$

Gerekli kaynak boyu l olmak üzere:

$$l = \frac{129.17}{8.3} = 15.56 \text{ cm}$$

Toplam kaynak boyu $l = 15 \times 2 = 30 \text{ cm} > 15.56 \text{ cm}$

Alın levhasında ve bulonların dayanımı:

M 16 8.8 bulon için bulon için çekme etkisinde dışdibi alanı $A_s = 157 \text{ mm}^2$

Toplam bulon sayısı $n = 14$

Bir bulonun dayanımı

$$\alpha = 0.60$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha \times f_{ub} \times A_{sm}}{\gamma_{M2}} \times n = \frac{0.5 \times 80 \times 1.57}{1.25} \times 1 = 50.24 \text{ kN}$$

Bulonlara etkiyen toplam kesme kuvveti ;

$$V_d = (198 \times \cos 46) + (129.17 \times \sin 3) = 144.30 \text{ kN}$$

14 tane bulon için : $50,24 \times 14 = 703.36 \text{ kN} > 144.30 \text{ kN}$

Bulonlara etkiyen toplam moment $M_b = 40.25 \text{ kNm}$;

$$I_{bulon} = 4 \times 1.57 \times (8^2 + 16^2 + 24^2) = 5626.88 \text{ cm}^4$$

$$\omega_{bulon} = 5626.88 / 24 = 234.45 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = M / \omega_{bulon} = 4025 / 234.45 = 17.17 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$N_m = 17.17 \times 1.57 = 26.97 \text{ kN}$$

Üstbaşlık ve diyagonal elemandan oluşan bileşke çekme kuvveti ;

$$N_d = (198 \times \sin 46) + (-129.17 \times \cos 3) = 13.44 \text{ kN}$$

Toplam çekme kuvveti ;

$$(13.44 / 14) + 26.97 = 27.93 \text{ kN}$$

M16 8.8 bulon için karakteristik çekme dayanımı ;

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times 80 \times 1.57}{1.25} = 90.43 \text{ kN}$$

$$90.43 \text{ kN} > 27.93 \text{ kN}$$

Plaka dayanım kontrolü

$$\alpha = \min \left[\frac{e}{3 \times d_0}; \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right]$$

$$\alpha = \min \left[\frac{40}{3 \times 22}; \frac{60}{3 \times 22} - \frac{1}{4}; \frac{100}{36}; 1 \right] = 0.60$$

$$F_{b,Rd} = 2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t_{\min} / \gamma = 2.5 \times 0.6 \times 36 \times 1.8 \times 2 / 1.25 = 155.52 \text{ kN}$$

$$16 \text{ tane bulon için : } 155.52 \times 16 = 2488.32 \text{ kN} > 144.30 \text{ kN}$$

Kaynaklarda kontrol $a_k = 7 \text{ mm}$ $l_k = 55 \text{ cm}$

$$\text{Köşe kaynak atalet momenti } W_k = 3144 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = M / \omega_k + N / A = 4025 / 3144 + 40.41 / 77 = 1.80 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\tau = V / A = 144.30 / 77 = 4.8 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$(\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2} = 8.51 \text{ kN} / \text{cm}^2 < 0.75 \times 20.78 = 15.59 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Plaka kalınlığının belirlenmesi ;

Bulon ile plaka üst noktası arası kuvvet kolu mesafe $d' = 40 \text{ mm}$

Bir bulona gelen maksimum çekme kuvveti $Z = 27.93 \text{ kN}$

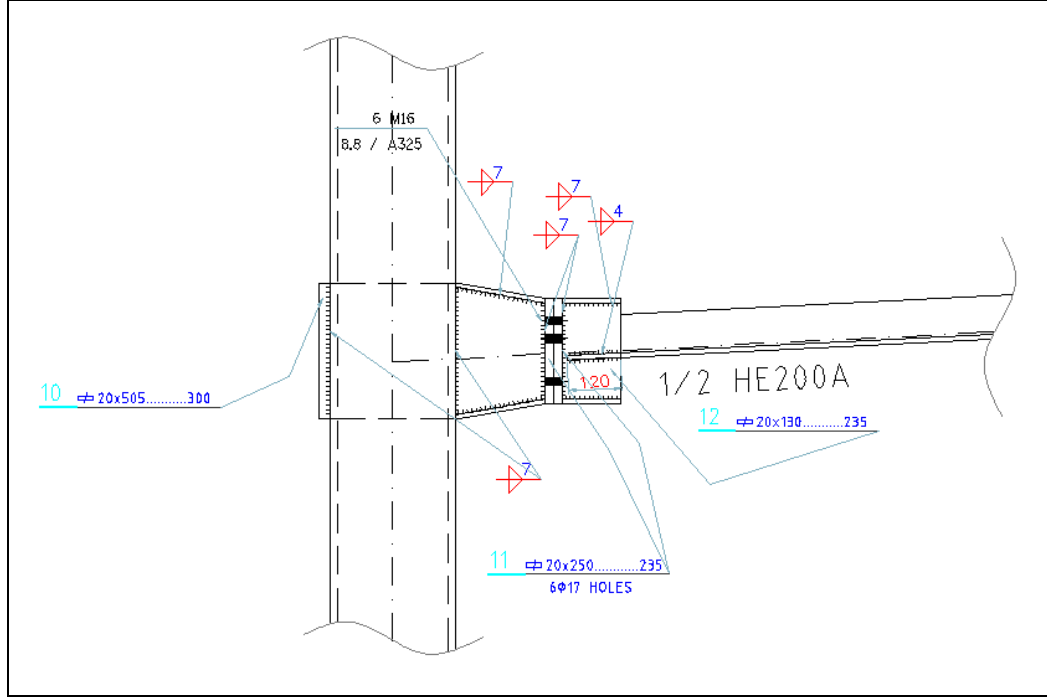
$$M_p = Z \times d' = 111.72 \text{ kN.cm}$$

$$W_{plaka} = b \times t^2 / 6 = 16.67 \times t^2$$

$$\sigma = M / W < 23.5 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$t = (111.72 / (16.67 \times 23.5))^{0.5} = 0.53 \text{ cm} = 5.3 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$$

-Makas alt başlık kolon bağlantısı



Şekil 2.35 : Makas alt başlık kolon bağlantısı

Makas alt başlığında kaynakların kontrolü

$$N_{c,Sd} = -100.27 \text{ kN}$$

Köşe kaynak kalınlığı $a=4 \text{ mm}$

Kaynak çekme dayanımı $f_u=360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \times a$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{Mw}}$$

$f_{vw,d}$: kaynak dikişinin tasarım makaslama dayanımı

f_u : birleşimin daha zayıf elemanın nominal çekme dayanımı

β_w : düzeltme katsayısı

$$f_{vw,d} = \frac{360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} = 207.8 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{w,Rd} = 207.8 \times 4 = 831.2 \text{ N/mm} = 8312 \text{ N/cm} = 8.3 \text{ kN/cm}$$

Tasarım kriteri

$$F_{w,Rd} \cdot l > N_{Sd}$$

Gerekli kaynak boyu l olmak üzere:

$$l = \frac{100.27}{8.3} = 12.08 \text{ cm}$$

Toplam kaynak boyu $l = 15 \times 2 = 30 \text{ cm} > 12.08 \text{ cm}$

Alın levhasında ve bulonların dayanımı

M 16 8.8 bulon için

Toplam bulon sayısı $n = 6$

Bulon gövde brüt alanı $A_b = 201 \text{ mm}^2$

Bir bulonun dayanımı

$$\alpha = 0.60$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha \times f_{ub} \times A_{sm}}{\gamma_{M2}} \times n = \frac{0.5 \times 80 \times 2.01}{1.25} \times 1 = 64.32 \text{ kN}$$

Bulonlara etkiyen toplam kesme kuvveti ;

$$V_d = 100.27 \times \sin 3 = 5.25 \text{ kN}$$

6 tane bulon için : $64.32 \times 6 = 385.92 \text{ kN} > 5.25 \text{ kN}$

Plaka dayanım kontrolü aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = \min \left[\frac{e}{3 \times d_0}; \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right]$$

$$\alpha = \min \left[\frac{40}{3 \times 22}; \frac{60}{3 \times 22} - \frac{1}{4}; \frac{100}{36}; 1 \right] = 0.60$$

$$F_{b,Rd} = 2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t_{\min} / \gamma = 2.5 \times 0.6 \times 36 \times 1.8 \times 2 / 1.25 = 155.52 \text{ kN}$$

6 tane bulon için : $155.52 \times 6 = 933.12 \text{ kN} > 5.25 \text{ kN}$

3. AISC LRFD YÖNETMELİĞİNE GÖRE BOYUTLANDIRMA

3.1 AISC LRFD Yönetmeliğinin Genel Tasarım Esasları [12]

Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü Yük ve Dayanım Katsayılarına göre tasarım Eurocode 3 gibi çelik yapıların boyutlandırılmasında limit durum prensibini ele almaktadır. Yapısal güvenliğin daha gerçek değerini bulabilmek için elemanda, birleşimde veya sistemde ortaya çıkabilecek göçme olasılıkları istatistiksel değerlendirmelere dayanan katsayılar ile tanımlanmaktadır.

Genel olarak yapısal güvenlik koşulu ;

(dayanım azaltma katsayısı x dayanım) $\geq$ (yük artırma katsayısı x yük etkisi)

“Azaltılmış dayanım $\geq$ artırılmış yük” prensibine dayanmaktadır.

Azaltılmış dayanım = Tasarım dayanımı = $R = \phi R_n$

ϕ = Dayanımın belirlenmesindeki belirsizlikleri hesaba katan dayanım azaltma katsayısı

R_n = Karakteristik dayanım

$$S_d \leq R_d \quad (3.2)$$

S_d = Etkilerin tasarım değerleri

R_d = Mukavemet tasarım değerleri

3.2 Malzeme Karakteristik Özellikleri ve Dayanımları

Çelik malzeme kalitelerine göre sınır dayanımlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.1 : ASTM' ye göre bazı çelik kalitelerinin karbon oranı ve mekanik özellikleri.

Çelik cinsi	Mak. Karbon oranı %	Min. Akma dayanımı, N/mm ²	Minimum çekme dayanımı N/mm ²	Kopmada min. Uzama, % (L ₀ = 200 mm)
A 36	0,26	250	400~550	20
A 572 - Gr 42	0,21	290	415	20
A 572 - Gr 50	0,23	345	450	18
A 913 - Gr 50	0,12	345	450	18
A 992	0,23	345~450	450	18

Elastisite modülü (E) = 210000 N/mm²

Kayma modülü (G) = 81000 N/mm²

Poisson Oranı (ν) = 0.30

Isı genleşme katsayısı (α) = 12x10⁻⁶ 1 / °C

Yoğunluk (ρ) = 78.50 kN/m³

3.3 Kısmi Güvenlik Katsayıları

Tasarım yükü veya arttırılmış yük ise aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

Arttırılmış yük = Tasarım yükü = $Q = \sum \gamma_i Q_{ni}$

γ_i = yüklerdeki belirsizlikleri hesaba katabilmek için güvenlik katsayısı

Q_{ni} = sözkonusu elemandaki etkiler

Yük katsayılarının değeri yük tipine ve kombinasyonlarına, ayrıca olası göçme riskine ve önemine bağlı olarak değişmektedir.

Yükler ve dayanımlardaki belirsizlikler ve değişkenlerin farklı değerleri çok sayıda farklı katsayılar ile olasılık teorisini kullanarak hesaba katıldığından, tüm tasarımda sabit bir güvenliğe ulaşılabilmektedir.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (3.2)$$

R_u = gerekli dayanım

R_n = karakteristik dayanım

ϕ = dayanım azaltma katsayısı

R_u gerekli dayanım değeri, arttırılmış işletme yükleri için ($\sum \gamma_i Q_{ni}$) en elverişsiz yük kombinasyonu ile belirlenmiş kesit tesiridir.

Çizelge 3.2 : Dayanım azaltma katsayıları.[12]

Sınır Dayanım		LRFD ϕ dayanım azaltma katsayıları
Çekme	Akma	0.90
	Kırılma	0.75
Basınç		0.90
Eğilme		0.90
Kayma		0.90
Eğilmeli burulmalı burkulma		0.90
Köşe kaynak		0.75
Tam nüfuziyetli küt kaynak		Esas metalle aynı
Kısmi nüfuziyetli küt kaynak	çekmede	0.80
	basınçta	0.80
	kaymada	0.75
Bulonlar		0.75
Blok kayma		0.75
Kiriş - kolon birleşim bölgesinde	Beşlıkta yerel eğilme	0.90
	Gövdede yerel eğilme	1.00
	Gövde buruşması	0.75
	Gövde ötelenme burkulması	0.85
	Gövde basınç burkulması	0.90
	Panel bölgesinde kayma	0.90

3.4 Yükler

Yapı elemanlarının öz ağırlıklarının oluşturduğu sabit yükler, yapının kullanma safhasında ortaya çıkan, hareketli karakterde olan işletme yükleri, kar yükü, deprem yükleri olarak gruplandırılabilir. Demiryolu ve karayolu köprülerinde, endüstri yapılarında kren kirişi ve köprülerinde, su yapılarında yüklerin dinamik ve darbe

etkileri, malzeme yorulması, mesnet çökmesi, ısı etkileri de dikkate alınmalıdır. Tasarımda sabit, işletme, kar, rüzgar ve deprem yüklerinin belirli kombinasyonları yapılarak konstrüksiyonda en elverişsiz kesit etkileri araştırılır.

3.5 Kesit Dayanım Hesabına Esas Enkesit Değerleri [12]

Kesit dayanım hesabına esas olan enkesit değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Kesit dayanım hesabına esas olan enkesit değerleri.

Kesit Etkisi	Gerilme Şekli	Kesit dayanımının hesabında kullanılan enkesit değerleri	
Kesit Etkisi	Gerilme Şekli	N ve V	M_B ve M_T
Normal kuvvet N	Basınç	A_g	
	Çekme	A_e	
Eğilme momenti M_b	Basınç		Z, S
	Çekme		Z, S
Normal kuvvet N ve eğilme momenti M_b	Basınç	A	Z, S
	Çekme	A_e	Z, S
Kesme kuvveti V	Kayma	$A_{gv}, A_{nv}, S, I, t^{*})$	
Burulma Momenti			

A_g : brüt enkesit alanı

A_e : etkili (faydalı) enkesit alanı

A_{gv} : kayma enkesitindeki brüt enkesit alanı

A_{nv} : kayma enkesitindeki net enkesit alanı

S : statik moment

I : atalet momenti

Z : mukavemet momenti

t : kayma gerilmelerini aktaran enkesit kısımlarının kalınlığı

$^{*})$: delik zayıflaması göz önüne alınmamalıdır.

3.6 AISC LRFD Yönetmeliğine Göre Enkesitlerin Sınıflandırılması [12]

Elemanların enkesitleri üç sınıfa ayrılmaktadır.

-Kompakt enkesitler : Enkesitte yerel burkulma oluşmadan önce yeteri kadar plastik dayanım gösterebilen enkesitlerdir.

- Kompakt olmayan enkesitler : Basınç etkisi altında enkesitte kısmen plastikleşme durumuna geçilir, kesit tamamen plastik gerilme dağılımına geçmeden elastik olmayan burkulma görülür.

- Narin enkesitler : Basınç etkisi altında enkesitte plastikleşme oluşmadan elastik burkulma durumu gerçekleşir.

Kesitler yerel burkulma durumuna göre bu 3 sınıfa ayrılırlar.

λ = elemanın genişlik / kalınlık oranı

λ_p = kompakt eleman için sınır değeri

λ_r = kompakt olmayan eleman için sınır değeri olmak üzere, yerel burkulma için eleman sınıfı,

$\lambda \leq \lambda_p$ ise kompakt eleman

$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ ise kompakt olmayan eleman

$\lambda > \lambda_r$ ise narin eleman olarak sınıflandırılır.

3.7 Kesit Dayanımları [12]

3.7.1 Karakteristik çekme dayanımı

Eksenel çekme kuvveti etkisinde bir elemanda, P_a eksenel çekme kuvveti olmak üzere, aşağıdaki koşul sağlanmalıdır.

$$\phi_t P_n \leq P_a \quad (3.3)$$

P_n ; Kesitin eksenel çekme kuvveti kapasitesi olup aşağıdaki iki değerden küçük olanı tasarıma esas olarak kabul edilir.

- Brüt enkesitte hesap edilmesi durumunda ;

$$P_n = F_y \times A_g \quad (3.4)$$

şeklinde hesap edilir.

F_y : Malzeme akma dayanımı

A_g : brüt enkesit alanı

$$\phi_t P_n = 0.90 \times P_n \quad (3.5)$$

- Net enkesitte kopma durumuna göre hesap edilmesi durumunda ;

$$P_n = F_u \times A_{nt} \quad (3.6)$$

şeklinde hesap edilir.

F_u : Malzeme kopma dayanımı

A_{nt} : Net enkesit alanı

$$\phi_t P_n = 0.75 \times P_n \quad (3.7)$$

3.7.2 Basınç dayanımı

3.7.2.1 Narin olmayan elemanlarda eğilmeli basınç dayanımı

Eksenel basınç kuvveti etkisinde bir elemanda, P_c oluşan eksenel basınç kuvveti olmak üzere, aşağıdaki koşul sağlanmalıdır.

$$\phi_c P_n \leq P_c \quad (3.8)$$

P_n ; Kesitin eksenel basınç kuvveti kapasitesi olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_n = F_{cr} \times A_g \quad (3.9)$$

F_{cr} : Kritik akma gerilmesi

-Narin olmayan elemanlarda eğilmeli burkulma dayanımı :

P_n ; Kesitin eksenel basınç kuvveti kapasitesi Denklem 3.9 ile hesaplanır.

λ eleman narinliği olmak üzere, F_{cr} kritik gerilmesi;

$$\lambda = K \times l / r \quad (3.10)$$

$$\lambda \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } F_{cr} = (0.689^{\frac{F_y}{F_e}}) \times F_y \quad (3.11)$$

$$\lambda > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } F_{cr} = 0.877 \times F_e \quad (3.12)$$

şeklinde hesaplanır.

F_e elastik ve inelastik burkulmayı ayıran sınır gerilme değeri olmak üzere ;

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{K \times l}{r} \right)^2} \quad (3.13)$$

şeklinde hesap edilir.

3.7.2.2 Narin olmayan elemanlarda eğilmeli burulmalı burkulma dayanımı

P_n ; Kesitin aksenal basınç kuvveti kapasitesi Denklem 3.9 ile hesaplanır.

-Çift kollu korniyer ve T kesitlerde;

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry}F_{crz}H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right] \quad (3.14)$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g r_0^2} \quad (3.15)$$

şeklinde hesap edilir.

-Diğer tüm durumlarda ;

$$\lambda \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } F_{cr} = (0.689^{\frac{F_y}{F_e}}) \times F_y \quad (3.16)$$

$$\lambda > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } F_{cr} = 0.877 \times F_e \quad (3.17)$$

şeklinde hesap edilir.

o F_e kritik gerilme değeri ise;

▪ Çift simetri eksenine sahip kesitlerde;

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \times \frac{1}{I_x + I_y} \quad (3.18)$$

şeklinde hesap edilir.

▪ Eleman zayıf eksenine göre simetrik kesitlerde;

$$F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right] \quad (3.19)$$

şeklinde hesaplanır.

▪ Simetrik olmayan kesitlerde F_e kritik gerilmesi ise ;

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2(F_e - F_{ey})\left(\frac{x_0}{r_0}\right)^2 - F_e^2(F_e - F_{ex})\left(\frac{y_0}{r_0}\right)^2 = 0 \quad (3.20)$$

denkleminin köklerinin en küçük sayısal değere sahip olanıdır.

C_w : Çarpma katsayısı (mm^6)

$$\bar{r}_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g}$$

$$H = 1 - \frac{x_0^2 + y_0^2}{\bar{r}_0^2}$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{K_x L}{r_x} \right)^2}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{K_y L}{r_y} \right)^2}$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right) \times \frac{1}{A_g \bar{r}_0^2}$$

G : Çelik malzeme kayma modülü (80000 N/mm²)

I_x, I_y : Kesitin zayıf ve güçlü eksenlerine göre atalet momenti (mm^4)

J : Burulma sabiti (mm^4)

K_z : Burulmalı burkulma için eleman efektif boy çarpanı

x_0, y_0 : Kesit ağırlık merkezine göre kayma merkezinin koordinatları (mm)

$\bar{r}_0$: Kesitin kayma merkezine göre polar atalet yarıçapı (mm)

r_y : y eksenine göre kesitin atalet yarıçapı (mm)

3.7.2.3 Tek kollu korniyelerde basınç dayanımı

- Eşit kollu ya da uzun kolundan bağlanan eşit kollu olmayan tek kollu korniyerler tek bir eleman ya da bir düzlem kafes içinde gövde elemanlarını oluşturması durumunda eleman narinliği;

o $0 \leq L/r_x \leq 80$ olması durumunda

$$\frac{KL}{r} = 72 + 0.72 \times \frac{L}{r_x} \quad (3.21)$$

o $L/r_x \geq 80$ olması durumunda

$$\frac{KL}{r} = 32 + 1.25 \times \frac{L}{r_x} \leq 200 \quad (3.22)$$

şeklinde hesaplanır.

-Eşit kollu ya da uzun kolundan bağlanan eşit kollu olmayan tek kollu korniyerler uzay kafes sisteminin çubuk elemanını oluşturması durumunda eleman narinliği;

o $0 \leq L/r_x \leq 75$ olması durumunda

$$\frac{KL}{r} = 60 + 0.8 \times \frac{L}{r_x} \quad (3.23)$$

o $L/r_x \geq 75$ olması durumunda

$$\frac{KL}{r} = 45 + \frac{L}{r_x} \leq 200 \quad (3.24)$$

şeklinde hesaplanır.

3.7.2.4 Narin elemanlarda basınç dayanımı

Eksenel basınç kuvveti etkisinde bir elemanda, P_c eksenel basınç kuvveti olmak üzere, Denklem 2.8 ile verilen dayanım koşulu sağlanmalıdır

P_n ; Kesitin eksenel basınç kuvveti kapasitesi Denklem 2.9 ile hesaplanır.

λ eleman narinliği olmak üzere ; F_{cr} kritik gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\lambda \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{Q \times F_y}} \text{ ise } F_{cr} = (0.658^{\frac{QF_y}{F_e}}) \times F_y \quad (3.25)$$

$$\lambda > 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{Q \times F_y}} \text{ ise } F_{cr} = 0.877 \times F_e \quad (3.26)$$

Kompakt ve kompakt olmayan kesitlerde $Q = 1.0$

Narin kesitlerde $Q = Q_s \times Q_a$

Berkitilmemiş narin enkesitlerde $Q = Q_s$ ($Q_a = 1.0$)

Berkitilmiş narin enkesitlerde $Q = Q_a$ ($Q_s = 1.0$)

Berkitilmemiş narin elemanlar için Q_s indirgeme faktörüdür.

-Hadde profilden oluşan kolon ya da diğer basınç elemanlarının başlık, korniyer ve plakalarında ;

$$\frac{b}{t} \leq 0.56 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } Q_s = 1.0$$

$$0.56 \sqrt{E / F_y} < \frac{b}{t} < 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } Q_s = 1.415 - 0.74 \times \left(\frac{b}{t} \right) \times \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$\frac{b}{t} \geq 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } Q_s = \frac{0.69 \times E}{F_y \times \left(\frac{b}{t} \right)^2}$$

değerini alır.

-Yapma kesitten oluşan kolon yada basınç elemanlarının başlık, korniyer ve plakalarında ;

$$\frac{b}{t} \leq 0.64 \times \sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}} \text{ ise } Q_s = 1.0$$

$$0.64 \times \sqrt{E / k_c F_y} < \frac{b}{t} \leq 1.17 \times \sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}} \text{ ise } Q_s = 1.415 - 0.65 \times \left(\frac{b}{t} \right) \times \sqrt{\frac{F_y}{Ek_c}}$$

$$\frac{b}{t} \geq 1.17 \sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}} \text{ ise } Q_s = \frac{0.90 \times E \times k_c}{F_y \times \left(\frac{b}{t} \right)^2}$$

değerini alır.

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{t_w}}$$

$$0.35 \leq k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \leq 0.76$$

- Tek kollu korniyerlerde

$$\frac{b}{t} \leq 0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } Q_s = 1.0$$

$$0.45 \times \sqrt{E / F_y} < \frac{b}{t} < 0.91 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } Q_s = 1.34 - 0.76 \times \left(\frac{b}{t} \right) \times \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$\frac{b}{t} \geq 0.91 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } Q_s = \frac{0.53 \times E}{F_y \times \left(\frac{b}{t} \right) \times 2}$$

değerini alır.

b : en uzun kolun genişliği (mm)

- T kesitli elemanların gövdesinde ;

$$\frac{d}{t} \leq 0.75 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } Q_s = 1.0$$

$$0.75 \times \sqrt{E / F_y} < \frac{d}{t} < 1.03 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } Q_s = 1.908 - 1.22 \times \left(\frac{d}{t} \right) \times \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$\frac{d}{t} \geq 1.03 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } Q_s = \frac{0.69 \times E}{F_y \times \left(\frac{d}{t} \right)^2}$$

değerini alır.

b : berkitilmemiş basınç elemanının genişliği

d : T kesitli profilde nominal derinlik

t : elemanın kalınlığı

Q_a indirgeme faktörü olmak üzere ; aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_a = \frac{A_{eff}}{A} \quad (3.27)$$

A : eleman brüt enkesit alanı

A_{eff} : indirgenmiş efektif genişlik, b_e genişliğine göre hesaplanmış enkesitteki efektif alanların toplamı

b_e indirgenmiş efektif genişlik olmak üzere ;

- Uniform kalınlıkta kare ve dikdörtgen kesitler hariç uniform basınca çalışan narin elemanlarda ;

$$\frac{b}{t} \geq 149 \times \sqrt{\frac{E}{f}} \text{ ise } b_e = 192t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0,34}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b$$

şeklinde hesaplanır.

$$f = F_{cr}$$

$$Q = 1$$

- Uniform kalınlıkta narin kare ve dikdörtgen kesitli elemanların başlıklarında ;

$$\frac{b}{t} \geq 140 \times \sqrt{\frac{E}{f}} \text{ ise } b_e = 192t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0,38}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b$$

değerini alır.

$$f = P_n / A_{eff}$$

- Eksenel yüklü dairesel kesitlerde ise aşağıdaki denklem geçerlidir.

$$0.11 \times \frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} < 0.45 \times \frac{E}{F_y} \text{ ise } Q = Q_a = \frac{0.038 \times E}{F_y \times (D/t)} + \frac{2}{3}$$

D : dış çap

t : enkesit kalınlığı

3.7.3 Eğilme dayanımı

3.7.3.1 Çift simetri eksenine sahip kompakt I kesitlerin ve U kesitlerin güçlü eksen etrafında dayanımı

Çift simetri eksenine sahip kompakt I kesitlerin ve kompakt U kesitlerin güçlü eksen etrafında eğilme dayanımı akma limit durumunda eğilme dayanımı ve yanal

burulmalı burkulmalı eğilme dayanımı durumlarında elverişsiz olana göre hesap edilir.

-Akma durumunda;

$$M_n = M_p = Z_x \times F_y \quad (3.28)$$

şeklinde hesap edilir.

F_y : çelik akma dayanımı

Z_x : X eksenini etrafında kesit plastik mukavemet momenti

-Yanal burulmalı burkulma durumu :

$L_b \leq L_p$ ise yanal burulmalı burkulma durumu göz ardı edilir.

$L_p < L_b < L_r$ ise ;

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 \times F_y \times S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (3.29)$$

şeklinde hesap edilir.

$L_b > L_r$ ise ;

$$M_n = F_{cr} \times S_x \leq M_p \quad (3.30)$$

şeklinde hesap edilir.

L_b : Yanal doğrultuda elemanın burkulma ve kendi ekseninden kaçmasına karşı mesnetlenmemiş boyu

$C_b = 1.0$

$$F_{cr} = \frac{C_b \times \pi^2 \times E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \times \frac{J_c}{S_x h_0} \times \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2}$$

E : malzeme elastisite modülü

J : Burulma sabiti

S_x : Kesit x eksenini etrafında elastik mukavemet momenti

L_p ve L_r sınır uzunluklar olmak üzere ; aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$L_p = 1.76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_0} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E} \frac{S_x h_0}{J_c} \right)^2}}}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}$$

Çift simetri eksenine sahip I kesitlerde $C = 1$

U kesitlerde ;

$$c = \frac{h_0}{2} \times \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$$

h_0 : Başlık ağırlık merkezleri arası mesafe

3.7.3.2 Çift simetri eksenine sahip I kesitlerin, kompakt gövde kompakt olmayan ya da narin başlıktan oluşması durumunda güçlü eksen etrafında eğilme dayanımı

Çift simetri eksenine sahip I kesitlerin, kompakt gövde kompakt olmayan yada narin başlıktan oluşması durumunda güçlü eksen etrafında eğilme dayanımı yanal burulmalı burkulmalı eğilme dayanımı ve basınç başlığı yerel burkulması durumlarında elverişsiz olana göre hesap edilir.

-Yanal burulmalı burkulma durumu

Çift simetri eksenine sahip kompakt I kesitlerin ve kompakt U kesitlerin güçlü eksen etrafında eğilme dayanımı ile aynı şekilde hesap edilir.

-Basınç başlığı yerel burkulma durumu

Kompakt olmayan başlığa sahip enkesitlerde aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$M_n = \left[M_p - (M_p - (0.7 \times F_y \times S_x)) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (3.31)$$

Narin başlığa sahip enkesitlerde aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$M_n = \frac{0.9 \times E \times k_c \times S_x}{\lambda^2} \quad (3.32)$$

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$$

$$\lambda_{pf} = \lambda_p$$

$$\lambda_{rf} = \lambda_r$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$$

3.7.3.3 Kompakt ve kompakt olmayan I kesitli elemanlarda güçlü eksen

etrafında eğilme dayanımı

Kompakt ve kompakt olmayan I kesitli elemanlarda güçlü eksen etrafında eğilme dayanımı yanal burulmalı burkulmalı eğilme dayanımı, basınç başlığı yerel burkulması ve başlıkta akma dayanımı durumlarında elverişsiz olana göre hesap edilir.

-Basınç başlığı akma durumu için aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$M_n = R_{pc} \times M_{yc} = R_{pc} \times F_y \times S_{xc} \quad (3.33)$$

-Yanal burulmalı burkulma durumu :

$L_b \leq L_p$ ise yanal burulmalı burkulma durumu göz ardı edilir.

$L_p < L_b < L_r$ ise aşağıdaki şekilde hesap edilir.

$$M_n = C_b \left[R_{pc} \times M_{yc} - (R_{pc} \times M_{yc} - F_L \times S_{xc}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_{pc} \times M_{yc} \quad (3.34)$$

$L_b > L_r$ ise aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$M_n = F_{cr} \times S_{xc} \leq R_{pc} \times M_{yc} \quad (3.35)$$

$$M_{yc} = F_y \times S_{xc}$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_x h_0} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2}$$

$$\frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.23 \text{ ise } J = 0$$

$$\frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.7 \text{ ise } F_L = 0.7 F_y$$

$$\frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7 \text{ ise } F_L = F_y \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.5 F_y$$

Akma limit durumunda yanal doğrultuda tutulu olma sınır L_p :

$$L_p = 1.1 r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Yanal burulmalı burkulma durumunda limit durumunda yanal doğrultuda tutulu olma sınır L_p :

$$L_p = 1.95 r_t \frac{E}{F_L} \sqrt{\frac{J}{S_{xc} h_0}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{F_L}{E} \frac{S_{xc} h_0}{J} \right)^2}}$$

Gövde plastikleşme faktörü R_{pc} :

$$\frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw} \text{ ise } R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}}$$

$$\frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw} \text{ ise } R_{pc} = \left[\frac{M_p}{M_{yc}} - \left(\frac{M_p}{M_{yc}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yc}}$$

$$M_p = Z_x \cdot F_y \leq 1.6 S_{xc} F_y$$

S_{xc} , S_{xt} : çekme ve basınç başlıklarına göre kesit elastik mukavemet momentidir.

$$\lambda = \frac{h_c}{t_w}$$

$$\lambda_{pf} = \lambda_p$$

$$\lambda_{rf} = \lambda_r$$

Yanal burulmalı burkulmada efektif atalet yarıçapı r_t ;

-Dikdörtgen basınç başlığına sahip I kesitlerde aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$r_t = \frac{bfc}{\sqrt{12 \left(\frac{h_0}{d} + \frac{1}{6} a_w \frac{h^2}{h_0 d} \right)}}$$

$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}}$$

b_{fc} : basınç başlığı genişliği

t_{fc} : basınç başlığı kalınlığı

L_b : Yanal doğrultuda elemanın burkulma ve kendi ekseninden kaçmasına karşı mesnetlenmemiş boyu olmak üzere ;

$$C_b = 1.0$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J_c}{S_x h_0} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

-Basınç başlığı yerel burkulma durumu

Kompakt başlığa sahip kesitlerde basınç başlığı yerel burkulma durumu göz ardı edilir.

o Kompakt olmayan başlığa sahip kesitlerde aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$M_n = \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L S_{xc}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (3.36)$$

o Narin başlığa sahip kesitlerde aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$M_n = \frac{0.9 E k_c S_{xc}}{\lambda^2} \quad (3.37)$$

-Başlıkta akma durumu :

$S_{xt} \geq S_{xc}$ olması durumunda başlıkta akma durumu göz ardı edilir.

$S_{xt} < S_{xc}$ ise aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$M_n = R_{pt} \times M_{yt} \quad (3.38)$$

$$M_{yt} = F_y S_{xt}$$

$$\frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw} \quad \text{ise} \quad R_{pt} = \frac{M_p}{M_{yt}}$$

$$\frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw} \quad \text{ise} \quad R_{pt} = \left[\frac{M_p}{M_{yt}} - \left(\frac{M_p}{M_{yt}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yt}}$$

$$\lambda = \frac{h_c}{t_w}$$

$$\lambda_{pw} = \lambda_p$$

$$\lambda_{rw} = \lambda_r$$

3.7.3.4 Tek ve çift simetri eksenine sahip narin gövdeli I kesitli elemanlarda güçlü eksen etrafında eğilme dayanımı

Tek ve çift simetri eksenine sahip narin gövdeli I kesitli elemanlarda güçlü eksen etrafında eğilme dayanımı basınç başlığı akma durumunda eğilme dayanımı, yanal

burulmalı burkulmalı eğilme dayanımı, basınç başlığı yerel burkulması ve başlıkta akma dayanımı durumlarında elverişsiz olana göre hesap edilir.

-Basınç başlığı akma durumu için aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$M_n = R_{pg} \times F_y \times S_{xc} \quad (3.39)$$

-Yanal burulmalı burkulma durumu için aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$M_n = R_{pg} \times F_{cr} \times S_{xc} \quad (3.40)$$

$L_b \leq L_p$ ise yanal burulmalı burkulma durumu göz ardı edilir.

$L_p < L_b < L_r$ ise aşağıdaki F_{cr} kritik gerilmesi aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$F_{cr} = C_b \left[F_y - (0.3F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y$$

$L_b > L_r$ ise ise aşağıdaki F_{cr} kritik gerilmesi aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \leq F_y$$

$$L_p = 1.1 r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = \pi r_1 \sqrt{\frac{E}{0.7 F_y}}$$

R_{pg} eğilme dayanımı indirgeme faktörü olmak üzere ;

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300a_w} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0$$

Şeklinde hesaplanır

-Basınç başlığı yerel burkulma durumu için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$M_n = R_{pg} \times F_{cr} \times S_{xc} \quad (3.41)$$

O Kompakt başlığa sahip kesitlerde basınç başlığı yerel burkulma durumu göz ardı edilir.

O Kompakt olmayan başlığa sahip kesitlerde F_{cr} kritik gerilmesi ;

$$F_{cr} = C_b \left[F_y - (0.3F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y$$

şeklinde hesaplanır.

o Narin başlığa sahip kesitlerde F_{cr} kritik gerilmesi ;

$$F_{cr} = \frac{0.9Ek_c}{\left(\frac{b}{2t_f} \right)^2}$$

şeklinde hesaplanır.

$$\lambda = \frac{bf_c}{2tf_c}$$

$$\lambda_{pw} = \lambda_p$$

$$\lambda_{rw} = \lambda_r$$

-Başlıkta akma durumu :

o $S_{xt} \geq S_{xc}$ olması durumunda başlıkta akma durumu göz ardı edilir.

o $S_{xt} < S_{xc}$ ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$M_n = F_y \times S_{xt} \quad (3.42)$$

3.7.3.5 I ve U kesitli elemanların zayıf eksen etrafında eğilme dayanımı

I ve U kesitli elemanların zayıf eksenlerinde eğilme dayanımı akma limit durumuna ve başlıkta yerel burkulma durumuna göre kontrol edilir.

-Akma durumu için aşağıdaki denklem geçerlidir.

$$M_n = M_p = F_y \times Z_y \leq 1.6 \times F_y \times S_y \quad (3.43)$$

-Başlık yerel burkulma durumu :

Kompakt başlığa sahip enkesitlerde akma durumu ile aynı şekilde hesap edilir.

oKompakt olmayan başlığa sahip enkesitlerde

$$M_n = \left[M_p - \left(M_p - (0.7F_y S_y) \right) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (3.44)$$

şeklinde hesap edilir.

oNarin başlığa sahip enkesitlerde

$$M_n = F_{cr} S_y \quad (3.45)$$

şeklinde hesaplanır.

$$F_{cr} = \frac{0.69E}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2}$$

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

$$\lambda_{pf} = \lambda_p$$

$$\lambda_{rf} = \lambda_r$$

3.7.3.6 Kare, dikdörtgen boşluklu kesitli ve kutu kesitli elemanlarda eğilme dayanımı

Kare ve dikdörtgen boşluklu kesitli ve kutu kesitli elemanlarda eğilme dayanımı akma limit durumuna, başlık yerel burkulma durumuna ve gövde yerel burkulma eğilme dayanımı durumuna göre kontrol edilir.

-Akma durumu için aşağıdaki denklem geçerlidir.

$$M_n = M_p = F_y \times Z \quad (3.46)$$

Z: eğilme etkisindeki eksenin plastik mukavemet momenti

-Başlık yerel burkulma durumu :

O Kompakt başlığa sahip enkesitlerde akma durumu ile aynı şekilde hesap edilir.

O Kompakt olmayan başlığa sahip enkesitlerde aşağıdaki denklem geçerlidir.

$$M_n = M_p - \left(M_p - F_y \times S \right) \left(3.57 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4 \right) \leq M_p \quad (3.47)$$

O Narin başlığa sahip enkesitlerde aşağıdaki denklem geçerlidir.

$$M_n = F_y \times S_{eff} \quad (3.48)$$

S_{eff} ; kesitte efektif genişliğe göre hesaplanan kesit efektif mukavemet momentidir.

$$b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0.38}{b/t} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b$$

-Gövde yerel burkulma durumu;

O Kompakt kesite sahip enkesitlerde gövdede yerel burkulma durumu göz ardı edilir.

O Kompakt olmayan gövdeye sahip enkesitlerde aşağıdaki denklem geçerlidir.

$$M_n = M_p - (M_p - F_y \times S_x) \left(0.305 \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0.738 \right) \leq M_p \quad (3.49)$$

3.7.3.7 Dairesel boşluklu kesitlerde eğilme dayanımı

$D/t < 0.45E/F_y$ koşulu sağlanan dairese boşluklu kesitli elemanlarda eğilme dayanımı akma limit durumu ve yerel burkulma durumuna göre hesap edilir.

-Akma durumu içi aşağıdaki denklem geçerlidir.

$$M_n = M_p = F_y \times Z \quad (3.50)$$

-Başlık yerel burkulma durumu :

O Kompakt başlığa sahip enkesitlerde başlık yerel burkulma durumu göz ardı edilir.

O Kompakt olmayan başlığa sahip enkesitlerde ;

$$M_n = \left(\frac{0.021E}{\frac{D}{t}} + F_y \right) S \quad (3.51)$$

şeklinde hesaplanır.

O Narin et kalınlığına sahip enkesitlerde :

$$M_n = F_{cr} \times S \quad (3.52)$$

şeklinde hesaplanır.

$$F_{cr} = \frac{0.33E}{\frac{D}{t}}$$

S : Kesit elastik mukavemet momenti

3.7.3.8 Simetri eksenini ile aynı doğrultuda yüklü T kesitlerde ve çift kollu korniyerlerde eğilme dayanımı

Simetri eksenini ile aynı doğrultuda yüklü T kesitlerde ve çift kollu korniyerlerde eğilme dayanımı akma limit durumu, yanal burulmalı burkulma durumu ve başlık yerel burkulma durumuna göre hesap edilir.

-Akma durumu için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$M_n = M_p = F_y \times Z_x \quad (3.53)$$

$$M_p = F_y \times Z_x \leq 1.6 \times M_y \quad \text{çekme etkisindeki gövdede} \quad (3.54)$$

$$M_p = F_y \times Z_x \leq M_y \quad \text{basınç etkisindeki gövdede} \quad (3.55)$$

Z: eğilme etkisindeki eksenin plastik mukavemet momentidir.

-Yanal burulmalı burkulma durumunda;

$$M_n = M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{EI_y GJ}}{L_b} \left[B + \sqrt{1 + B^2} \right] \quad (3.56)$$

denklemini geçerlidir.

Çekme etkisindeki gövdede ; $B = +\frac{2}{3} \left(\frac{d}{L_b} \right) \sqrt{\frac{I_y}{J}}$ şeklinde hesaplanır.

Basınç etkisindeki gövdede ; $B = -\frac{2}{3} \left(\frac{d}{L_b} \right) \sqrt{\frac{I_y}{J}}$ şeklinde hesaplanır.

OT kesitlerde başlık yerel burkulma durumunda;

$$M_n = F_{cr} \times S_{xc} \quad (3.57)$$

şeklinde hesaplanır.

S_{xc} : Basınç başlığının elastik mukavemet momenti

OKompakt olmayan kesitlerde :

$$F_{cr} = F_y \left(1.19 - 0.50 \left(\frac{b}{2t_f} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right)$$

ONarin kesitlerde :

$$F_{cr} = \frac{0.69E}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2}$$

3.7.3.9 Tek kollu korniyelerde eğilme dayanımı

Tek kollu korniyelerde eğilme dayanımı akma limit durumu, yanal burulmalı burkulma durumu ve kolda yerel burkulma durumuna göre hesap edilir.

-Akma durumu için aşağıdaki denklem geçerlidir.

$$M_n = 1.5 \times M_y \quad (3.58)$$

M_n eğilmeye esas ekseninde akma momenti olarak tanımlanmıştır.

-Yanal burulmalı burkulma durumunda;

$$M_e < M_y \text{ ise } M_n = \left(0.92 - \frac{0.17 \times M_e}{M_y}\right) M_e \quad (3.59)$$

$$M_e > M_y \text{ ise } M_n = \left(1.92 - 1.17 \times \sqrt{\frac{M_y}{M_e}}\right) M_y \leq 1.5 M_y \quad (3.60)$$

şeklinde hesaplanır.

M_e elastik yanal burulmalı burkulma momenti olmak üzere :

oYanal doğrultuda tutulmamış durumlarda :

▪Köşede maksimum basınç durumunda :

$$M_e = \frac{0.66 \times E \times b^4 \times t \times C_b}{L^2} \left(\sqrt{1 + 0.78 \times \left(\frac{L_t}{b^2}\right)^2} - 1 \right) \quad (3.61)$$

şeklinde hesaplanır.

▪Köşede maksimum çekme durumunda :

$$M_e = \frac{0.66 \times E \times b^4 \times t \times C_b}{L^2} \left(\sqrt{1 + 0.78 \times \left(\frac{L_t}{b^2}\right)^2} - 1 \right) \quad (3.62)$$

şeklinde hesaplanır.

oMaksimum momentin olduğu noktada yanal doğrultuda tutulmamış durumlarda :

Yanal doğrultuda tutulmamış durumlarda hesap edilen momentlerin 1,25 katı olarak hesaplanır.

OEşit kollu korniyerlerde güçlü eksen etrafında eğilme durumunda ;

$$M_e = \frac{0.45Eb^4tC_b}{L} \quad (3.63)$$

şeklinde hesaplanır.

OEşit kollu olmayan korniyerlerde güçlü eksen etrafında eğilme durumunda ;

$$M_e = \frac{4.9EI_zC_b}{L^2} \left(\sqrt{\beta_w^2 + 0.052 \left(\frac{L_t}{r_z} \right)^2} + \beta_w \right) \quad (3.64)$$

şeklinde hesaplanır.

L : yanal doğrultuda tutulmamış boy

I_z : Kesit zayıf eksenine göre atalet momenti

r_z : Zayıf eksen etrafında atalet yarıçapı

t : eleman kalınlığı

β_w : korniyerlerde kesit özelliği

-Kolda yerel burkulma durumu :

OKompakt kesitlerde kolda yerel burkulma durumu göz ardı edilir.

OKompakt olmayan kesitlerde;

$$M_n = F_y S_c \left(2.43 - 1.72 \left(\frac{b}{t} \right) \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (3.65)$$

şeklinde hesaplanır.

ONarin et kalınlığına sahip enkesitlerde :

$$M_n = F_{cr} \times S_c \quad (3.66)$$

şeklinde hesaplanır.

$$F_{cr} = \frac{0.71E}{\left(\frac{b}{t} \right)^2}$$

b : kol genişliği

S_c : Köşede basınç etkisi altında eğilme eksen etrafında kesit elastik mukavemet momenti

3.7.3.10 Dikdörtgen ve dairesel dolu kesitlerde eğilme dayanımı

Dikdörtgen ve dairesel dolu kesitlerde eğilme dayanımı akma limit durumuna ve yanal burulmalı burkulma durumuna göre hesap edilir.

-Akma limit durumunda;

O Güçlü eksen etrafında eğilmeye çalışan dikdörtgen dolu kesitlerde

$$\frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{0.08E}{F_y} \text{ olması durumunda, zayıf eksen etrafında eğilmeye çalışan dikdörtgen}$$

dolu kesitlerde ve dairesel dolu kesitlerde;

$$M_n = M_p = F_y \times Z \leq 1.6 \times M_y \quad (3.67)$$

şeklinde hesaplanır.

-Yanal burulmalı burkulma durumu :

$$\text{O } \frac{0.08E}{F_y} < \frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{1.9E}{F_y} \text{ koşulu sağlanan dikdörtgen dolu kesitlerde :}$$

$$M_n = C_b \left[1.52 - 0.274 \left(\frac{L_b d}{t^2} \right) \frac{F_y}{E} \right] M_y \leq M_p \quad (3.68)$$

şeklinde hesaplanır.

$$\text{O } \frac{L_b d}{t^2} > \frac{1.9E}{F_y} \text{ koşulu sağlanan dikdörtgen dolu kesitlerde kesitlerde}$$

$$M_n = F_{cr} \times S_x \leq M_p \quad (3.69)$$

şeklinde hesaplanır.

$$F_{cr} = \frac{1.9EC_b}{\frac{L_b d}{t^2}}$$

t : dikdörtgen dolu gövdeli kesit genişliği

d : kesit yüksekliği

L_b : Basınç bölgesinin yanal doğrultuda tutulu olduğu mesafeler arası uzaklık

3.7.3.11 Simetrik olmayan kesitlerde eğilme dayanımı

Simetrik olmayan kesitlerde eğilme dayanımı akma limit durumu , yanal burulmalı burkulma durumu ve yerel burkulma durumuna göre hesap edilir.

$$M_n = F_n \times S \quad (3.70)$$

-Akma durumu :

$$F_n = F_y$$

-Yanal burulmalı burkulma durumu :

$$F_n = F_{cr} \leq F_y$$

-Yerel burkulma durumu

$$F_n = F_{cr} \leq F_y$$

3.7.4 Kesme dayanımı

V_n enkesitte nominal kesme dayanımı olmak üzere ;

$$V_n = 0.6 \times F_y \times A_w \times C_v \quad (3.71)$$

Enkesitte etkili olan kayma dayanımı V_u olmak üzere ;

$$\phi_v \cdot V_n \geq V_u \quad (3.72)$$

koşulu sağlanmalıdır.

A_w : gövde alanı

I kesitli profillerde $h / t_w \leq 2.24 \sqrt{E / F_y}$ koşulu sağlandığı durumlarda $C_v = 1$ olarak kabul edilir.

Çift ve tek simetri eksenine sahip I kesitli profillerde, U kesitlerde gövde kayma katsayısı C_v :

$$h / t_w \leq 1.10 \sqrt{k_v E / F_y} \text{ ise } C_v = 1$$

$$1.10 \sqrt{k_v E / F_y} < h / t_w \leq 1.37 \sqrt{k_v E / F_y} \text{ ise } C_v = \frac{1.10 \sqrt{k_v E / F_y}}{h / t_w}$$

$$h / t_w > 1.37 \sqrt{k_v E / F_y} \text{ ise } C_v = \frac{1.51 E k_v}{(h / t_w)^2 F_y}$$

k_v gövde plaka burkulma katsayısı olmak üzere :

Berkitilmemiş gövdede:

$$h / t_w < 260 \text{ ise } k_v = 5, \text{ T kesitlerde } k_v = 1.2$$

Berkitilmiş gövdede:

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a+h)^2}$$

$$a/h > 3.0 \text{ yada } a/h > \left[\frac{260}{h/t_w} \right]^2 \text{ olduğu durumlarda } k_v = 5$$

a : enine berkitmeler arası mesafe

h : gövde yüksekliği

3.7.5 Bileşik kuvvetler ve burulma altında eleman dayanımı

3.7.5.1 Eğilme ve eksenel yük etkisi altında dayanım

-Tek ve çift simetri eksenine sahip kesitlerde eğilme dayanımı ;

$$\text{ö } \frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ ise}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{rc}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (3.73)$$

şeklinde hesaplanır.

$$\text{ö } \frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ ise}$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{rc}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (3.74)$$

şeklinde hesaplanır.

P_r : Elemanda etkili olan eksenel kuvvet

P_c : Eleman eksenel kuvvet dayanımı

$$P_c = \phi_c P_n$$

M_r : Elemanda etkili olan eğilme momenti

M_c : Eleman eğilme momenti dayanımı

$$M_c = \phi_b M_n$$

X : Kesit güçlü eksen

Y : Kesit zayıf eksen

ϕ_c = Basınçta dayanım azaltma çarpanı = 0.90

ϕ_b = Eğilmede dayanım azaltma çarpanı = 0.90

Eksenel kuvvetin çekme olması durumunda :

$$P_c = \phi_t P_n$$

ϕ_t = Çekmede dayanım azaltma çarpanı = 0.90

-Elemanda basınç kuvveti ile birlikte sadece tek eksenli eğilme durumu söz konusu ise :

Eğilme düzlemi içinde stabilite tahkiki tek ve çift simetri eksenine sahip elemanlarda eğilme ve basınç dayanımına göre kontrol edilir.

-Düzlem dışına burkulma stabilitesi için aşağıdaki denklem geçerlidir.

$$\frac{P_r}{P_{co}} + \left(\frac{M_r}{M_{cx}} \right)^2 \leq 1.0 \quad (3.75)$$

P_{co} : Eğilme düzlemi dışına burkulmada eleman eksenel kuvvet dayanımı

M_{cx} : Güçlü eksen etrafında yanal burulmalı eğilme dayanımı

3.7.5.2 Burulma, kesme, eksenel kuvvet ve eğilme etkisinde dayanım

$$\left(\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_r}{M_c} \right) + \left(\frac{V_r}{V_c} + \frac{T_r}{T_c} \right)^2 \leq 1.0 \quad (3.76)$$

P_r : Elemanda etkili olan eksenel kuvvet

P_c : Eleman eksenel kuvvet dayanımı

$$P_c = \phi_c P_n$$

M_r : Elemanda etkili olan eğilme momenti

M_c : Eleman eğilme momenti dayanımı

$$M_c = \phi_b M_n$$

X : Kesit güçlü eksen

Y : Kesit zayıf eksen

ϕ_c = Basınçta dayanım azaltma çarpanı = 0,90

ϕ_b = Eğilmede dayanım azaltma çarpanı = 0,90

T_r : Elemanda etkili olan burulma momenti

T_c : Eleman burulma momenti dayanımı

Burulma dayanımı için aşağıdaki denklemler geçerlidir.

$$T_c = \phi_T T_n \quad (3.77)$$

$$T_n = F_{cr} C \quad (3.78)$$

C: Dairesel ve dikdörtgen boşluklu kesitlerde burulma sabiti

F_{cr} elastik burkulma gerilmesi olmak üzere :

Dairesel boşluklu kesitlerde :

$$F_{cr} = \frac{1.23E}{\sqrt{\frac{L}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^{\frac{5}{4}}}}$$

$$F_{cr} = \frac{0.60E}{\left(\frac{D}{t} \right)^{\frac{3}{2}}} \text{ şeklinde hesaplanarak, büyük olan sayısal değer kabul edilir.}$$

$$F_{cr} \leq 0.6F_y$$

L : eleman uzunluğu

D: Dış çap uzunluğu

F_{cr} dikdörtgen boşluklu kesitlerde :

$$h/t \leq 2.45\sqrt{E/F_y} \text{ ise } F_{cr} = 0.6F_y$$

$$2.45\sqrt{E/F_y} < h/t \leq 3.07\sqrt{E/F_y} \text{ ise } F_{cr} = 0.6F_y(2.45\sqrt{E/F_y})(h/t)$$

$$3.07\sqrt{E/F_y} < h/t \leq 260 \text{ ise } F_{cr} = 0.458\pi^2 E / (h/t)^2$$

olarak kabul edilir.

Burulmalı kayma sabiti C konzervatif olarak

$$\text{Dairesel boşluklu kesitte } C = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2}$$

Dikdörtgen boşluklu kesitte $C = 2(B-t)(H-t)t - 4,5(4-\pi)t^3$ kabul edilebilir.

Dairesel ve dikdörtgen boşluklu kesitlerin dışındaki tüm kesitlerde :

Akma durumunda normal gerilme ;

$$F_n = F_y \text{ olarak kabul edilir.}$$

Kayma etkisi altında elemanda kayma gerilmesi ;

$$F_n = 0.6F_y \text{ olarak kabul edilir.}$$

Burkulma durumunda :

$$F_n = F_{cr} \text{ olarak kabul edilir.}$$

3.8 ASCE 7-05 Yönetmeliğine Göre Sisteme Etkiyen Yükler

3.8.1 Düşey yükler

Ölü yükler: (Yatay Düzlemde)

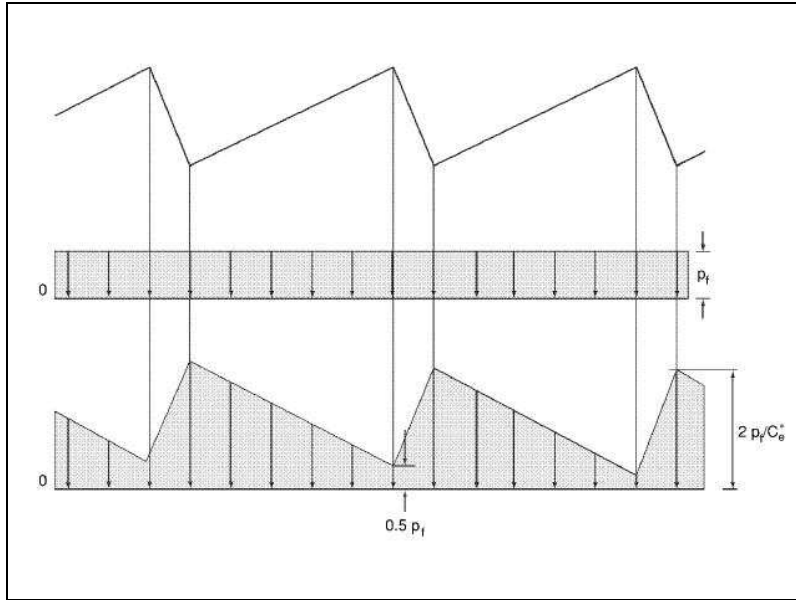
Çatı Kaplaması0.15 kN / m²

Aşık Özağırlığı0.10 kN / m²

3.8.2 Kar yükü

Sisteme etkiyen hareketli yük kar yükü olarak tanımlanabilir. Kar yükü yatay düzlemde 0.75 kN / m² değerine göre hesaplara dahil edilmiştir.[7] Kar yükünün yapıya etkiye esasları için ASCE 7-05 yönetmeliği göz önünde bulundurulmuştur. Kar yükü değeri TS 498 yönetmeliğinde, yer aldığı bölgedeki değerlere göre seçilmiştir. Yapıya kar yükünün etkiye esasları için ASCE 7-05 yönetmeliği yedinci bölümde çok eğimli çatılar kısmında belirtilen dengesiz kar yükü dağılımı durumu dikkate alınmıştır.

Çok eğimli çatılarda kar birikmesi durumu dikkate alınarak en elverişsiz durum göz önüne alınmıştır. [13]

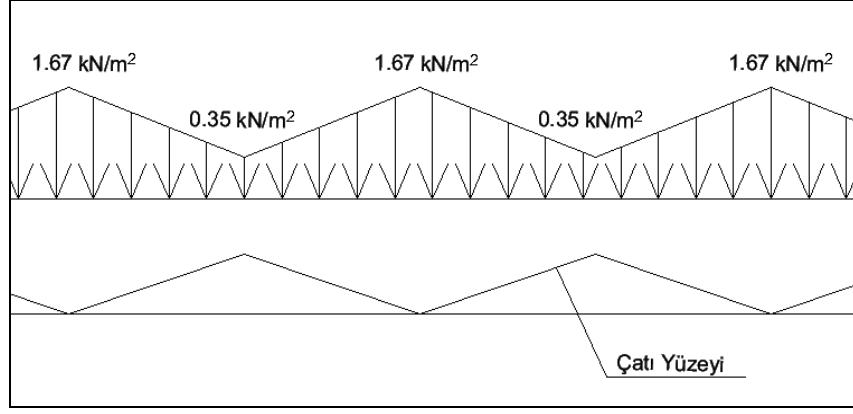


Şekil 3.1 : ASCE 7-05 Çok eğimli çatılarda dengesiz kar yükü dağılımı.

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

$$C_e = 0.9$$

Bu katsayılar sonucunda yükleme durumu aşağıdaki gibi bir hal almaktadır.



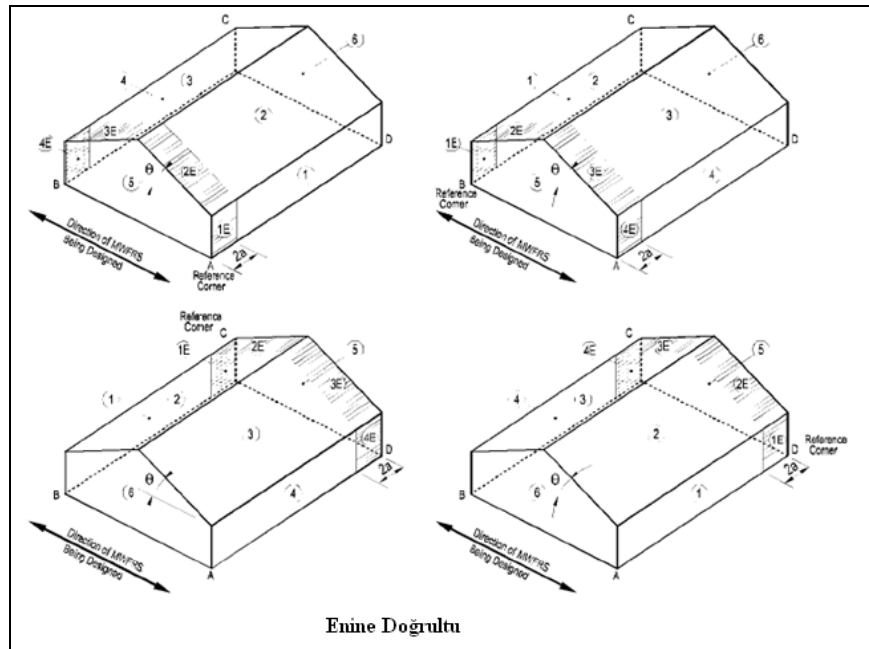
Şekil 3.2 : Yapıya etkiyen kar yüklemesi diyagramı.

3.8.3 Rüzgar yükü

-Enine doğrultuda rüzgar yükü hesabı

Rüzgar Yükü yapı yüksekliği göz önünde bulundurularak 0.5 kN/m^2 alınmıştır. [7] Bu değer TS 498 yönetmeliği göz önüne alınarak hesaplara dahil edilmiştir. ASCE 7-05 yönetmeliğinde Türkiye için bir yük değeri söz konusu olmadığından, yük değeri için TS 498 referans alınmıştır. Yükleme şekli ve etkisi için ASCE 7-05 yönetmeliği referans alınmıştır.

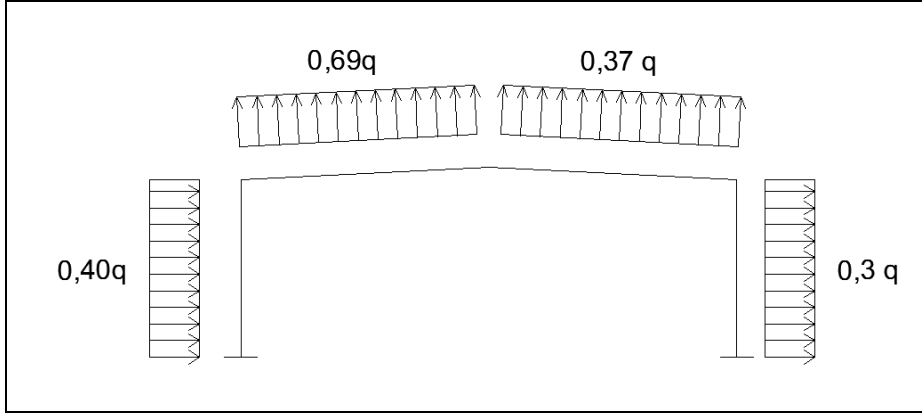
Enine doğrultuda hesap yapılırken, çatı eğimi $\alpha = 2,86^\circ$ değeri göz önünde bulundurularak, kırma çatılara göre hesap edilmiştir. Bunun sonucunda çatı yüzeylerinde aşağıdaki rüzgar dışbasınç katsayıları ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.3 : ASCE 7-05 Çatı düzlemlerine göre rüzgar etki bölgeleri.

Çizelge 3.4 : ASCE 7-05 Çatı düzlemlerine rüzgar dışbasınç katsayıları.

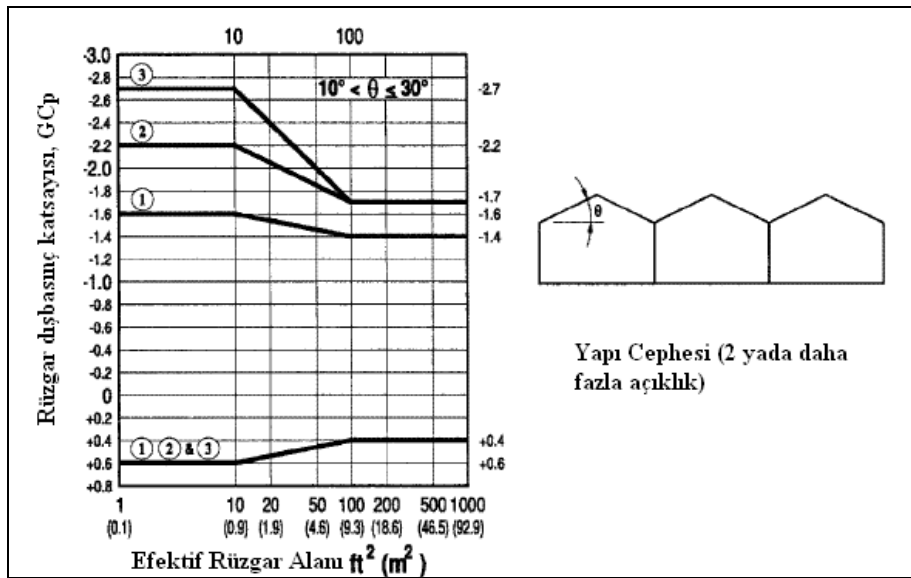
Çatı Eğim Açısı θ	Yapı Yüzeyi									
	1	2	3	4	5	6	1E	2E	3E	4E
0-5	0.40	-0.69	-0.37	-0.29	-0.45	-0.45	0.61	-1.07	-0.53	-0.43
20	0.53	-0.69	-0.48	-0.43	-0.45	-0.45	0.80	-1.07	-0.69	-0.64
30-45	0.56	0.21	-0.43	-0.37	-0.45	-0.45	0.69	0.27	-0.53	-0.48
90	0.56	0.56	-0.37	-0.37	-0.45	-0.45	0.69	0.69	-0.48	-0.48



Şekil 3.5 : Yapı enine doğrultusunda hesaplanan rüzgar dışbasınç katsayıları. [13]

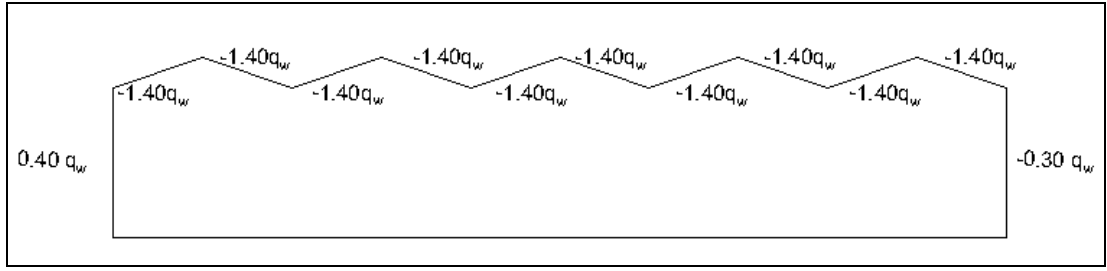
- Boyuna doğrultuda rüzgar yükü hesabı

Yapıya boyuna doğrultuda rüzgar yükü etkisi düşünülürken çatı şet yüzeylerinin etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Çatı şet yüzeyleri ile yatay doğrultu arasındaki açı $\alpha = 20^\circ$ olduğundan dolayı rüzgar yükü etki katsayıları tek ve çift eğimli çatılar için baz alınarak çok açıklıklı çatı etkisine göre katsayılar değiştirilmiştir.



Şekil 3.6 : ASCE 7-05 Şetli çatılarda rüzgar yükü dışbasınç katsayıları.

Çatı şet yüzeylerinde GCp dışbasınç katsayısı -1.40 değerlerine göre hesap edilmelidir.



Şekil 3.7 : Yapıya etkiyen rüzgar yükü dışbasınç katsayıları. [13]

3.8.4 Deprem yükü [13]

Deprem Yüklerinin hesaplanmasında ASCE 7-05 yönetmeliği göz önüne alınmıştır. Yapının deprem hesabı DBYBHY parametrelerinin karşılığı olan değerlere göre düzenlenmiş ve hesaplar buna göre yapılmıştır. [10]

Deprem bölgesi.....	II
Bina önem katsayısı (I).....	1.0
Hareketli yük katılım katsayısı (n).....	0.3
Etkin yer ivmesi katsayısı (A_0).....	0.3
Yerel zemin sınıfı (Z_n).....	Z2
Spektrum karakteristik periyodu (T_A).....	0.15 sn
Spektrum karakteristik periyodu (T_B).....	0.40 sn

ASCE 7-05'e göre yapıya etkiyen taban kesme kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V = C_s \times W \quad (3.79)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

V : Taban kesme kuvveti

S_{DS} : Yapının kısa periyoduna karşılık gelen spektral ivme katsayısı

R : Taşıyıcı sistem davranış modifikasyon katsayısı

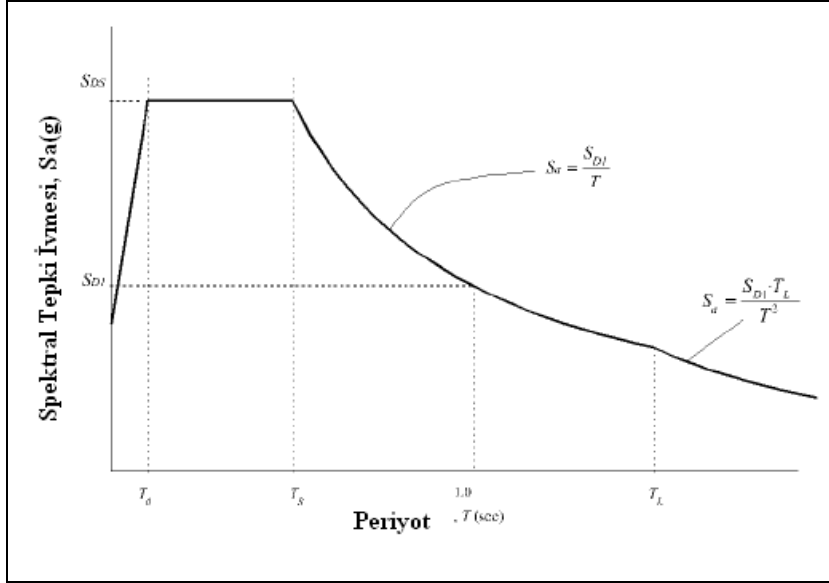
I : Yapı önem katsayısı

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.80)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.81)$$

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (3.82)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (3.83)$$



Şekil 3.8 : ASCE 7-05 Spektrum fonksiyon grafiği.

$$T_0 = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.84)$$

$$T_1 = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.85)$$

S_{DS} : Yapının kısa periyoduna karşılık gelen spektral ivme katsayısı

S_{1S} : Yapının 1s. periyoduna karşılık gelen spektral ivme katsayısı

F_a : Kısa periyoduna karşılık gelen zemin katsayısı

F_v : Uzun periyoduna karşılık gelen zemin katsayısı

$S_{DS} = 2.5$ kabul edilerek konzervatif bir yaklaşımla hesaplama yapılmıştır.

Yapıda yatay yüklerin süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlar tarafından taşındığı yönde taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 3.25$ alınmıştır. Diğer yönde ise

çerçeveler ile karşılandığından dolayı taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 3.50$ kabul edilerek hesap yapılmıştır.

Hesaplarda maksimum yer ivmesi $a_g = 0.3g$ olarak kabul edilmiştir.

Bina önem katsayısı $I = 1$ kabul edilmiştir.

$$W = 927.12 \text{ kN}$$

Yapının X doğrultusundaki hakim periyodu T_{1X} olmak üzere;

$$T_{1X} = 0.11 \text{ s.}$$

$$V_x = C_{sx} \times W$$

$$V_x = C_{sx} \times 927.12$$

$$C_{sx} = 2.5 / (3.25 / 1) = 0.769$$

$$V_x = 0.769 \times 0.3 \times 9.81 \times \frac{927.12}{9.81} = 213.89 \text{ kN}$$

Yapının Y doğrultusundaki hakim periyodu T_{1Y} olmak üzere;

$$T_{1Y} = 0.23 \text{ s.}$$

$$V_y = C_{sy} \times W$$

$$V_y = C_{sy} \times 927.12$$

$$C_{sy} = 2.5 / (3.50 / 1) = 0.714$$

$$V_y = 0.714 \times 0.3 \times 9.81 \times \frac{927.12}{9.81} = 198.59 \text{ kN}$$

Yapıya etkiyen taban kesme kuvveti eşdeğer deprem katsayısı :

Süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perde (X) doğrultusu :

$$C_x = A_0 \times I \times S(T) / R_x = 0.30 \times 1 \times 2.5 / 3.25 = 0.231$$

Süneklik düzeyi normal merkezi çelik çerçeve (Y) doğrultusu :

$$C_y = A_0 \times I \times S(T) / R_y = 0.30 \times 1 \times 2.5 / 3.50 = 0.214$$

3.9 ASCE 7-05 Yönetmeliğine Göre Boyutlama Kombinasyonları

Yapı AISC – LRFD yönetmeliğine göre boyutlanırken aşağıdaki tabloda verilen yük kombinasyonları dikkate alınmıştır. Rüzgar yükünün 2 farklı etkiye durumu bu kombinasyonlarda göz önüne alınarak yapı boyutlandırılmıştır. ASCE 7-05 yönetmeliğinde belirtilen depremli kombinasyonlarda depremin ana etkiye

doğrultusuna olan dik doğrultudaki pozitif ve negatif %30 etkisi de kombinasyonlarda göz önüne alınmıştır. [13]

Çizelge 3.5 : ASCE 7-05 yönetmeliğine göre boyutlama kombinasyonları.

1.4D	0.9D+1.6WXP	1.2D+0.2L+1.0EYN+0.3EXP
1.20D+0.5L	0.9D+1.6WXN	1.2D+0.2L+1.0EYN+0.3EXN
1.20D+1.6L+0.8WXP	0.9D+1.6WYP	0.9D+1.0EXP+0.3EYP
1.20D+1.6L+0.8WXN	0.9D+1.6WYN	0.9D+1.0EXP+0.3EYN
1.20D+1.6L+0.8WYP	1.20D+0.2L+1.0EXP+0.3EYP	0.9D+1.0EXN+0.3EYP
1.20D+1.6L+0.8WYN	1.20D+0.2L+1.0EXP+0.3EYN	0.9D+1.0EXN+0.3EYN
1.20D+0.5L+1.6WXP	1.20D+0.2L+1.0EXN+0.3EYP	0.9D+1.0EYP+0.3EXP
1.20D+0.5L+1.6WXN	1.20D+0.2L+1.0EXN+0.3EYN	0.9D+1.0EYP+0.3EXN
1.20D+0.5L+1.6WYP	1.20D+0.2L+1.0EYP+0.3EXP	0.9D+1.0EYN+0.3EXP
1.20D+0.5L+1.6WYN	1.20D+0.2L+1.0EYP+0.3EXN	0.9D+1.0EYN+0.3EXN
D = Ölü yükler L = Hareketli yükler WXP, WXN = X doğrultusunda pozitif ve negatif rüzgar yükü WYP, WYN = Y doğrultusunda pozitif ve negatif rüzgar yükü EXP, EXN = X doğrultusunda pozitif ve negatif deprem yükü EYP, EYN = Y doğrultusunda pozitif ve negatif deprem yükü		

3.10 Yapısal Kesit Tahkikleri

3.10.1 Aşık kesit tahkiki

Aşık açıklığı $l = 5.0$ m

Aşık aralığı $t = 1.05$ m

Çatı eğimi $\alpha = 20^\circ$

$$P_g = (g_{kap} + g_a) \times t = (0.15 + 0.10) \times 1.05 = 0.2625 \text{ kN/m}$$

$$P_s = Q_k \times t = 1.25 \times 1.05 = 1.31 \text{ kN/m}$$

Rüzgar yükünün çatı şet yüzeylerine uyguladığı çekme etkisi göz önüne alınmamıştır.

Tasarım Yükleri ;

$$P_g + P_k$$

$$q_{ux} = (1.20 P_g + 1.60 P_s) \times \cos \alpha = (1.20 \times 0.2625 + 1.6 \times 1.31) \times 0.94 = 2.27 \text{ kN/m}$$

$$q_{uy} = (1.20 P_g + 1.60 P_s) \times \sin \alpha = (1.20 \times 0.2625 + 1.6 \times 1.31) \times 0.342 = 0.82 \text{ kN/m}$$

Statik sistem ve kesit tesirleri:

Aşıklar üç açıklıklı sürekli kiriş olarak tasarlanmıştır.

$$M_{ux} = -6.14 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 0.75 \text{ kNm}$$

$$V_{ux} = 7.23 \text{ kN}$$

$$V_{uy} = -1.29 \text{ kN}$$

Kesit : UPE 100

$$h = 100 \text{ mm } b = 55 \text{ mm } d = 65 \text{ mm } t_w = 4.5 \text{ mm } t_f = 7.5 \text{ mm } r = 10 \text{ mm}$$

$$Z_x = 48.0 \text{ cm}^3 \quad Z_y = 19.3 \text{ cm}^3 \quad A = 12.5 \text{ cm}^2 \quad I_x = 207 \text{ cm}^4 \quad I_y = 38.3 \text{ cm}^4$$

$$I_t = 2.01 \text{ cm}^4 \quad I_w = 0.53 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3$$

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{b}{t} = \frac{55}{7.5} = 7.33$$

$$\text{Narinlik sınır değeri } \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{210000}{235}} = 10.46$$

$\lambda < \lambda_p$ olduğundan dolayı kesit sınıfı kompakt kesit olarak sınıflandırılır.

$$L_x = 500 \text{ cm} \quad L_y = 250 \text{ cm}$$

$$K_x = K_y = 1$$

Kesit dayanımı :

$$M_{cx} = \phi_b \times M_{nx} = 0.90 \times Z_x \times F_y = 0.90 \times 48 \times 23.5 = 1015.2 \text{ kN.cm}$$

$$M_{cy} = \phi_b \times M_{ny} = 0.90 \times Z_y \times F_y = 0.90 \times 19.3 \times 23.5 = 408.20 \text{ kN.cm}$$

Enkesit dayanım kontrolü :

$$\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} = \frac{614}{1015} + \frac{75}{408} = 0.79 < 1$$

Aşık kesiti yanal burulmalı burkulma durumuna göre kontrol edilirse ;

$$C_b = 1.0$$

$$M_{nx} = C_b \times \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

$$M_{nx} = 1.((48 \times 23.5) - ((48 \times 23.5 - 0.7 \times 23.5 \times 39.97) \times (\frac{250 - 76.81}{445.52 - 76.81}))) = 906.87 \text{ kN.cm}$$

$$M_{cx} = \phi_b \times M_{nx} = 0.9 \times 906.87 = 816.18 \text{ kN.cm}$$

Enkesit dayanım kontrolü :

$$\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} = \frac{614}{816.18} + \frac{75}{408} = 0.94 < 1$$

UPE100 Aşık kesiti için sehim kontrolü;

İşletme Yükleri:

$$P_g + P_s :$$

$$q_{ux} = 1.48 \text{ kN} / m$$

$$q_{uy} = 0.54 \text{ kN} / m$$

Sehim kontrolü de rüzgarlı duruma göre yapılacaktır.

$$f_{ymaks} = 1.80 \text{ cm} < f_{lim} = l / 240 = 500 / 240 = 2.08 \text{ cm}$$

3.10.2 Tali kiriş tahkiki

Makaslar arası tali kirişler aşıklara mesnetlik edip yükü makas düğüm noktalarına aktarmaktadırlar. Kesit tesirleri ve deplasmanlar SAP2000 yapısal analiz programı yardımıyla bulunmuştur. En elverişsiz kesit tesirleri 1.20D+1.6L+0.8WXP kombinasyonunda bulunmuştur. Kesit bu kombinasyona göre boyutlandırılacaktır.

Tasarıma esas olan iç kuvvetler :

$$M_{ux} = 12.18 \text{ kNm}$$

$$P_u = +45.13 \text{ kN}$$

$$V_u = -1.06 \text{ kN}$$

Kesit : IPE 160

$$h = 160 \text{ mm} \quad b = 82 \text{ mm} \quad d = 127.2 \text{ mm} \quad t_w = 5.0 \text{ mm} \quad t_f = 7.4 \text{ mm} \quad r = 9 \text{ mm}$$

$$Z_x = 124 \text{ cm}^3 \quad Z_y = 26.1 \text{ cm}^3 \quad S_x = 109 \text{ cm}^3 \quad S_y = 16.7 \text{ cm}^3$$

$$A = 20.1 \text{ cm}^2 \quad I_x = 869 \text{ cm}^4 \quad I_y = 68.3 \text{ cm}^4$$

$$I_t = 2.01 \text{ cm}^4 \quad I_w = 0.53 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{b}{t} = \frac{38.5}{7} = 5.5$$

$$\text{Narinlik sınır değeri } \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{210000}{235}} = 10.46$$

$\lambda < \lambda_p$ olduğundan dolayı kesit sınıfı kompakt kesit olarak sınıflandırılır.

$$L_x = 744 \text{ cm} \quad L_y = 744 \text{ cm}$$

$$K_x = K_y = 0.5$$

$$r_x = 6.58 \text{ cm} \quad r_y = 1.84 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{K_x L_x}{r_x} = \frac{372}{6.58} = 56.53$$

$$\lambda_y = \frac{K_y L_y}{r_y} = \frac{372}{1.84} = 202$$

$$\lambda_{min} = \lambda_y$$

$$\lambda_{\min} > 4.71 \sqrt{\frac{210000}{235}} = 140.78 \text{ olduğundan dolayı}$$

$$F_{cr} = 0.877 \times F_e$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{\min}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000}{202^2} = 5.08 \text{ kN / cm}^2$$

$$F_{cr} = 0.877 \times 5.08 = 4.46 \text{ kN / cm}^2$$

$$P_c = \phi_c \times P_n = 0.90 \times 20.1 \times 4.46 = 80.68 \text{ kN}$$

$$P_t = \phi_t \times P_t = 0.90 \times 20.1 \times 23.5 = 425.12 \text{ kN}$$

x – x eksenine eğilme momenti büyütme çarpanı ;

$$\beta_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha P_r / P_{c1}}$$

$$C_m = 1.0$$

$$P_{c1} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 869}{372^2} = 1300 \text{ kN}$$

$$\alpha = 1.0$$

$$\beta_1 = \frac{1}{1 - 1(40.7 / 1300)} = 1.03$$

$$M_{ux} = 1.03 \times 6.57 = 6.76 \text{ kN.m} = 676 \text{ kNcm}$$

Kesit dayanımı :

$$M_{cx} = \phi_b \times M_{nx} = 0.90 \times Z_x \times F_y = 0.90 \times 124 \times 23.5 = 2622.6 \text{ kN.cm}$$

$$M_{ux} < \phi_b \times M_{nx} = 0.90 \times Z_x \times F_y = 0.90 \times 124 \times 23.5 = 2622.6 \text{ kN.cm}$$

Yanal burulmalı burkulmada eğilme dayanımı

$$C_b = 1.00$$

$$M_{nx} = C_b \cdot \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

$$M_{nx} = 1.00 \times ((124 \times 23.5) - (124 \times 23.5 - 0.7 \times 23.5 \times 109) \times (\frac{372 - 96}{406 - 96})) = 1916.35 \text{ kN.cm}$$

$$M_{nx} \leq M_p = 1916.35 = 2914 \text{ kN.cm}$$

$$M_{cx} = \phi_b \cdot M_{nx} = 0.90 \times 1916.35 = 1724.72 \text{ kN.cm}$$

Enkesit dayanım kontrolü :

$$\frac{P_u}{P_t} = \frac{P_u}{\phi_t P_n} = \frac{45.13}{425.12} = 0.11$$

$$\frac{P_u}{2P_t} + \frac{M_{ux}}{M_{cx}} = \frac{45.13}{2 \times 425.12} + \frac{1218}{1724.72} = 0.76 < 1$$

3.10.3 Makas alt başlık tahkiki

Kesit : ½ HE200A

$h = 80 \text{ mm}$ $b = 80 \text{ mm}$ $t = 8.0 \text{ mm}$

$A = 26.92 \text{ cm}^2$ $I_x = 132.6 \text{ cm}^4$ $I_y = 667.6 \text{ cm}^4$ $Z_x = 31.92 \text{ cm}^3$ $Z_y = 101.9 \text{ cm}^3$

$r_x = 2.22 \text{ cm}$ $r_y = 4.98 \text{ cm}$

Kesit tesirleri

1.20D+1.6L+0.8WXP kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

$P_u = 473.014 \text{ kN}$

$M_{ux} = 0.195 \text{ kNm}$

Akma durumunda çekme dayanımı;

$$P_n = F_y \times A_g = 26.92 \times 23.5 = 632.62 \text{ kN}$$

Kopma durumunda çekme dayanımı :

$$P_n = F_u \times A_e$$

$$A_e = U \times A_g$$

$$U = 0.90$$

$$A_e = 0.90 \times 26.92 = 24.23 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 36 \times 24.23 = 872.28 \text{ kN}$$

$$P_n = 632.62 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi_t \times P_n = 0.9 \times 632.62 = 569.36 \text{ kN}$$

X eksenini etrafında eğilme dayanımı :

$$M_{nx} = Z_x \times F_y = 23.5 \times 31.92 = 750.12 \text{ kN.cm}$$

$$M_{cx} = \phi_b \cdot M_{nx} = 0.9 \times 750.12 = 675.11 \text{ kN.cm}$$

$$\frac{P_u}{2P_c} + \left(\frac{8}{9} \times \frac{M_{ux}}{M_{cx}}\right) = \frac{473.01}{596.36} + \left(\frac{8}{9} \times \frac{19.5}{675.11}\right) = 0.82$$

3.10.4 Makas üstbaşlık tahkiki

Kesit : ½ HE280A

$h = 135 \text{ mm}$ $b = 280 \text{ mm}$ $d = 98 \text{ mm}$ $t_w = 8 \text{ mm}$ $t_f = 13 \text{ mm}$ $r = 24 \text{ mm}$

$Z_x = 79.34 \text{ cm}^3$ $Z_y = 259 \text{ cm}^3$ $A = 48.63 \text{ cm}^2$ $I_x = 477 \text{ cm}^4$ $I_y = 2381 \text{ cm}^4$

$$r_x = 3.13 \text{ cm } r_y = 7.00 \text{ cm}$$

Kesit tesirleri

$$P_u = -615.48 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 0.35 \text{ kNm}$$

1.20D+1.6L+0.8WXP kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{d}{t} = \frac{9.8}{0.8} = 12.25$$

$$\text{Narinlik sınır değeri } \lambda_p = 0.75 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.75 \times \sqrt{\frac{210000}{235}} = 22.42$$

$\lambda < \lambda_p$ olduğundan dolayı kesit sınıfı kompakt olmayan kesit olarak sınıflandırılır.

$$K_x L_x = 1 \times 250 \text{ cm} = 250 \text{ cm}$$

$$K_y L_y = 2 \times 250 \text{ cm} = 500 \text{ cm}$$

$$r_x = 3.13 \text{ cm } r_y = 7.00 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{K_x L_x}{r_x} = \frac{250}{3.13} = 79.87$$

$$\lambda_y = \frac{K_y L_y}{r_y} = \frac{500}{7} = 71.43$$

$$\lambda_{\min} = \lambda_y = 79.87$$

$$\lambda_{\min} < 4.71 \sqrt{\frac{210000}{235}} = 140.78 \text{ olduğundan dolayı}$$

$$F_{cr} = (0.658^{F_y/F_e}) F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{\min}^2} = \frac{\pi^2 \times 21000}{79.87^2} = 31.86 \text{ kN / cm}^2$$

$$F_{cr} = (0.658^{23.5/31.86}) \times 23.5 = 16.31 \text{ kN / cm}^2$$

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 16.31 \times 48.63 = 793.16 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi_c \times P_n = 0.90 \times 839.25 = 713.84 \text{ kN}$$

$$C_m = 1.00$$

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_1 L_x)^2} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 477}{250^2} = 1581.82 \text{ kN}$$

Birinci mertebe elastik analiz için moment büyütme çarpanı :

$$B_1 = B_2 = \frac{C_m}{1 - \alpha P_u / P_{e1}}$$

$$B_1 = B_2 = \frac{1}{1 - (615.48 / 1581.82)} = 1.64$$

$$M_{nx} = M_p = Z_x \times F_y = 23.5 \times 79.34 = 1864.49 \text{ kN.cm}$$

$$M_{cx} = \phi_b \cdot M_{nx} = 0.9 \times 1864.49 = 1678.04 \text{ kN.cm}$$

$$M_{ux} = \beta_1 \times M_x = 1.64 \times 0.35 = 0.57 \text{ kN.m} = 57 \text{ kN.cm}$$

Enkesit dayanım kontrolü :

$$\frac{P_u}{P_c} = \frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{615.48}{713.84} = 0.86$$

$$\frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9} \times \frac{M_{ux}}{M_{cx}} = \frac{615.48}{713.84} + \frac{8}{9} \times \frac{57}{1678.04} = 0.86 + 0.03 < 0.89$$

3.10.5 Makas dikme elemanlarının tahkiki

$$P_u = -170.30 \text{ kN}$$

Kesit : IPE 160

$$h = 160 \text{ mm } b = 82 \text{ mm } d = 127.2 \text{ mm } t_w = 5.0 \text{ mm } t_f = 7.4 \text{ mm } r = 9 \text{ mm}$$

$$Z_x = 124 \text{ cm}^3 \quad Z_y = 26.1 \text{ cm}^3 \quad A = 20.1 \text{ cm}^2 \quad I_x = 869 \text{ cm}^4 \quad I_y = 68.3 \text{ cm}^4$$

$$I_t = 2.01 \text{ cm}^4 \quad I_w = 0.53 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3$$

$$P_u = -170.30 \text{ kN}$$

Kesit tesirleri

1.20D+1.6L+0.8WXP kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{b}{t} = \frac{38.5}{7} = 5.5$$

$$\text{Narinlik sınır değeri } \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{210000}{235}} = 10.46$$

$\lambda < \lambda_p$ olduğundan dolayı kesit sınıfı kompakt kesit olarak sınıflandırılır.

$$L_x = 250 \text{ cm} \quad L_y = 250 \text{ cm}$$

$$K_x = K_y = 1$$

$$r_x = 6.58 \text{ cm} \quad r_y = 1.84 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{K_x L_x}{r_x} = \frac{250}{6.58} = 38$$

$$\lambda_y = \frac{K_y L_y}{r_y} = \frac{250}{1.84} = 135.87$$

$$\lambda_{\min} = \lambda_y$$

$$\lambda_{\min} < 4.71 \sqrt{\frac{210000}{235}} = 140.78 \text{ olduğundan dolayı}$$

$$F_{cr} = (0.689^{F_y/F_e}) F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{\min}^2} = \frac{\pi^2 \times 21000}{135.87^2} = 11.22 \text{ kN / cm}^2$$

$$F_{cr} = (0.689^{23.5/11.22}) 23.5 = 10.77 \text{ kN / cm}^2$$

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 10.77 \times 20.1 = 216.48 \text{ kN}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{170.30}{0.9 \times 216.48} = 0.87 < 1$$

3.10.6 Makas diyagonallerinin tahkiki

-Kesit : L80.8.8

$$h = 80 \text{ mm } b = 80 \text{ mm } t = 8,0 \text{ mm}$$

$$A = 12,3 \text{ cm}^2 \quad I_x = 72,25 \text{ cm}^4 \quad I_y = 72,25 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 2,43 \text{ cm } r_y = 2,43 \text{ cm}$$

Kesit tesirleri

1.20D+1.6L+0.8WXP kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

$$P_u = 235.75 \text{ kN}$$

Akma durumunda

$$P_n = F_y \times A_g = 289.05 \text{ kN}$$

Kopma durumunda

$$P_n = F_u \times A_e$$

$$A_e = U \times A_g$$

$$U = 0.80$$

$$A_e = 0.80 \times 12.3 = 9.84 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 36 \times 9.84 = 354.24 \text{ kN}$$

$$P_n = 289.05 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi_t \times P_n = 0.9 \times 289.05 = 260.15 \text{ kN}$$

$$\frac{P_u}{\phi_t P_n} = \frac{243}{260.15} = 0.93 < 1$$

-Kesit : L 70.7.7

$$h = 70 \text{ mm } b = 70 \text{ mm } t = 7.0 \text{ mm}$$

$$A = 9.40\text{cm}^2 \quad I_y = 42.30 \text{ cm}^4 \quad I_z = 42.30 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 2.12\text{cm} \quad r_y = 2.12 \text{ cm}$$

Kesit tesirleri

1.20D+1.60L+0.8WXP kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

$$P_u = 142.87 \text{ kN}$$

Akma durumunda

$$P_n = F_y \times A_g = 220.9\text{kN}$$

Kopma durumunda

$$P_n = F_u \times A_e$$

$$A_e = U \times A_g$$

$$U = 0.80$$

$$A_e = 0.80 \times 9.40 = 7.52\text{cm}^2$$

$$P_n = 36 \times 7.52 = 270.72\text{kN}$$

$$P_n = 220.9 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi_t \times P_n = 0.9 \times 220.9 = 198.81\text{kN}$$

$$\frac{P_u}{\phi_t \cdot P_n} = \frac{142.07}{198.81} = 0,72 < 1$$

3.10.7 Kolon kesitinin tahkiki

$$\text{Kesit : } \square 280.280.16$$

$$h = 280 \text{ mm} \quad b = 280 \text{ mm} \quad t_w = 16 \text{ mm} \quad t_f = 16 \text{ mm}$$

$$Z_x = 1675\text{cm}^3 \quad Z_y = 1675 \text{ cm}^3 \quad A = 169\text{cm}^2 \quad I_x = 19700 \text{ cm}^4 \quad I_y = 19700 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 10.79 \text{ cm} \quad r_y = 10.79 \text{ cm}$$

1.20D+1.6L+0.8WXP kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

Kesit Tesirleri ;

$$P_u = -226.08 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 155.90 \text{ kN.m}$$

$$M_{uy} = -0.86 \text{ kN.m}$$

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{b}{t} = \frac{24.8}{1.6} = 15.5$$

$$\text{Narinlik sınır değeri } \lambda_p = 1.12 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.12 \times \sqrt{\frac{210000}{235}} = 33.48$$

$\lambda < \lambda_p$ olduğundan dolayı kesit sınıfı kompakt kesit olarak sınıflandırılır.

$$L_x = 500\text{cm} \quad L_y = 500\text{ cm}$$

$$K_x = 1.2$$

$$K_y = 1.0$$

$$r_x = 10.79\text{ cm} \quad r_y = 10.79\text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{K_x L_x}{r_x} = \frac{600}{10.79} = 55.61$$

$$\lambda_y = \frac{K_y L_y}{r_y} = \frac{500}{10.79} = 46.33$$

$$\lambda_{\min} = 46.33$$

$$\lambda_{\min} < 4.71 \sqrt{\frac{210000}{235}} = 140.78 \text{ olduğundan dolayı}$$

$$F_{cr} = (0.689^{F_y/F_e}) F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{\min}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000}{55.61^2} = 67.02 \text{ kN / cm}^2$$

$$F_{cr} = (0.689^{23.5/67.02}) 23.5 = 20.62 \text{ kN / cm}^2$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 20.62 \cdot 169 = 3484.78 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi_c P_n = 0.90 \times 3484.74 = 3136.30 \text{ kN}$$

$$C_m = 1.00$$

$$P_{c1} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_1 L_x)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 19700}{600^2} = 11341.82 \text{ kN}$$

Birinci merteye elastik analiz için moment büyütme çarpanı :

$$B_1 = B_2 = \frac{C_m}{1 - \alpha P_u / P_{e1}}$$

$$B_1 = B_2 = \frac{1}{1 - 1(226.08 / 11341.82)} = 1.02$$

$$M_{nx} = M_p = Z_x \times F_y = 23.5 \times 1675 = 39362.5 \text{ kN.cm}$$

$$M_{cx} = M_{cy} = \phi_b M_n = 0.9 \times 39362.5 = 35426.25 \text{ kN.cm}$$

$$M_{ux} = \beta_1 \times M_x = 1.02 \times 155.90 = 159.02 \text{ kN.m} = 15902 \text{ kN.cm}$$

$$M_{uy} = \beta_1 M_y = 1.02 \times 0.86 = 0.88 \text{ kN.m} = 88 \text{ kN.cm}$$

Enkesit dayanım kontrolü :

$$\frac{P_u}{P_c} = \frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{226.08}{3136.30} = 0.07$$

$$\frac{P_u}{2P_c} + \frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} = \frac{226.08}{2 \times 3136.30} + \frac{15902}{35426,25} + \frac{88}{35426,25} = 0.49 < 1$$

3.10.8 Çatı çaprazlarının tahkiki

Kesit : O 101.6 x 4

d = 101.6 mm t = 4 mm

$Z_x = 38.1 \text{ cm}^3$ $Z_y = 38.1 \text{ cm}^3$ $A = 12.3 \text{ cm}^2$ $I_x = 146 \text{ cm}^4$ $I_y = 146 \text{ cm}^4$

$r_x = 3.45 \text{ cm}$ $r_y = 3.45 \text{ cm}$

1.20D+1.6L+0.8WXP kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

Kesit Tesirleri ;

$P_u = -25.28 \text{ kN}$

$M_{ux} = 1.02 \text{ kN.m}$

$M_{uy} = -0.24 \text{ kN.m}$

Narinlik oranı $\lambda = \frac{d}{t} = \frac{101.6}{4} = 25.4$

Narinlik sınır değeri $\lambda_r = 0.11 \times \frac{E}{F_y} = 0.11 \times \frac{210000}{235} = 98,29$

$\lambda < \lambda_r$ olduğundan dolayı kesit sınıfı kompakt olmayan kesit olarak sınıflandırılır.

$L_x = 628.5 \text{ cm}$ $L_y = 628.5 \text{ cm}$

$K_x = 1$

$K_y = 0.5$

$r_x = 3.45 \text{ cm}$ $r_y = 3.45 \text{ cm}$

$$\lambda_x = \frac{K_x L_x}{r_x} = \frac{628.5}{3.45} = 182.17$$

$$\lambda_y = \frac{K_y L_y}{r_y} = \frac{0.5 \times 628.5}{3.45} = 91.09$$

$$\lambda_{\min} = 182.17$$

$$\lambda_{\min} > 4.71 \sqrt{\frac{210000}{235}} = 140.78 \text{ olduğundan dolayı}$$

$$F_{cr} = 0.877 \times F_e$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{\min}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000}{182.17^2} = 6.24 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$F_{cr} = 0.877 \times 6.24 = 5.47 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 12.3 \times 5.24 = 64.45 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi_c P_n = 0.90 \times 64.45 = 58.01 \text{ kN}$$

$$C_m = 1.00$$

$$P_{e1x} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_1 L_x)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 146}{628.5^2} = 76.60 \text{ kN}$$

$$P_{e1y} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_1 L_y)^2} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 146}{314.25^2} = 306.42 \text{ kN}$$

Birinci merteye elastik analiz için moment büyütme çarpanı :

$$B_{1x} = \frac{C_m}{1 - \alpha P_r / P_{e1x}}$$

$$B_{1x} = \frac{1}{1 - 1(25.28 / 76.60)} = 1.49$$

$$B_{1y} = \frac{C_m}{1 - \alpha P_r / P_{e1y}}$$

$$B_{1y} = \frac{1}{1 - 1(28.25 / 306.42)} = 1.10$$

$$M_{nx} = M_{ny} = M_p = Z_x F_y = 38.1 \times 23.5 = 895.35 \text{ kN.cm}$$

$$M_{cx} = M_{cy} = \phi_b \times M_n = 0.9 \times 895.35 = 805.82 \text{ kN.cm}$$

$$M_{ux} = \beta_1 \times M_x = 1.49 \times 1.02 = 1.52 \text{ kN.m} = 152 \text{ kN.cm}$$

$$M_{uy} = \beta_1 \times M_y = 1.10 \times 0.24 = 0.26 \text{ kN.m} = 26 \text{ kN.cm}$$

Enkesit dayanım kontrolü :

$$\frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) = \frac{28.25}{58.01} + \frac{8}{9} \left(\frac{152}{805.82} + \frac{26}{805.82} \right) = 0.49 + 0.20 = 0.69 < 1$$

3.10.9 Düşey çaprazların tahkiki

Kesit : O 101.6 x 4

d = 101.6 mm t = 4 mm

$$Z_x = 38.12 \text{ cm}^3 \quad Z_y = 38.12 \text{ cm}^3 \quad A = 12.26 \text{ cm}^2 \quad I_x = 146.28 \text{ cm}^4 \quad I_y = 146.28 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 3.45 \text{ cm } r_y = 3.45 \text{ cm}$$

Kesit Tesirleri ;

1.20D+0.2L+1.0EXN2 kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

Kesit Tesirleri ;

$$P_u = -36.12 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 0.85 \text{ kN.m}$$

$$M_{uy} = 0$$

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{d}{t} = \frac{101.6}{4} = 25.4$$

$$\text{Narinlik sınır değeri } \lambda_r = 0.11 \frac{E}{F_y} = 0.11 \times \frac{210000}{235} = 98.29$$

$\lambda < \lambda_r$ olduğundan dolayı kesit sınıfı kompakt olmayan kesit olarak sınıflandırılır.

$$L_x = 860 \text{ cm } L_y = 860 \text{ cm}$$

$$K_x = 0.5$$

$$K_y = 0.5$$

$$r_x = 3.45 \text{ cm } r_y = 3.45 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{K_x L_x}{r_x} = \frac{430}{3.45} = 142.64$$

$$\lambda_y = \frac{K_y L_y}{r_y} = \frac{430}{3.45} = 124.64$$

$$\lambda_{\min} = 124.64$$

$$\lambda_{\min} < 4.71 \sqrt{\frac{210000}{235}} = 140.78 \text{ olduğundan dolayı}$$

$$F_{cr} = (0.689^{F_y/F_e}) \times F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{\min}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000}{124.64^2} = 13.34 \text{ kN / cm}^2$$

$$F_{cr} = (0.689^{23.5/13.34}) \times 23.5 = 10.90 \text{ kN / cm}^2$$

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 10.90 \times 12.26 = 133.63 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi_c P_n = 0.90 \times 133.63 = 120.27 \text{ kN}$$

$$C_m = 1.00$$

$$P_{e1x} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_1 L_x)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 146.28}{430^2} = 163.97 kN$$

$$P_{e1y} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_1 L_y)^2} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 146.28}{430^2} = 163.97 kN$$

Birinci merteye elastik analiz için moment büyütme çarpanı :

$$B_{1x} = \frac{C_m}{1 - \alpha P_r / P_{e1x}}$$

$$B_{1x} = \frac{1}{1 - 1(36.13 / 163.97)} = 1.28$$

$$B_{1y} = \frac{C_m}{1 - \alpha P_r / P_{e1y}}$$

$$B_{1y} = \frac{1}{1 - 1(36.13 / 163.97)} = 1.28$$

$$M_{nx} = M_{ny} = M_p = Z_x F_y = 38.12 \times 23.5 = 895.82 kN.cm$$

$$M_{cx} = M_{cy} = \phi_b \times M_n = 0.9 \times 895.82 = 806.24 kN.cm$$

$$M_{ux} = \beta_1 \times M_x = 1.28 \times 0.85 = 1.09 kN.m = 109 kN.cm$$

Enkesit dayanım kontrolü :

$$\frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) = \frac{36.12}{120.27} + \frac{8}{9} \times \frac{103.7}{806.24} = 0.30 + 0.12 = 0.42 < 1$$

3.11 Deplasman Kontrolleri

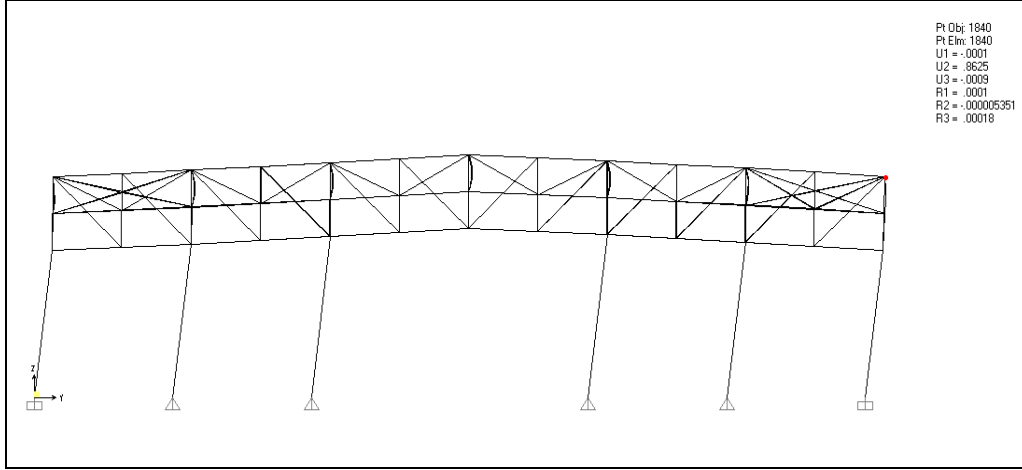
Deplasman kontrolleri arttırılmamış yük birleşimlerine göre AISC - LRFD' de verilen koşullara göre yapılmıştır. [12]

3.11.1 Yatay deplasman kontrolü

Deprem kuvvetinden oluşan deplasmanlar için AISC – LRFD yönetmeliğine göre yapının herhangi bir H yüksekliğindeki noktasındaki yatay yerdeğiştirmeyi ifade eden değer δ olmak üzere;

$$\delta \leq \frac{H}{500} \quad (3.86)$$

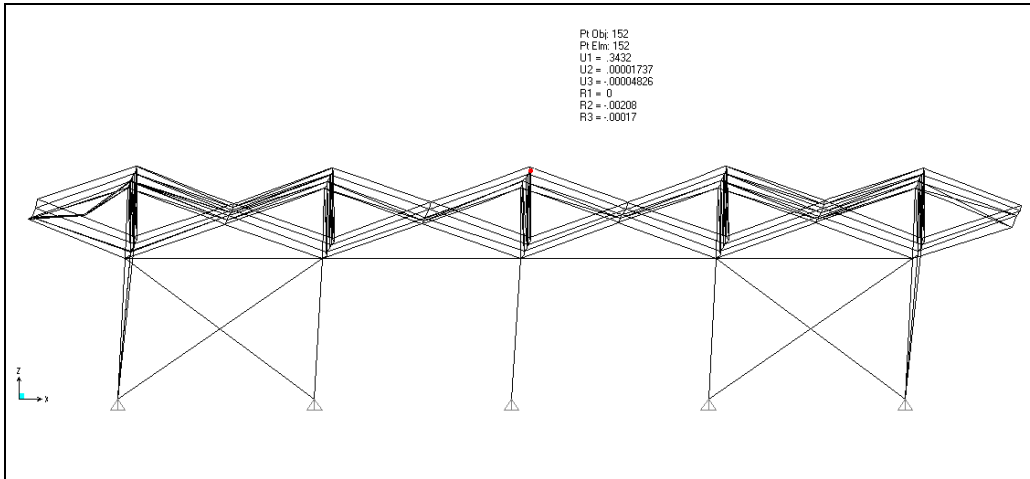
koşulu sağlanmalıdır. [12]



Şekil 3.9 : SAP2000 programında yapının EYP deplasmanı.

$$\delta_{EY} = 0.86 \text{ cm}$$

$$0.86 < 750 / 500 = 1.5 \text{ cm}$$

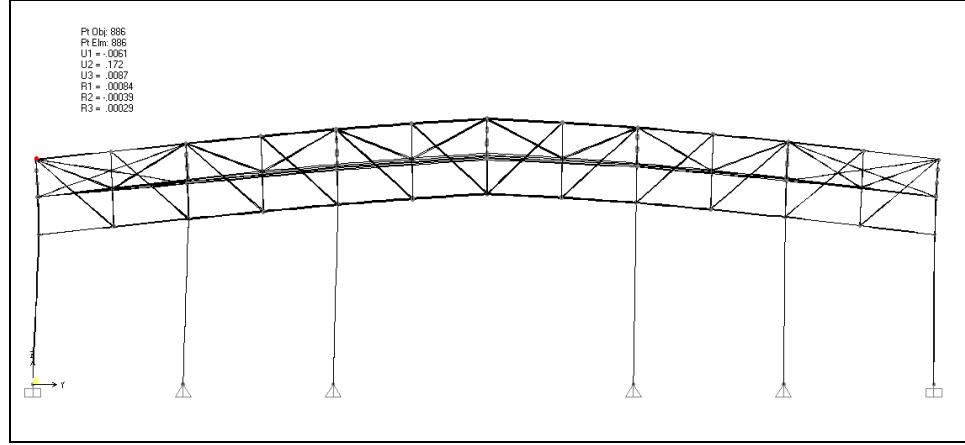


Şekil 3.10 : SAP2000 programında yapının EXP deplasmanı.

$$\delta_{EX} = 0.35 \text{ cm}$$

$$0.35 < 750 / 500 = 1.5 \text{ cm}$$

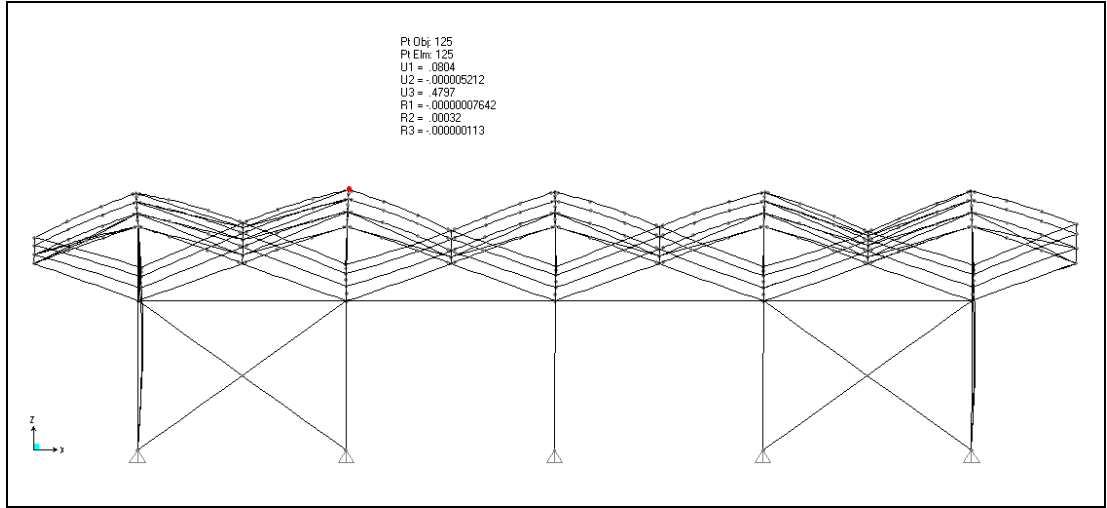
Rüzgar kuvvetlerinden oluşan deplasmanlar için yapılan deplasman kontrolleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.11 : SAP2000 programında yapının WYP deplasmanı.

$$\delta_{WY} = 0.17 \text{ cm}$$

$$0.17 < 750 / 500 = 1.5 \text{ cm}$$



Şekil 3.12 : SAP2000 programında yapının WXP deplasmanı.

$$\delta_{WX} = 0.08 \text{ cm}$$

$$0.08 < 750 / 500 = 1.5 \text{ cm}$$

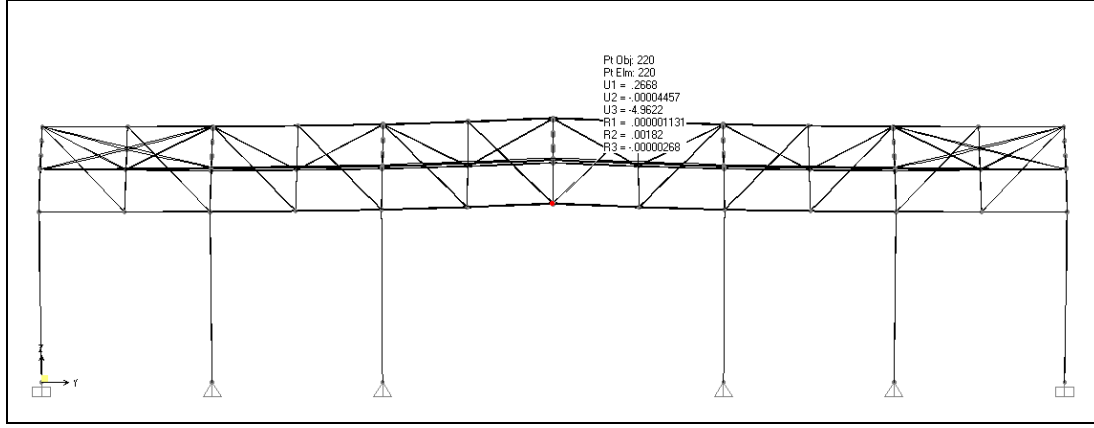
3.11.2 Düşey deplasman kontrolü

1.0D+1.0L durumunda oluşan maksimum düşey deplasman;

$$\Delta_{1.0D+1.0L} = 4.96 \text{ cm' dir.}$$

LRFD'e göre sınır değeri aşağıda verilmiştir. [12]

$$\Delta_{mak} = 4.17 \leq \frac{L}{240} = \frac{3000}{240} = 12.5 \text{ cm}$$



Şekil 3.13 : SAP2000 programında yapının 1.0D+1.0L deplasmanı.

3.12 Birleşimler

3.12.1. Bulonlu birleşimlerin hesabı [12]

Bulonlu birleşimlerin hesabı LRFD bölüm H'a göre hesaplanmıştır. Bu yönetmeliğe göre bulon sınıfları ve dayanımları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.6 : AISC 'ye göre bulon sınıfları ve dayanımları.

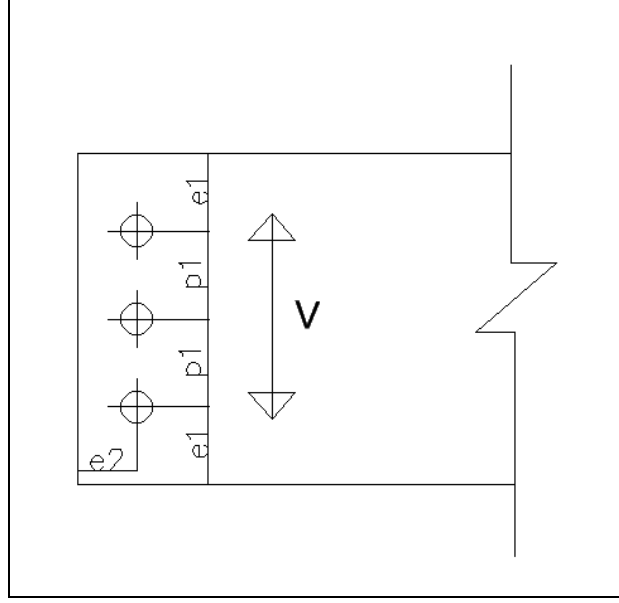
	Bulon dayanımı (N/mm ²)	
	A325	A490
Kullanım Yeri		
Çekme	620	780
Kesme - Dayanmalı birleşimler/kesme dışındakiler ise	330	414
Kesme - Dayanmalı birleşimler/kesme dışındakiler değil ise	414	520

Çizelge 3.7 : AISC 'ye göre bulon çaplarına göre kullanılacak delik çapları.

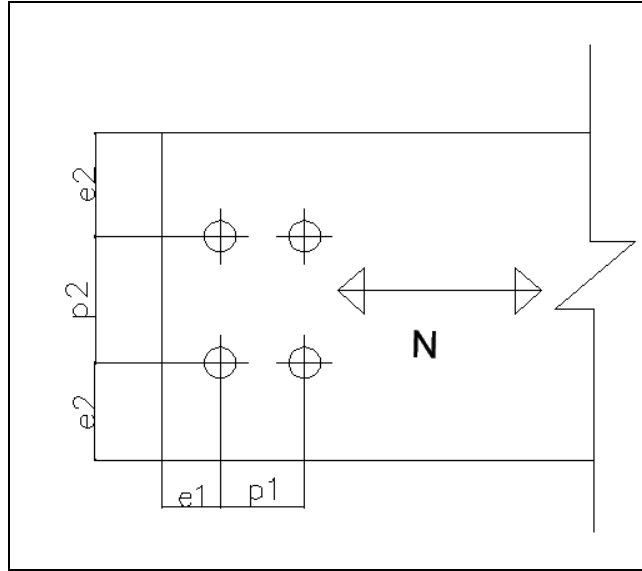
Bulon	M16	M20	M22	M24	M27	M30	≥M36
Delik Çapı	18	22	24	27	30	33	d+3

-Bulon aralıkları:

d_0 delik çapı olmak üzere, yapı elemanında açılan bulon delik çapı aşağıdaki aralıklar içinde bulunmalıdır.



Şekil 3.14 : Kesme kuvvetine maruz birleşimlerde bulon mesafe notasyonları.



Şekil 3.15 : Normal kuvvete maruz birleşimlerde bulon mesafe notasyonları.

d delik çapı olmak üzere, yapı elemanında açılan bulon delik çapı aşağıdaki aralıklar içinde bulunmalıdır.

$$1.75d_0 \leq e_1 \leq \max(14t, 180mm)$$

$$1.75d_0 \leq e_2 \leq \max(14t, 180mm)$$

$$3.0d_0 \leq p_1 \leq \max(12t, 150mm)$$

$$3.0d_0 \leq p_2 \leq \max(12t, 150mm)$$

-Bulon Çekme Dayanımı :

Bir bulonun çekmeye dayanımı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R_n = F_{nt} \times A_s \quad (3.87)$$

R_n : Bir bulonun karakteristik çekme dayanımı

F_{nt} : Bulon karakteristik çekme dayanımı

A_s : Bulon dişdibi enkesit alanı

Bu tür birleşimlerde dayanım azaltma çarpanı $\phi=0,75$ kabul edilir.

$$R_{nt} = \phi \times R_n \quad (3.88)$$

-Bulon Kayma Dayanımı

Bir bulonun her bir kesme yüzeyi için dayanımı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R_n = F_{nv} \times A_b \quad (3.89)$$

R_n : Bir bulonun karakteristik kayma dayanımı

F_{nv} : Bulon karakteristik kayma dayanımı

A_b : Bulon diş açılmamış gövde enkesit alanı

Bu tür birleşimlerde dayanım azaltma çarpanı $\phi=0.75$ kabul edilir.

$$R_{nv} = \phi_v R_n \quad (3.90)$$

-Delik cidarında ezilme dayanımı :

Bulon gövdesi ve delik kenarının temas bölgesindeki dayanımı aşağıdaki gibi ifade edilir:

İşletme yüklerinde bulon deliğinin deformasyonu tasarım koşulu ise:

$$R_n = 1.2 \times F_u \times L_c \times t \quad (3.91)$$

İşletme yüklerinde bulon deliğinin deformasyonu tasarım koşulu değil ise:

$$R_n = 1.5 \times F_u \times L_c \times t \quad (3.92)$$

R_n : Kayma yırtılması için toplam dayanım

F_u : Bağlanan elemanın karakteristik kopma dayanımı

L_c : Delik kenarından birleştirilen kenara uzaklık

t : aynı yönde basınç gerilmesi etkisindeki toplam eleman kalınlığı

Bu tür birleşimlerde dayanım azaltma çarpanı $\phi=0,75$ kabul edilir.

$$R_{nt} = \phi \times R_n \quad (3.93)$$

-Çekme ve kayma kuvveti etkisindeki bulonlu birleşimler

Bir birleşim bölgesinde bulonlar aynı anda çekme ve makaslamaya zorlanıyor ise aşağıdaki karşılıklı etki koşulu sağlanmalıdır :

$$R_n = F'_{nt} \times A_b \quad (3.94)$$

F'_{nt} : Kayma gerilmesi etkisini içeren azaltılmış çekme gerilmesi

A_b : Bulon dış açılmamış gövde enkesit alanı

$$F_{nt} = 1.3F_{nt} - \frac{F_{nt}}{F_{nv}} f_v \leq F_{nt} \quad (3.95)$$

F_{nt} : Bulon karakteristik çekme dayanımı

F_{nv} : Bulon karakteristik kayma dayanımı

f_v : işletme yüklerinden dolayı bulonda oluşan kayma gerilmesi

Çekme kuvveti etkisindeki kayma kontrollü birleşimlerde kayma dayanımı k_s faktörü ile çarpılır.

$$k_s = 1 - \frac{1.5T_a}{D_u T_b N_b} \quad (3.96)$$

N_b : Etkiyen çekme kuvvetini taşıyan bulon sayısı

T_a : İşletme yüklerinden hesaplanmış çekme kuvveti

T_b : Bulona verilen minimum önçekme kuvveti

D_u : 1.13

-Yüksek mukavemetli bulonlarla yapılan kayma dayanımlı birleşimler

Kayma dayanımlı birleşimlerde bir öngerme kuvveti ile gerilerek, birleştirilen parçaların özel olarak işlenmiş temas yüzeylerinde bulon eksenine dik sürtünme ile aktarılır.

$$R_n = \mu D_u h_{sc} T_b N_s \quad (3.97)$$

h_{sc} : delik etkisi,

Bulon ile delik arasında normal boşluk var ise k_s : 1.0

Bulon ile delik arasında aşırı büyük boşluk veya kısa kayıcı delik olması durumunda k_s : 0.85

Uzun kayıcı delik olması durumunda k_s : 0.70

T_B : bulona verilen minimum önçekme kuvveti

N_s : kayma düzlemi sayısı

D_u : 1.13

μ katsayısı ise yüzey durumuna göre belirlenen bir katsayıdır.

Boyanmamış yumuşatılmış yüzeylerde $\mu=0.35$, boyanmamış yıkanmış yüzeylerde $\mu=0.50$ değerini alır.

3.12.1 Kaynaklı birleşimlerin hesabı [12]

Kaynaklı birleşimler köşe kaynak ve küt kaynak olarak ikiye ayrılmaktadır.

-Köşe kaynak dikişinin dayanımı :

Köşe kaynak dikişlerinde etkili alan, etkili hesap kalınlığı ile etkili hesap uzunluğunun çarpımına eşittir.

$$A_w = a \times L = 0.707 \times L \times w \quad (3.98)$$

a : kaynak dikişinin etkili kalınlığı

w : köşe kaynak dikişi etkili kenar boyu

L : köşe kaynak etkili uzunluğu

Köşe kaynak etkili kalınlığı kaynak yapılacak yüzeyler arasındaki açı 80° ile 100° olan köşe kaynaklarda, üçgen enkesitli kaynak dikişinin kökünden kaynak yüzeyine en kısa uzaklık olarak tanımlanmaktadır. Sismik yük etkisindeki birleşimlerde köşe kaynak enkesitinin minimum kenar boyutu 5mm olarak önerilmektedir.

Köşe kaynak enkesiti minimum kenar boyutu aşağıdaki tablodaki sınır değerler içinde olmalıdır.

Çizelge 3.8 : AISC 'ye göre minimum kaynak kalınlıkları.

Birleştirilen kalın parça kalınlığı (mm)	minimum kenar boyutu, w (mm)
$t \leq 6$	3
$6 < t \leq 13$	5
$13 < t \leq 19$	6
$19 < t$	8

Esas metal kalınlığına bağlı olarak uygulanabilecek maksimum köşe kaynak kenar boyutu için aşağıdaki sınırlamalar verilmektedir:

- Kalınlığı 6mm'den ince ise esas metalde köşe kaynak dikişi enkesitinin kenar boyutu esas metalin kalınlığı kadar olmalıdır.

- Kalınlığı 6mm'den fazla olan esas metaller için ise köşe kaynak dikiş enkesitinin kenar boyutu esas metalin kalınlığından 2mm daha az olmalıdır. Köşe kaynaklarda etkili uzunluk uç dönmeleri de dahil edilerek çekilen köşe kaynak dikişinin toplam uzunluğudur. Köşe kaynaklar kaynak işleminin başlangıç ve bitiş noktalarında genellikle kaynağın daha ince ve daha düşük dayanımlı olmasına sebep olan bu kaynak kusurlarının oluşmasına elverişlidir. Krater kayıpları olarak isimlendirilen bu kısımlar köşe kaynağın etkili uzunluğunda göz önüne alınmamaktadır.

Minimum etkili kaynak uzunluğu köşe kaynak enkesiti kenar boyutunun 4 katı olmalıdır.

Maksimum etkili uzunluk eksenel yüklü elemanlarda uç birleşimlerinde boyuna doğrultuda yüklenmiş köşe kaynaklarda etkili kaynak uzunluğu:

$$L=100w \text{ ise } L_e=L$$

$$100w < L \leq 300w \text{ ise } L_e=\beta L$$

$$\beta = 1.2 - 0.002(L / w) \leq 1.0 \quad (3.100)$$

L_e : etkili köşe kaynak uzunluğu, mm

L : gerçek köşe kaynak uzunluğu, mm

w : kaynak enkesiti kenar boyutu, mm

Kaynak uzunluğu kaynak enkesiti kenar boyutunun 300 katını aşarsa, $\beta=0.60$ alınmalıdır.

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w \quad (3.101)$$

$$F_w = 0.60 \times F_{EXX} \times (1 + 0.5 \times \sin^{1.5} \theta) \quad (3.102)$$

Köşe kaynakta maksimum kayma dayanımı kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımının 0.6 katı olarak verilmektedir.

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm²)

F_{EXX} : kaynak elektrodu sınıflandırma kodu

θ : kaynak boyuna doğrultusu ile yükleme ekseninin yaptığı açı

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı, (N/mm²)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm²)

Hesaplarda kaynak elektrodu dayanımı esas metal kopma dayanımı ile aynı değerde olduğu varsayılarak hesap yapılmıştır. Bu durumda köşe kaynak dayanımı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$R_n = F_w \times A_w = (0.6 \times F_E) \times A_w \quad (3.103)$$

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı , (N/mm²)

-Küt kaynak dikişinin dayanımı

Küt kaynak dikişlerinde dikiş kalınlığı birleştirdiği elemanların en incisinin kalınlığına eşittir. Küt kaynak dikişlerinde dikiş boyu birbirine kaynaklanan elemanlarının genişliğine eşittir.

Tam nüfuziyetli bir küt kaynak dikişinin tasarım mukavemeti birleştirdiği parçalardan zayıf olanının tasarım dayanımına eşittir. Burada kaynak dikişinin,

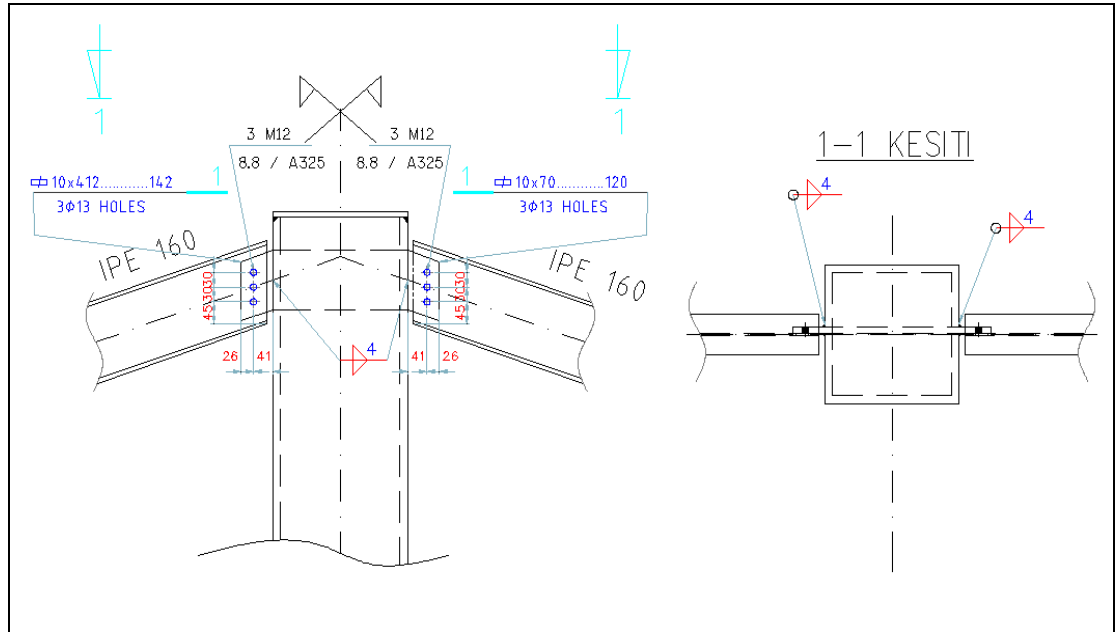
uygun bir elektrodla çekildiği ve akma ve kopma gerilmesi değerlerinin en az kaynaklı numunelerle yapılan çekme deneylerinde, çeliğin akma ve kopma değerlerinde olduğu kabul edilir.

Kısmi nüfuziyetli küt dikişlerin tasarım dayanımı köşe kaynaklarında olduğu gibi hesaplanır.

Çizelge 3.9 : AISC 'ye göre kaynak dikişi dayanım azaltma katsayıları.

Sınır Dayanım		LRFD ϕ dayanım katsayıları
Köşe kaynak		0.75
Tam nüfuziyetli küt kaynak		Esas metalle aynı
Kısmi nüfuziyetli küt kaynak	çekmede	0.80
	basıncıta	0.80
	kaymada	0.75

3.12.3 IPE160 Tali kiriş bağlantı detayı



Şekil 3.16 : Tali kiriş bağlantısı detayı.

Kesit : IPE 160

$h = 160 \text{ mm}$ $b = 82 \text{ mm}$ $d = 127.2 \text{ mm}$ $t_w = 5.0 \text{ mm}$ $t_f = 7.4 \text{ mm}$ $r = 9 \text{ mm}$

Bağlantı levhası kalınlığı $t_p = 10 \text{ mm}$

Bulon çapının kontrolü $d = \sqrt{5xt_{\min}} - 0,2 = \sqrt{5 \times 0,56} - 0,2 = 1,47 \text{ cm}$

Tali kiriş kesitinde $P_u = 35.99 \text{ kN}$

IPE 200 $A = 28.5 \text{ cm}^2$

Bağlantı levhasında dayanım kontrolü

Akmada çekme dayanımı:

$$R_n = \phi \times F_y \times A_g = 0.90 \times 23.5 \times 7.1 = 148.05 > P_u = 35.99 \text{ kN}$$

Kırılmada çekme dayanımı:

$$R_n = \phi \times F_u \times A_e = 0.90 \times 36 \times (1 \times (7 - 1 \times 1.4)) = 181.44 > P_u = 35.99 \text{ kN}$$

Gövdede bir bulonun dayanımı:

M12 bulonunda gövde alanı,

$$A_b = 113 \text{ mm}^2$$

M12 (A 325) için karakteristik kayma dayanımı

Tek bir kayma düzlemi için;

$$R_n = F_{nv} \times A_b = 414 \times 113 \times 10^{-3} = 46.78 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 46.78 \times 2 = 70.17 \text{ kN}$$

3 tane bulon için : $70.17 \times 3 = 210.51 \text{ kN} > 35.99 \text{ kN}$

Birleşimde ezilme kontrolü:

$$R_n = 1.2 L_c t F_u$$

$L_c = 32 \text{ mm}$ (dış bulon için)

$L_c = 30 \text{ mm}$ (ara bulon için)

$t_w = 5.6 \text{ mm}$

$F_u = 360 \text{ N/mm}^2$

$$R_n = 1.2 \times 30 \times 5.6 \times 360 = 72576 \text{ N} = 72.576 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 72.58 = 54.43 \text{ kN}$$

3 tane bulon için : $54.43 \times 3 = 163.29 \text{ kN} > 35.99 \text{ kN}$

$V_u = 8.9 \text{ kN}$ kesme etkisi ile birlikte düşünüldüğünde ;

Tali kiriş gövdesinde bir bulona gelen kuvvet ;

$e = 40 \text{ mm}$ eksantrisite

$$M_u = 8.9 \times 4 = 35.6 \text{ kN.cm}$$

$$N_m = 35.6 / 6 + (35.99 / 3) = 17.93 \text{ kN}$$

$$N_v = 8.9 / 3 = 2.97 \text{ kN}$$

$$N_u = \sqrt{17.93^2 + 2.97^2} = 18.17 \text{ kN}$$

$$N_u < R_{nv}$$

Bağlantı plakasını kolon gövdesine bağlayan kaynaklarda kontrol

Köşe kaynak kalınlığı $a=4$ mm

Kaynak metali çekme dayanımı $f_u=360$ N/mm²

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w = (0.60 \times F_E) \times A_w$$

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm²)

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı , (N/mm²)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm²)

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N / mm}^2$$

$$A_w = 100 \times 4 = 400 \text{ mm}^2$$

$$R_n = F_w \times A_w = 216 \times 400 = 86400 \text{ N} = 86.4 \text{ kN}$$

Tasarım kriteri

$$\phi_v \times R_n \geq V_u$$

$$\phi_v = 0.75$$

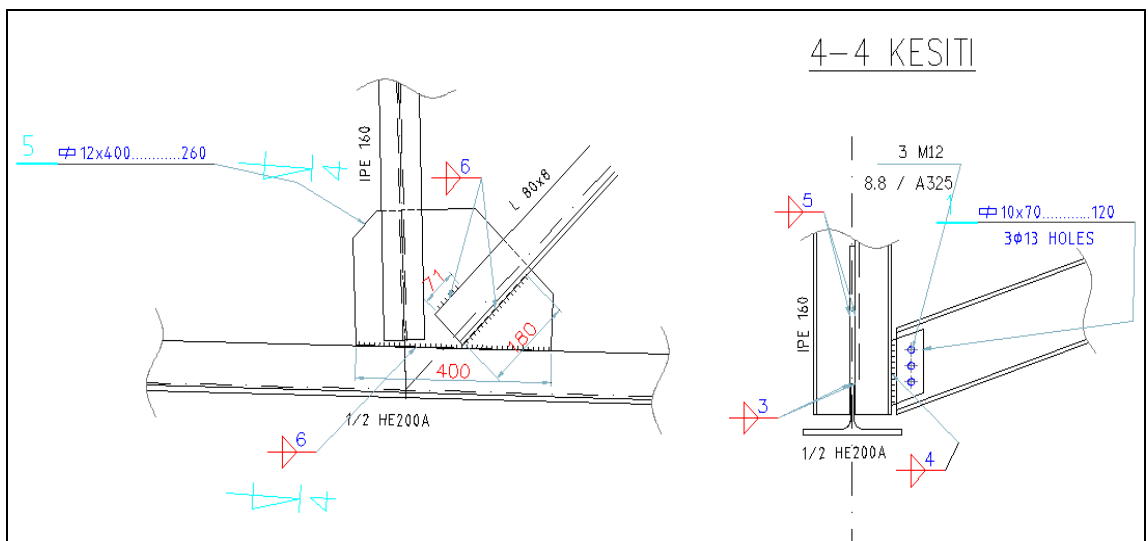
$$0.75 \times 86.4 = 64.8 > 8.9 \text{ kN}$$

3.12.4 Makas diyagonal IPE 160 dikme bağlantı detayları

- L 80.8 diyagonal IPE 160 dikme bağlantı detayı

$$N_1 = 173.6 \text{ kN}$$

$$N_2 = 243 \text{ kN}$$



Şekil 3.17 : L 80.8 diyagonal bağlantı detayı.

Diyagonal elemanında kaynak kontrolü :

Köşe kaynak kalınlığı $a=6$ mm

Kaynak metali çekme dayanımı $F_E=360$ N/mm²

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w = (0.60 \times F_E) \times A_w$$

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm²)

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı , (N/mm²)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm²)

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N / mm}^2$$

$$A_w = (71+180) \times 6 = 1506 \text{ mm}^2$$

$$R_n = F_w \cdot A_w = 216 \times 1506 = 325296 \text{ N} = 325.30 \text{ kN}$$

Tasarım kriteri

$$\phi_v \times R_n \geq N_2$$

$$\phi_v = 0.75$$

$$0.75 \times 325.30 = 243.97 > 243 \text{ kN}$$

Makas dikme elemanı kaynaklarında kontrol

Köşe kaynak kalınlığı $a=5$ mm

Kaynak metali çekme dayanımı $F_E=360$ N/mm²

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w = (0.60 \times F_E) \times A_w$$

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm²)

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı , (N/mm²)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm²)

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N / mm}^2$$

$$A_w = (10 \times 2) \times 6 = 1200 \text{ mm}^2$$

$$R_n = F_w \times A_w = 216 \times 1200 = 259200 \text{ N} = 259.2 \text{ kN}$$

Tasarım kriteri

$$\phi_v \times R_n \geq N_1$$

$$\phi_v = 0.75$$

$$0.75 \times 259.2 = 194.4 > 173.6 \text{ kN}$$

Makas alt başlığı ile plaka arasında kaynak kontrolü :

Makas alt başlığına eksenini doğrultusunda etkiyen tasarıma esas iç kuvvet:

$$P_u = 177.89 \text{ kN}$$

Köşe kaynak kalınlığı $a = 6 \text{ mm}$

Kaynak metali çekme dayanımı $F_E = 360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w = (0.60 \times F_E) \times A_w$$

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm^2)

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı, (N/mm^2)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm^2)

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N/mm}^2$$

$$A_w = 40 \times 6 = 2400 \text{ mm}^2$$

$$R_n = F_w \times A_w = 216 \times 2400 = 518400 \text{ N} = 518.4 \text{ kN}$$

Tasarım kriteri

$$\phi_v \times R_n \geq P_u$$

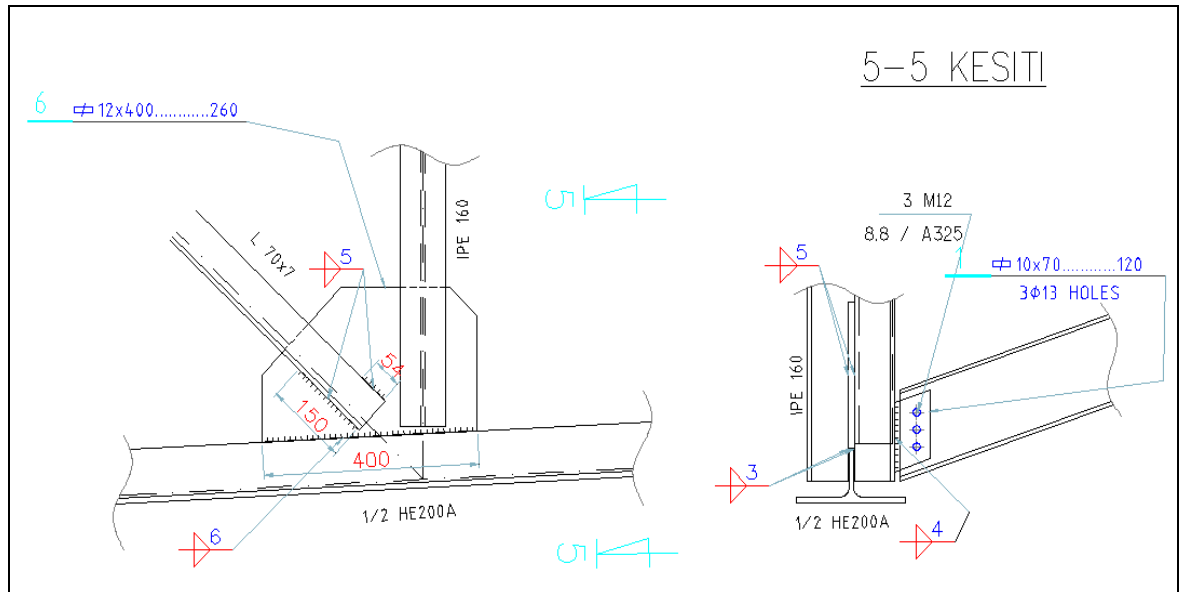
$$\phi_v = 0.75$$

$$0.75 \times 518.4 = 388.8 > 177.89 \text{ kN}$$

- L 70.7 Diagonal IPE160 dikme bağlantı detayı

$$N_1 = 173.6 \text{ kN}$$

$$N_2 = 141 \text{ kN}$$



Şekil 3.18 : L 70.7 diyagonal bağlantı detayı.

Diyagonal elemanında kaynak kontrolü :

Köşe kaynak kalınlığı $a=5$ mm

Kaynak metali çekme dayanımı $F_E=360$ N/mm²

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w = (0.60 \times F_E) \times A_w$$

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm²)

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı , (N/mm²)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm²)

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N / mm}^2$$

$$A_w = (54 + 150) \times 5 = 1020 \text{ mm}^2$$

$$R_n = F_w \times A_w = 216 \times 1020 = 220320 \text{ N} = 220.3 \text{ kN}$$

Tasarım kriteri

$$\phi_v \times R_n \geq N_2$$

$$\phi_v = 0.75$$

$$0.75 \times 220.3 = 165.24 > 141 \text{ kN}$$

Makas dikme elemanı kaynaklarında kontrol

Köşe kaynak kalınlığı $a=5$ mm

Kaynak metali çekme dayanımı $F_E=360$ N/mm²

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w = (0.60 \times F_E) \times A_w$$

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm²)

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı , (N/mm²)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm²)

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N / mm}^2$$

$$A_w = (10 \times 2) \times 6 = 1200 \text{ mm}^2$$

$$R_n = F_w \times A_w = 216 \times 1200 = 259200 \text{ N} = 259.2 \text{ kN}$$

Tasarım kriteri

$$\phi_v \times R_n \geq N_1$$

$$\phi_v = 0.75$$

$$0.75 \times 259.2 = 194.4 > 173.6 \text{ kN}$$

Makas alt başlığı ile plaka arasında kaynak kontrolü :

Makas alt başlığına eksenî doğrultusunda etkiyen kuvvet $P_u = 107.03 \text{ kN}$

Köşe kaynak kalınlığı $a=6 \text{ mm}$

Kaynak metali çekme dayanımı $F_E=360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w = (0.60 \times F_E) \times A_w$$

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm^2)

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı , (N/mm^2)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm^2)

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N/mm}^2$$

$$A_w = 40 \times 6 = 2400 \text{ mm}^2$$

$$R_n = F_w \times A_w = 216 \times 2400 = 518400 \text{ N} = 518.4 \text{ kN}$$

Tasarım kriteri

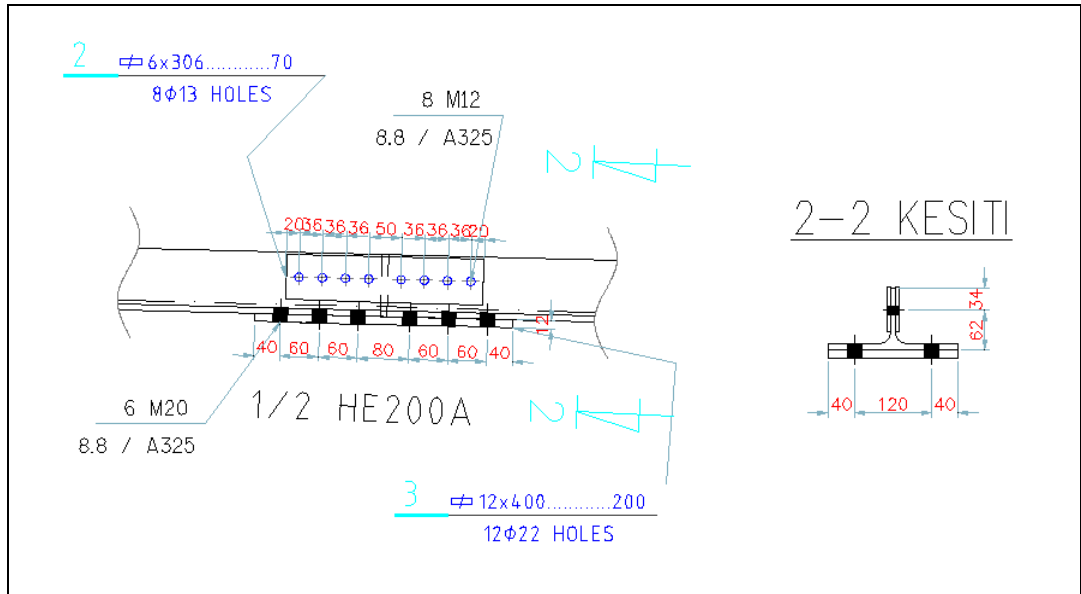
$$\phi_v \times R_n \geq P_u$$

$$\phi_v = 0.75$$

$$0.75 \times 518.4 = 388.8 > 107.3 \text{ kN}$$

3.12.5 Makas alt ve üst başlık eki

- Makas alt başlık eki



Şekil 3.19 : Makas altbaşıık eki.

½ HE200A Kesit

Makas alt başlığında oluşan en elverişsiz kesit tesiri $P_u = 474 \text{ kN}$

$$A_t = 26.9 \text{ cm}^2$$

$$A_f = 20 \text{ cm}^2$$

$$A_w = 6.9 \text{ cm}^2$$

$$t_f = 10 \text{ mm}$$

$$t_w = 6.5 \text{ mm}$$

Profil başlığına ve gövdesine etki eden kuvvetler

$$P_f = P_u \times A_f / A_t = 474 \times (20 / 26.9) = 352.42 \text{ kN}$$

$$P_w = P_u \times A_w / A_t = 474 \times (6.9 / 26.9) = 121.58 \text{ kN}$$

Başlık ek levhalarında seçilen boyutlar 12 x 400 x 200

Gövde ek levhalarında seçilen boyutlar 6 x 70 x 300

Seçilen bulonlar

$$\sqrt{(5xt_{\min})} = \sqrt{5 \times 1} - 0.2 = 2.23 - 0.2 = 2.03 \text{ cm}$$

Başlık için A 325 sınıfı M 20 bulon seçilmiştir. (D=22 mm)

$$\sqrt{(5xt_{\min})} = \sqrt{5 \times 0.6} - 0.2 = 1.73 - 0.2 = 1.53 \text{ cm}$$

Gövde için A 325 sınıfı M12 bulon seçilmiştir. (D=14 mm)

$$A_{f,ek} = 1.2 \times 20 = 24 \text{ cm}^2 > A_f = 20 \text{ cm}^2$$

$$A_{w,ek} = 0.6 \times 70 \times 2 = 8.4 \text{ cm}^2 > A_w = 6.9 \text{ cm}^2$$

Başlıkta bir bulonun dayanımı

Bulon kayma dayanımı kontrolü

M20 bulonunda gövde alanı,

$$A_b = 314 \text{ mm}^2$$

M20 (A 325) için karakteristik kayma dayanımı

$$R_n = F_{nv} \times A_b = 414 \times 314 \cdot 10^{-3} = 130 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 130 = 97.5 \text{ kN}$$

6 tane bulon için : $97.5 \times 6 = 585 \text{ kN} > 352.42 \text{ kN}$

Birleşimde ezilme kontrolü:

$$R_n = 1.2 L_c t F_u$$

$L_c = 40 \text{ mm}$ (dış bulon için)

$L_c = 38 \text{ mm}$ (ara bulon için)

$t = 10 \text{ mm}$

$$F_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$R_n = 1.2 \times 38 \times 10 \times 360 = 164160 \text{ N} = 164.16 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 164.16 = 123.12 \text{ kN}$$

$$6 \text{ tane bulon için : } 123.12 \times 6 = 738.72 \text{ kN} > 352.42 \text{ kN}$$

Gövdede bir bulonun dayanımı

Bulon kayma dayanımı kontrolü

M12 bulonunda gövde alanı,

$$A_b = 113 \text{ mm}^2$$

M12 (A 325) için karakteristik kayma dayanımı

Tek bir kayma düzlemi için;

$$R_n = F_{nv} \times A_b = 414 \times 113 \cdot 10^{-3} = 46.78 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 46.78 \times 2 = 70.17 \text{ kN}$$

$$4 \text{ tane bulon için : } 70.17 \times 4 = 280.68 \text{ kN} > 121.58 \text{ kN}$$

Birleşimde ezilme kontrolü:

$$R_n = 1.2 L_c t F_u$$

$L_c = 20 \text{ mm}$ (dış bulon için)

$L_c = 36 \text{ mm}$ (ara bulon için)

$t = 6 \text{ mm}$

$$F_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$R_n = 1.2 \times 20 \times 6.5 \times 360 = 56160 \text{ N} = 56.16 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 56.16 = 42.12 \text{ kN}$$

$$4 \text{ tane bulon için : } 42.12 \times 4 = 168.48 \text{ kN} > 121.58 \text{ kN}$$

Başlık levhalarında dayanım kontrolü

Akmada çekme dayanımı:

$$R_n = \phi \times F_y \times A_g = 0.90 \times 23.5 \times 1.2 \times 20 = 507.6 > P_f = 352.42 \text{ kN}$$

Kırılmada çekme dayanımı:

$$R_n = \phi \times F_u \times A_e = 0.90 \times 36 \times (1.2 \times (20 - 2 \times 2.2)) = 606.53 > P_f = 352.42 \text{ kN}$$

Gövde levhasında kontrol ;

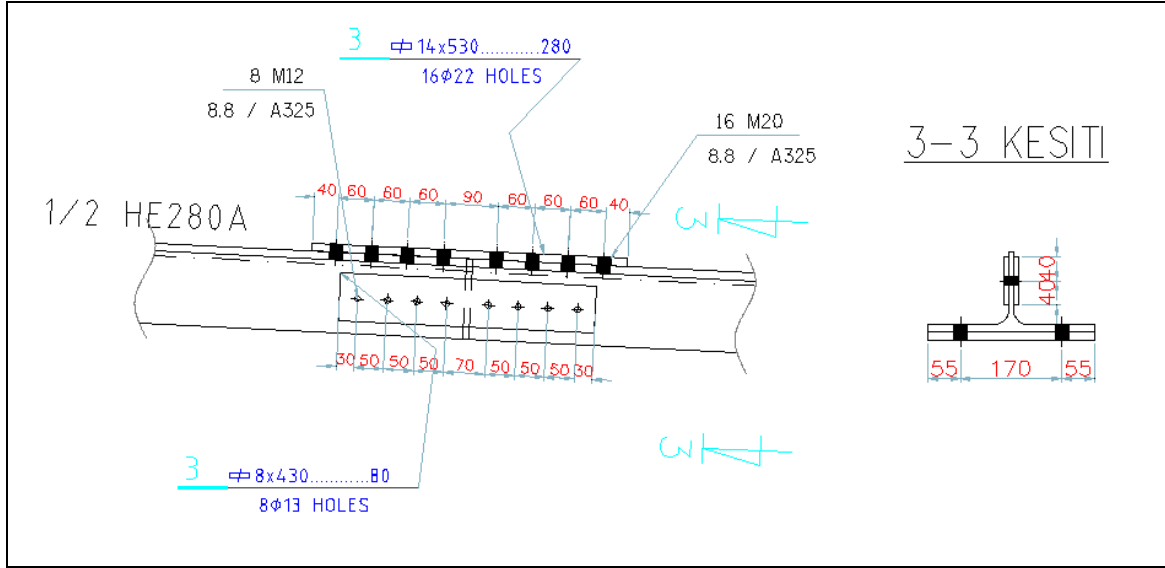
Akmada çekme dayanımı

$$R_n = \phi \times F_y \times A_g = 0.90 \times 23.5 \times 2 \times 0.6 \times 7 = 177.66 > P_w = 121.58 \text{ kN}$$

Kırılmada çekme dayanımı

$$R_n = \phi \times F_u \times A_e = 0.90 \times 36 \times (2 \times 0.6 \times (7 - 1.4)) = 217.73 > P_f = 121.58 \text{ kN}$$

- Makas üst başlık eki



Şekil 3.20 : Makas üst başlık eki.

½ HE280A Kesit

Makas üst başlığında oluşan en elverişsiz kesit tesiri $P_u = - 624 \text{ kN}$

$$A_t = 48.63 \text{ cm}^2$$

$$A_f = 36.4 \text{ cm}^2$$

$$A_w = 12.23 \text{ cm}^2$$

$$t_f = 13 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

Profil başlığına ve gövdesine etki eden kuvvetler:

$$P_f = P_u \times A_f / A_t = 624 \times (36.4 / 48.3) = 470.26 \text{ kN}$$

$$P_w = P_u \times A_w / A_t = 624.28 \times (12.23 / 48.63) = 157.00 \text{ kN}$$

Başlık ek levhalarında seçilen boyutlar 14 x 530 x 280

Gövde ek levhalarında seçilen boyutlar 8 x 430 x 80

$$\sqrt{(5xt_{\min})} = \sqrt{5 \times 1.25} - 0.2 = 2.5 - 0.2 = 2.3 \text{ cm}$$

Başlık için A 325 sınıfı M 22 bulon seçilmiştir. (D=24 mm)

$$\sqrt{(5xt_{\min})} = \sqrt{5 \times 0.8} - 0.2 = 2 - 0.2 = 1.8 \text{ cm}$$

Gövde için A 325 sınıfı M 16 bulon seçilmiştir. (D=18mm)

$$A_{f,ek} = 1.4 \times 26 = 36.4 \text{ cm}^2 > A_f = 32.5 \text{ cm}^2$$

$$A_{w,ek} = 0.8 \times 80 \times 2 = 12.8 \text{ cm}^2 > A_w = 10.9 \text{ cm}^2$$

Başlıkta bir bulonun dayanımı

Bulon kayma dayanımı kontrolü

M22 bulonunda gövde alanı,

$$A_b = 380 \text{ mm}^2$$

M22 (A 325) için karakteristik kayma dayanımı

$$R_n = F_{nv} \times A_b = 414 \times 380 \times 10^{-3} = 157.32 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 157.32 = 118 \text{ kN}$$

6 tane bulon için : $118 \times 6 = 708 \text{ kN} > 470.26 \text{ kN}$

Birleşimde ezilme kontrolü:

$$R_n = 1.2 L_c t F_u$$

$L_c = 40 \text{ mm}$ (dış bulon için)

$L_c = 34 \text{ mm}$ (ara bulon için)

$t = 13 \text{ mm}$

$$F_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$R_n = 1.2 \times 34 \times 13 \times 360 = 190944 \text{ N} = 190.9 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 190.9 = 143.20 \text{ kN}$$

6 tane bulon için : $143.20 \times 6 = 859.2 \text{ kN} > 470.26 \text{ kN}$

Gövdede bir bulonun dayanımı:

Bulon kayma dayanımı kontrolü:

M16 bulonunda gövde alanı,

$$A_b = 201 \text{ mm}^2$$

M16 (A 325) için karakteristik kayma dayanımı

Tek bir kayma düzlemi için;

$$R_n = F_{nv} \times A_b = 414 \times 201 \times 10^{-3} = 83.21 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 83.21 \times 2 = 124.82 \text{ kN}$$

3 tane bulon için : $124.82 \times 3 = 374.46 \text{ kN} > 157.00 \text{ kN}$

Birleşimde ezilme kontrolü:

$$R_n = 1.2 L_c t F_u$$

$L_c = 30 \text{ mm}$ (dış bulon için)

$L_c = 34 \text{ mm}$ (ara bulon için)

$t = 7.5 \text{ mm}$

$F_u = 360 \text{ N/mm}^2$

Tek bir kayma düzlemi için dayanım:

$$R_n = 1.2 \times 30 \times 8 \times 360 = 103680 \text{ N} = 103.68 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 103.68 = 77.76 \text{ kN}$$

3 tane bulon için : $77.76 \times 3 = 233.28 \text{ kN} > 157.00 \text{ kN}$

Başlık levhalarında dayanım kontrolü:

Akmada çekme dayanımı:

$$R_n = \phi \times F_y \times A_g = 0.90 \times 23.5 \times 1.4 \times 26 = 769.86 > P_f = 470.26 \text{ kN}$$

Kırılmada çekme dayanımı:

$$R_n = \phi \times F_u \times A_e = 0.90 \times 36 \times (1.4 \times (26 - 2 \times 2.4)) = 961.63 > P_f = 470.26 \text{ kN}$$

Gövde levhasında kontrol:

Akmada çekme dayanımı:

$$R_n = \phi \times F_y \times A_g = 0.90 \times 23.5 \times 2 \times 0.8 \times 8 = 270.72 > P_w = 157.00 \text{ kN}$$

Kırılmada çekme dayanımı:

$$R_n = \phi \times F_u \times A_e = 0.90 \times 36 \times (2 \times 0.8 \times (8 - 1.8)) = 321.41 > P_w = 157.00 \text{ kN}$$

3.12.6 Kolon ayağı bağlantı detayı

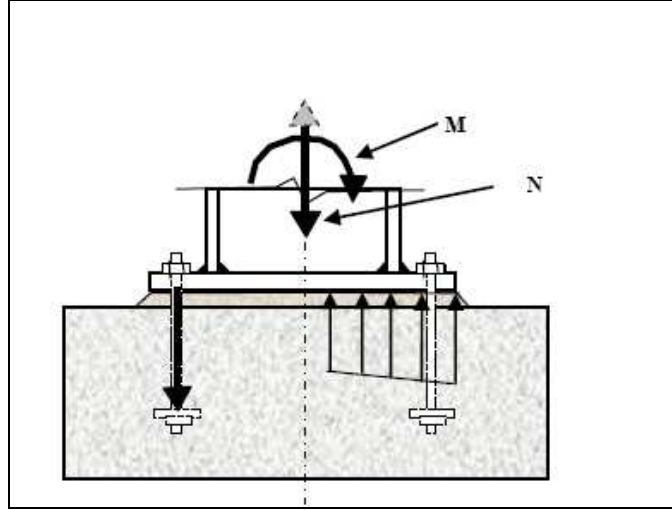
$h_p = 48 \text{ cm}$

$b_p = 48 \text{ cm}$

$h_f = b_f = 58 \text{ cm}$

$t_{fc} = 1,6 \text{ cm}$

$z = 38 \text{ cm}$



Şekil 3.21 : Kolon ayağı bağlantısı şematik diyagramı.

$$M_{ux} = 131,29 \text{ kN.m}$$

$$M_{uy} = 32,88 \text{ kN.m}$$

$$P_u = -229,06 \text{ kN}$$

$$V_u = 59,20 \text{ kN}$$

Bulonlarda görülen maksimum çekme kuvveti ;

$$F_{t,u} = \frac{|M_u|}{h_c - t_{fc}} - \frac{N_u}{2}$$

$$F_{t,u} = \frac{131.29}{0.28 - 0.016} - \frac{229.06}{2} = 382.78 \text{ kN}$$

Bulon sayısı $n = 3$

Bir bulona gelen çekme kuvveti

$$F_{T,Ed} = 382.78 / 3 = 127.59 \text{ kN}$$

Ankraj bulon çapı tespiti (5.6 kalite ankraj bulonu için)

$$R_n = F_{nt} \times A_b$$

$$R_n = 500 \times A_b = (500 \times A_b) \text{ N} = (0.5 \times A_b) \text{ kN}$$

$$R_{nt} = \phi \times R_n$$

$$R_{nt} = \phi \times R_n = 0.75 \times 500 \times A_b = (375 \times A_b) \text{ N} = (0.375 A_b) \text{ kN}$$

$$127.59 = (0.375 A_b) \text{ kN}$$

$$A_{b\min} = 340.24 \text{ mm}^2 = 3.40 \text{ cm}^2$$

Seçilen ankraj bulonu M24 $A_b = 3.54 \text{ cm}^2$

Ankraj boyunun tespiti

$$P_{u,bond} = \frac{1}{2.25} (\pi \times \phi \times l_b \times f_{bd})$$

$$F_{t,bond,Rd} > 127.59 kN$$

$$\frac{1}{2.25} (\pi \times 2.4 \times l_b \times 1.25) > 127.59 kN$$

$$l_b > 30.46 cm$$

Ankraj bulonlarında makaslama dayanımı

M24 bulonunda gövde alanı,

$$A = 452 \text{ mm}^2$$

M24 (5.6) için karakteristik kayma dayanımı

$$R_n = F_{nv} \times A_b = 500 \times 452 \times 10^{-3} = 226 kN$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 226 = 169.5 kN$$

Birleşimde ezilme kontrolü:

$$R_n = 1.2 L_c t F_u$$

$L_c = 50 \text{ mm}$ (dış bulon için)

$$t = 25 \text{ mm}$$

$$F_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$R_n = 1.2 \times 50 \times 10 \times 360 = 216000 \text{ N} = 216 kN$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 216 = 162 kN$$

Ankrajda bir taraftaki bulonların çekmeye diğer taraftakilerin kesmeye çalıştığı

varsayımıyla; $n = 3$ bulon olarak kabul edilmiştir.

$$3 \times 162 = 486 \text{ kN} > V_u = 59.20 \text{ kN}$$

Beton basınç gerilmesi kontrolü

$$F_{c,u} = \frac{|M_u|}{h_c - t_{fc}} + \frac{N_u}{2}$$

$$F_{c,Ed} = \frac{131.29}{0.28 - 0.016} + \frac{229.06}{2} = 611.84 kN$$

$$p = \frac{611.84}{\frac{48}{4} \cdot 48} = 1.06 \text{ kN} / \text{cm}^2 = 10.6 \text{ N} / \text{mm}^2 < f_{jd} = 11.1 \text{ N} / \text{mm}^2$$

Taban plakası kalınlığını tespiti;

$$s_x = s_y = 100 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$m_{\min} = 4.25$$

$$K = p \times s_x \times s_y = 10.6 \times 100 \times 100 = 106000 \text{ N}$$

$$M_{\max} = K / m_{\min} = 249.41 \text{ tcm} = 2494.10 \text{ kN.cm}$$

$$W_1 = 16.67 \cdot t^2$$

$$t_{\min} = \sqrt{(M_{\max} / 16.67 \times F_y)} = \sqrt{\frac{2494.10}{391.75}} = 2.50 \text{ cm}$$

Guse levhasını profil başlığına bağlayan kaynaklarda $l = 20 \text{ cm}$ $a = 4 \text{ mm}$ ' dir.

$$P_u = 229.06 \text{ kN}$$

$$P = \frac{229.06}{8} + \frac{13129}{(28 - 1.6)} = 525.94 \text{ kN}$$

Köşe kaynak kalınlığı $a = 5 \text{ mm}$

Kaynak metali çekme dayanımı $F_E = 360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w = (0.60 \times F_E) \times A_w$$

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm^2)

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı , (N/mm^2)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm^2)

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$A_w = 200 \times 5 = 1000 \text{ mm}^2$$

$$R_n = F_w \times A_w = 216 \times 1000 = 216000 \text{ N} = 216 \text{ kN}$$

Tasarım kriteri

$$\phi_v \times R_n \geq P_u$$

$$\phi_v = 0.75$$

$$0.75 \times 216 = 162 \text{ kN}$$

Toplam 8 adet kaynak dikişi için $8 \times 162 = 1296 \text{ kN} > P_u = 229.06 \text{ kN}$

Kolon gövdesini taban levhasına bağlayan dikişlerde

$$l = 25 \text{ cm}$$

Köşe kaynak kalınlığı $a=4 \text{ mm}$

Kaynak metali çekme dayanımı $F_E=360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w = (0.60 \times F_E) \times A_w$$

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm^2)

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı , (N/mm^2)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm^2)

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N / mm}^2$$

$$A_w = 250 \times 4 = 1000 \text{ mm}^2$$

$$R_n = F_w \times A_w = 216 \times 1000 = 216000 \text{ N} = 216 \text{ kN}$$

Tasarım kriteri

$$\phi_v \cdot R_n \geq V_u$$

$$\phi_v = 0.75$$

$$0.75 \times 216 = 162 \text{ kN}$$

Toplam 2 adet kaynak dikişi için $2 \times 162 = 324 \text{ kN} > V_u = 59.20 \text{ kN}$

Guse levhaları ile kolon başlığının birleştiği kesitte gerilme kontrolü ;

$$y = \frac{2 \times 25 \times 15 + 2.5 \times 48 \times 1.25}{1.5 \times 25 + 2.5 \times 48} = 5.71 \text{ cm}$$

$$I = 1.5 \times \frac{25^3}{12} + 2 \times 25 \times (15 - 5.71)^2 + 2.5 \times 48 \times (5.71 - 1.25)^2 = 8655.32 \text{ cm}^4$$

Guse levhalarının uç kesitinde gerilme kontrolü

$$M_{F_{t,u}} = 382.78 \left(\frac{48 - 26.4}{2} - \frac{48}{8} \right) = 1837.34 \text{ kN.cm}$$

$$M_{F_{c,Ed}} = 611.84 \left(\frac{48 - 26.4}{2} - 5 \right) = 3548.67 \text{ kN.cm}$$

$$f_{\max} = \frac{3548.67}{8655.32} (25 + 2.5 - 5.71) = 8.93 \text{ kN / cm}^2 < F_y = 23.5 \text{ kN / cm}^2$$

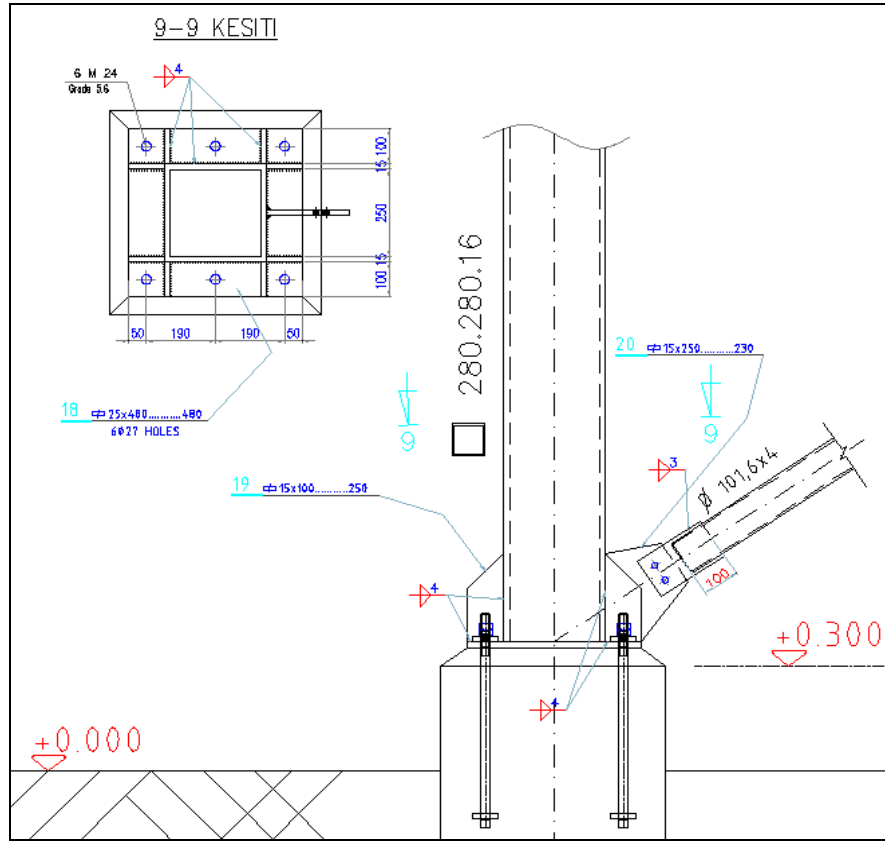
Guse levhalarını taban levhasına bağlayan dikişler, $a = 4 \text{ mm}$. 'dir.

$$V_u = 59.20 \text{ kN}$$

$$S_z = 48 \times 2.5 \times (5.71 - 1.25) = 535.2 \text{ cm}^3$$

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N / mm}^2$$

$$f_{vw} = \frac{59.20 \times 535.2}{8655.32 \times 2 \times 0.4} = 4.58 \text{ kN / cm}^2 < 20.78 \text{ kN / cm}^2$$

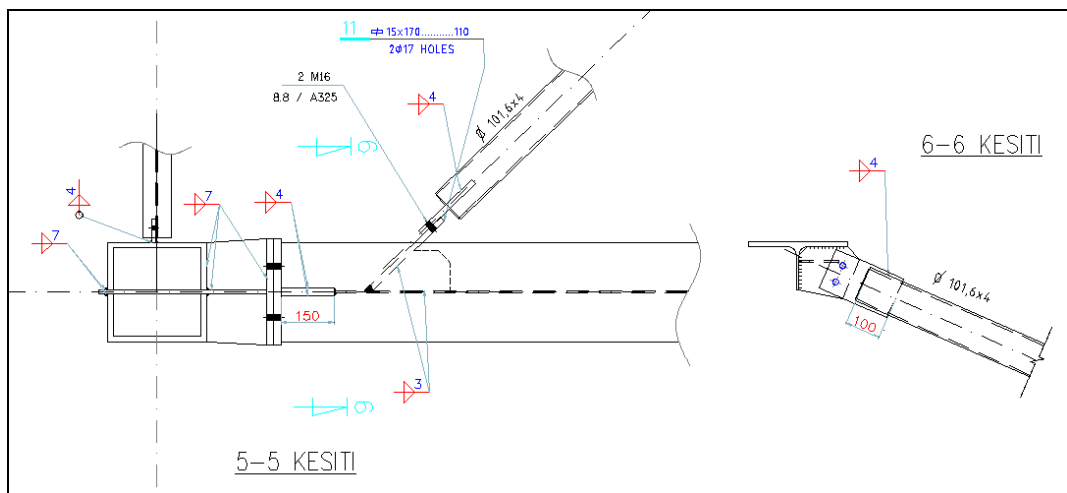


Şekil 3.22 : Kolon ayağı bağlantısı detayı.

3.12.7 Çatı çaprazı bağlantı detayı

Ø 101.6/4 Çatı stabilite bağlantısı birleşim detayı

$$P_u = 109.68 \text{ kN}$$



Şekil 3.23 : Çatı çaprazı bağlantısı detayı.

Stabilite elemanında kaynak kontrolü :

Köşe kaynak kalınlığı $a=4$ mm

Kaynak metali çekme dayanımı $F_E=360$ N/mm²

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w = (0.60 \times F_E) \times A_w$$

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm²)

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı , (N/mm²)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm²)

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N / mm}^2$$

$$A_w = (100 + 100) \times 4 = 800 \text{ mm}^2$$

$$R_n = F_w \times A_w = 216 \times 800 = 172800 \text{ N} = 172.8 \text{ kN}$$

Tasarım kriteri:

$$\phi_v \times R_n \geq P_u$$

$$\phi_v = 0.75$$

$$0.75 \times 172.8 = 129.6 > 109.68 \text{ kN}$$

Bağ levhasında ve bulonlarda dayanım kontrolü

M 16 A325 bulon için

Toplam bulon sayısı $n = 2$

Bulon gövde alanı $A_b = 113$ mm²

M16 (A 325) için karakteristik kayma dayanımı

$$R_n = F_{nv} \times A_b = 414.201.10^{-3} = 83.21 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 83.14 = 62.36 \text{ kN}$$

2 tane bulon için : $62.36 \times 2 = 124.72 \text{ kN} > 109.68 \text{ kN}$

Birleşimde ezilme kontrolü:

$$R_n = 1.2 L_c t F_u$$

$L_c=40$ mm (dış bulon için)

$t = 10$ mm

$F_u = 360$ N/mm²

$$R_n = 1.2 \times 40 \times 10 \times 360 = 172800 \text{ N} = 172.8 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 172.8 = 129.6 \text{ kN}$$

2 tane bulon için : $129.6 \times 6 = 259.2 \text{ kN} > 109.68 \text{ kN}$

Bağ levhası enkesitte net alan :

$$A_e = 9.4 \text{ cm}^2$$

Akmada çekme dayanımı:

$$R_n = \phi \times F_y \times A_g = 0.90 \times 23.5 \times 1 \times 13 = 274.95 > P_u = 109.68 \text{ kN}$$

Kırılmada çekme dayanımı:

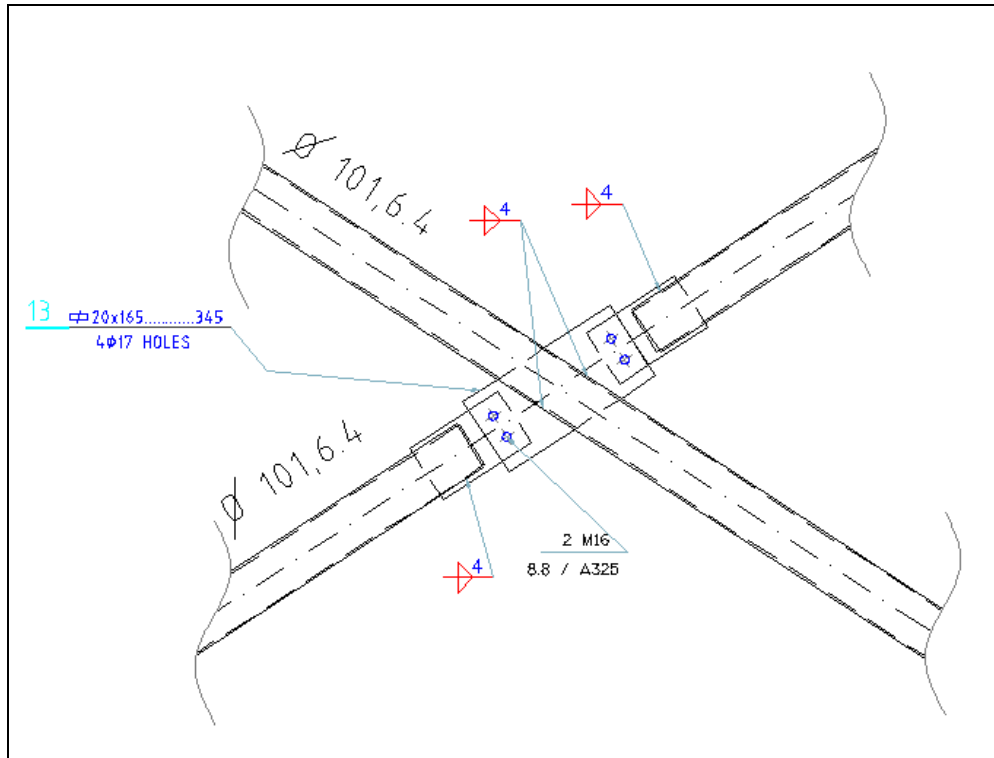
$$R_n = \phi \times F_u \times A_e = 0.90 \times 36 \times (1 \times (13 - 2 \times 1.8)) = 304.56 > P_u = 109.68 \text{ kN}$$

Bağlantı levhası makas üst başlığına küt kaynaklı olarak montaj yapılacağından bu levhayı makas üst başlığına bağlayan kaynaklarda tahkike gerek yoktur.

3.12.8 Düşey çapraz bağlantı detayı

4Ø 101.6/4 Çatı stabilite bağlantısı birleşim detayı

$$5P_u = -36.12 \text{ kN}$$



Şekil 3.24 : Düşey çapraz bağlantısı detayı.

Stabilite elemanında kaynak kontrolü :

Köşe kaynak kalınlığı $a=4 \text{ mm}$

Kaynak metali çekme dayanımı $F_e=360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w = (0.60 \times F_E) \times A_w$$

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm^2)

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı , (N/mm^2)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm^2)

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N / mm}^2$$

$$A_w = (100 + 100) \times 4 = 800 \text{ mm}^2$$

$$R_n = F_w \times A_w = 216 \times 800 = 172800 \text{ N} = 172.8 \text{ kN}$$

Tasarım kriteri:

$$\phi_v \times R_n \geq P_u$$

$$\phi_v = 0.75$$

$$0.75 \times 172.8 = 129.6 > 36.12 \text{ kN}$$

Bağ levhasında ve bulonlarda dayanım kontrolü:

M 16 A325 bulon için hesap yapılmıştır.

Toplam bulon sayısı $n = 2$

Bulon gövde alanı $A_b = 201 \text{ mm}^2$

M16 (A 325) için karakteristik kayma dayanımı :

$$R_n = F_{nv} \times A_b = 414.201.10^{-3} = 83.21 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 83.14 = 62.36 \text{ kN}$$

2 tane bulon için : $62.36 \times 2 = 124.72 \text{ kN} > 36.12 \text{ kN}$

Birleşimde ezilme kontrolü:

$$R_n = 1.2 L_c t F_u$$

$L_c=40 \text{ mm}$ (dış bulon için)

$t = 10 \text{ mm}$

$F_u = 360 \text{ N/mm}^2$

$$R_n = 1.2 \times 40 \times 10 \times 360 = 172800 \text{ N} = 172.8 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 172.8 = 129.6 \text{ kN}$$

2 tane bulon için : $129.6 \times 2 = 259.2 \text{ kN} > 36.12 \text{ kN}$

Kaynak metali çekme dayanımı $F_E=360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w = (0.60 \times F_E) \times A_w$$

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm^2)

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı , (N/mm^2)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm^2)

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N / mm}^2$$

$$A_w = (71+180) \times 6 = 1506 \text{ mm}^2$$

$$R_n = F_w \cdot A_w = 216 \times 1506 = 325296 \text{ N} = 325.30 \text{ kN}$$

Tasarım kriteri

$$\phi_v \times R_n \geq N_2$$

$$\phi_v = 0.75$$

$$0.75 \times 325.30 = 243.97 > 243 \text{ kN}$$

Makas üst başlığında kaynakların kontrolü:

$$P_u = -145.87 \text{ kN}$$

Köşe kaynak kalınlığı $a=4 \text{ mm}$

Kaynak metali çekme dayanımı $F_E=360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w = (0.60 \times F_E) \times A_w$$

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm^2)

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı , (N/mm^2)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm^2)

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N / mm}^2$$

$$A_w = (71+180) \times 4 = 1004 \text{ mm}^2$$

$$R_n = F_w \cdot A_w = 216 \times 1004 = 216864 \text{ N} = 216.86 \text{ kN}$$

Tasarım kriteri:

$$\phi_v \times R_n \geq N_2$$

$$\phi_v = 0.75$$

$$0.75 \times 216.86 = 162.65 > 145.87 \text{ kN}$$

Alın levhasında ve bulonların dayanımı ;

M 16 A325 bulon için bulon çekme alanı $A_s = 157 \text{ mm}^2$

Toplam bulon sayısı $n = 14$

Bir bulonun dayanımı aşağıdaki gibi hesap yapılmıştır.

M16 (A 325) için karakteristik kayma dayanımı

Tek bir kayma düzlemi için;

$$R_n = F_{nv} \times A_b = 414 \times 157 \times 10^{-3} = 64.99 kN$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 64.99 = 48.74 kN$$

Bulonlara etkiyen toplam kesme kuvveti ;

$$V_d = (243 \times \cos 46) + (145 \times \sin 3) = 176.44 kN$$

$$14 \text{ tane bulon için : } 48.74 \times 14 = 682.36 kN > 176.44 kN$$

Birleşimde ezilme kontrolü:

$$R_n = 1.2 L_c t F_u$$

$$L_c = 50 \text{ mm (ara bulon için)}$$

$$t = 20 \text{ mm}$$

$$F_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$R_n = 1.2 \times 50 \times 20 \times 360 = 432000 N = 432.00 kN$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 432.00 = 324.00 kN > 176.44 kN$$

Bulonlara etkiyen toplam moment $M_u = 44.53 \text{ kNm}$;

$$I_{bulon} = 4 \times 1.57 \times (8^2 + 16^2 + 24^2) = 5626.88 \text{ cm}^4$$

$$\omega_{bulon} = 5626.88 / 24 = 234.45 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = M / \omega_{bulon} = 44.53 / 234.45 = 0.19 \text{ kN / cm}^2$$

$$N_m = 0.19 \times 1.57 = 0.2981 \text{ kN}$$

Üstbaşlık ve diyagonal elemandan oluşan bileşke çekme kuvveti ;

$$N_d = (243 \times \sin 46) + (-145 \times \cos 3) = 24 kN$$

Toplam çekme kuvveti ;

$$(24 / 14) + 0.2981 = 2.12 kN$$

M16 A325 bulon için karakteristik çekme dayanımı ;

$$R_n = F_{nt} \cdot A_b$$

$$R_n = 620 \times 157 = 97340 N = 97.34 kN$$

$$R_{nt} = \phi \times R_n$$

$$R_{nt} = \phi \times R_n = 0.75 \times 97.34 = 73 \text{ kN} > 31.52 \text{ kN}$$

Kaynaklarda kontrol $a_k = 7 \text{ mm}$ $l_k = 55 \text{ cm}$

Köşe kaynak atalet momenti $W_k = 3144 \text{ cm}^3$

$$\sigma = M / W_k + N / A = 4453 / 3144 + 24 / 77 = 1.73 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\tau = V / A = 176.44 / 77 = 2.29 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$(\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2} = 4.33 \text{ kN} / \text{cm}^2 < 0.75 \times 21.6 = 16.2 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Plaka kalınlığının belirlenmesi ;

Bulon ile plaka üst noktası arası kuvvet kolu mesafe $d' = 40 \text{ mm}$

Bir bulona gelen maksimum çekme kuvveti $Z = 31.52 \text{ kN}$

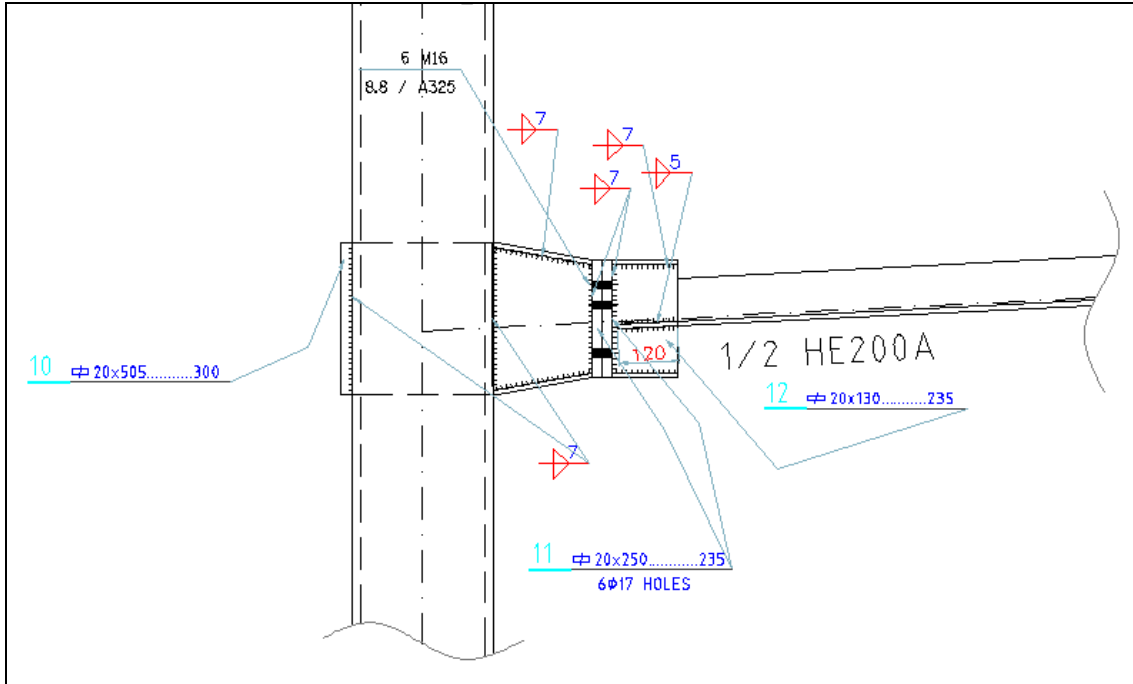
$$M_p = Z \times d' = 126.08 \text{ kN.cm}$$

$$W_{plaka} = b \times t^2 / 6 = 16.67 \times t^2$$

$$\sigma = M / W < 23.5 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$t = (126.08 / (16.67 \times 23.5))^{1/2} = 0.57 \text{ cm} = 5.3 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$$

-Makas alt başlık kolon bağlantısı



Şekil 3.26 : Makas alt başlık kolon bağlantısı.

Makas alt başlığında kaynakların kontrolü:

$$P_u = -118.50 \text{ kN}$$

Köşe kaynak kalınlığı $a=5 \text{ mm}$

Kaynak metali çekme dayanımı $F_E=360 \text{ N/mm}^2$

Köşe kaynakta birim boyun dayanımı :

$$R_n = F_w \times A_w = (0.60 \times F_E) \times A_w$$

F_w : köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı, (N/mm²)

F_E : kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı , (N/mm²)

A_w : kaynağın etkili hesap alanı (mm²)

$$F_w = 0.6 \times F_E = 0.6 \times 360 = 216 \text{ N / mm}^2$$

$$A_w = (75 \times 2) \times 5 = 750 \text{ mm}^2$$

$$R_n = F_w \cdot A_w = 216 \times 750 = 162000 \text{ N} = 162 \text{ kN}$$

Tasarım kriteri

$$\phi_v \times R_n \geq N_2$$

$$\phi_v = 0.75$$

$$0.75 \times 162 = 121.5 > 118.50 \text{ kN}$$

Alın levhasında ve bulonların dayanımı:

M 16 A325 bulon için bulon çekme alanı $A_s = 157 \text{ mm}^2$

Toplam bulon sayısı $n = 14$

Bir bulonun dayanımı:

M16 (A 325) için karakteristik kayma dayanımı

Tek bir kayma düzlemi için;

$$R_n = F_{nv} \times A_b = 414 \times 157 \times 10^{-3} = 64.99 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 64.99 = 48.74 \text{ kN}$$

Bulonlara etkiyen toplam kesme kuvveti ;

$$V_d = 118.50 \times \sin 3 = 6.20 \text{ kN}$$

6 tane bulon için : $48.74 \times 6 = 292.44 \text{ kN} > 6.20 \text{ kN}$

Birleşimde ezilme kontrolü:

$$R_n = 1.2 L_c t F_u$$

$L_c = 50 \text{ mm}$ (ara bulon için)

$t = 20 \text{ mm}$

$F_u = 360 \text{ N/mm}^2$

$$R_n = 1.2 \times 50 \times 20 \times 360 = 540000 \text{ N} = 540 \text{ kN}$$

$$R_{nv} = \phi \times R_n$$

$$R_{nv} = 0.75 \times 540 = 405kN > 6.20kN$$

4. YAPININ EC3 VE LRFD YÖNETMELİKLERİNE GÖRE BOYUTLANDIRILMASININ KARŞILAŞTIRMASI

4.1 Eleman Kapasite Oranlarının Karşılaştırması

Bu bölümde daha önceki bölümlerde sırasıyla EC3 ve LRFD yönetmeliklerine göre boyutlandırılmış olan söz konusu yapının elemanlarının talep / kapasite oranları incelenmiştir.

Hesaplarda kapasite oranları lokal olarak farklılık gösterse de yapısal kesit değişikliğine gerek duyulacak bir durum gözlemlenmemiştir. Boyutlandırma ile ilgili kapasite oranları Çizelge 4.1 'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Kapasite oranları karşılaştırması.

		Kombinasyon		Kapasite Oranı	
Eleman	Kesit	EC3	LRFD	EC3	LRFD
Aşık	UPE 100	1.35D+1.35L+1.35W	1.20D+1.20L	0.93	0.94
Tali Kiriş	IPE 160	1.35D+1.35L+1.35WXP6	1.20D+1.60L+0.8WXP	0.98	0.76
Makas Alt Başlık	1/2 HE200A	1.35D+1.35L+1.35WXP8	1.20D+1.60L+0.8WXP	0.68	0.82
Makas Üst Başlık	1/2 HE280A	1.35D+1.35L+1.35WXP8	1.20D+1.60L+0.8WXP	0.86	0.89
Makas Dikme	IPE 160	1.35D+1.35L+1.35WXP8	1.20D+1.60L+0.8WXP	0.82	0.87
Makas Diyagonal	L 80.8	1.35D+1.35L+1.35WXP8	1.20D+1.60L+0.8WXP	0.76	0.93
Makas Diyagonal	L 70.7	1.00D+1.50WYN2	1.20D+1.60L+0.8WXP	0.46	0.72
Kolon	KUTU 280.280.16	1.35D+1.35L+1.35WXP8	1.20D+1.60L+0.8WXP	0.47	0.49
Çatı Çaprazları	Ø 101.6/4	1.35D+1.35L+1.35WXP4	1.20D+1.60L+0.8WXP	0.75	0.69
Düşey Çaprazlar	Ø 101.6/4	1.35D+1.35L+1.35WXP6	1.20D+0.2L+1.0EXN+0.3EYN	0.70	0.42

4.2 Yapının Boyutlandırılmasında Etkin Olan Yüklerin Karşılaştırılması

Yapı boyutlandırılmasında EC3 ve LRFD olmak üzere 2 ayrı yönetmelik kullanılmıştır. Özağırlıklardan oluşan düşey yükler her 2 yönetmeliğe göre boyutlandırma yapılırken sabit değer olarak alınmıştır.

Kar yükü değeri gözönüne alınırken 0.75 kN/m^2 yükü gerçerli olarak varsayılmıştır. Kar yükünün etkiye şekli ise her 2 yönetmeliğinin baz aldığı diğer yönetmeliklere göre uygulanmıştır. EC3 yönetmeliği bu konuda ülkemizde TS –EN 1991-1-3 kodlu

yönetmelik olan EC1 yönetmeliği bölüm 3'ü baz almaktadır. LRFD yönetmeliği ise bu konuda ASCE 7-05 yönetmeliği bölüm 7'yi dikkate almaktadır.

Rüzgar yüklerinde ise yapıya etkiyen rüzgar yükünün 0.50 kN/m^2 olduğu varsayılmıştır. Rüzgar yükünün etkiye şekli ise her 2 yönetmeliğinin baz aldığı diğer yönetmeliklere göre uygulanmıştır. EC3 yönetmeliği bu konuda ülkemizde TS –EN 1991-1-4 kodlu yönetmelik olan EC1 yönetmeliği bölüm 4'ü baz almaktadır. LRFD yönetmeliği ise bu konuda ASCE 7-05 yönetmeliği bölüm 6'yı dikkate almaktadır.

Deprem yükleri ise yapı için DBYBHY 'de verilen sismik parametrelerin her 2 yönetmelikte karşılık gelen değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Yapıya etkiyen deprem yükünün hesabında eşdeğer deprem yükü metodu kullanılmıştır. EC yönetmeliği bu konuda EC8 yönetmeliğini dikkate almaktadır. LRFD yönetmeliği ise bu konuda ASCE 7-05 yönetmeliğini dikkate almaktadır.

Yapıda safi yükleme durumlarından oluşan mesnet reaksiyonları Çizelge 4.2 ve 4.3' de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : EC1 yüklerine göre mesnet reaksiyonları.

Yük	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN
SNOW	-1.27xE-11	6.26xE-12	738.294
EX	-118.90	-6.61xE-14	-2xE-12
EY	5.75xE-14	-157.69	-1.26xE-12
WXP	-395.346	5.93xE-13	47.717
WXN	395.346	-6.68xE-13	-107.488
WYP	4.33xE-12	-102.97	-157.764
WYN	2.86xE-12	102.97	-238.669

Çizelge 4.3 : ASCE 7-05 yüklerine göre mesnet reaksiyonları.

Yük	FX	FY	FZ
	kN	kN	KN
SNOW	1.38xE-10	4.31xE-12	1036.975
WXP	-49.704	-4.62xE-13	-127.735
WXN	49.833	-6.02xE-13	-127.735
WYP	-3.95xE-11	-72.079	-322.683
WYN	-4.29xE-11	72.079	-330.925
EX	-213.87	1.24xE-13	-1.54xE-11
EY	2.6xE-13	-198.65	-3.16xE-13

Her iki yönetmeliğe göre yapılan yük analizinin incelenmesinde kar yüklerinin etkimesinin ASCE 7-05 yönetmeliğinde daha konservatif olarak ele alındığı açıkça görülmektedir. ASCE 7-05 yönetmeliğinde şetli çatılar için dengesiz kar yükü dağılımı EC1'e göre %40 oranında daha yüksek bir değer olarak yapıya etkimektedir.

Rüzgar yüklerinin karşılaştırılmasında EC1 yönetmeliği ASCE 7-05 yönetmeliğine göre daha detaylı ve konservatif bir sonuç vermektedir. Yapıda rüzgar yüklerinden dolayı oluşan global yatay mesnet reaksiyonları karşılaştırıldığında aradaki fark açıkça ortaya çıkmaktadır. EC1'de belirtilen 8 farklı rüzgar yükünün en elverişsiz değerleri dikkate alınmıştır. ASCE 7-05 yönetmeliğine göre yapıda rüzgar yükleri yatay doğrultu yerine düşey doğrultuda daha elverişsiz sonuçlar doğurmuştur. Bu durumda ASCE 7-05 yönetmeliğinde belirtilen kombinasyonlarında rüzgar yükünün çarpanının daha düşük olması da etkili olmuştur.

Yapı için yapılan sismik analizlerde, etkin deprem kütlesi LRFD' ye göre hesaplanırken kar yüklerinin daha olumsuz olmasından dolayı daha büyük bir değer almaktadır. Ayrıca ASCE 7-05 yönetmeliğinde süneklik düzeyi normal çerçeveler için yapısal sismik davranış katsayısı 3.50 değerini alırken [13], bu değer EC8'de 4 olarak belirtilmiştir.[9] ASCE 7-05 süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdeler için yapısal sismik davranış katsayısı 3.25 değerini alırken [13], bu değer EC8'de 4 olarak belirtilmiştir.[9] Bu durumda etkisiyle yapıya etkiyen her 2 doğrultudaki taban kesme kuvveti LRFD tasarımında daha elverişsiz bir hal almıştır. Bu durum ile birlikte yapıda düşey çaprazlar boyutlandırılırken LRFD tasarımında depremlili durum etkin olarak ortaya çıkmıştır. DBYBHY ile yapılan sismik analizde elde edilen taban kesme kuvvetlerinin EC8 yönetmeliğine Y doğrultusunda daha yakın değerler verdiği görülmüştür. X doğrultusunda ise ASCE 7-05 yönetmeliğine daha yakın değerler verdiği gözlenmiştir.

Yapının boyutlandırılmasında genel olarak rüzgar ve kar yükü içeren yük bileşimleri hakim olarak gözlemlenmiştir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çelik bir makas taşıyıcı yapısının boyutlandırmasının yapıldığı bu çalışmanın giriş bölümünde yapısal taşıyıcı sistem hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, bir doğrultusu süneklik düzeyi normal çerçevelerden, diğer doğrultusu ise süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdelerden oluşan yapının yük analizleri EC yönetmeliklerine göre yapılmış, oluşan yük durumlarına ait kombinasyonlar kullanılarak yapı analiz edilmiştir. Analizi yapılan yapı EC 3'e göre boyutlandırılmıştır. Ayrıca yatay ve düşey deplasmanlar EC yönetmeliğine göre istenen sınırlar içinde kalması sağlanmıştır. Yapının birleşim hesapları da yine EC3 yönetmeliğine göre yapılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, aynı yapının yük analizleri ASCE yönetmeliklerine göre yapılmış, oluşan yük durumlarına ait kombinasyonlar kullanılarak yapı analiz edilmiştir. Analizi yapılan yapı LRFD'e göre boyutlandırılmıştır. Ayrıca yatay ve düşey deplasmanlar LRFD yönetmeliğine göre istenen sınırlar içinde kalması sağlanmıştır. Yapının birleşim hesapları da yine LRFD yönetmeliğine göre yapılmıştır..

Çalışmanın dördüncü bölümünde, ikinci ve üçüncü bölümde boyutlandırılan yapısal çelik elemanların herbirinin EC3 ve LRFD hesaplarındaki talep / kapasite oranlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmaya ait kapasite oranlarını belirten çizelge bölüm 4'de bulunmaktadır. Ayrıca her iki yönetmeliğe göre yapıya etkiyen yüklerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Birleşimler de her 2 yönetmeliğe göre tekrar kontrol edilmiştir. Eurocode yönetmeliğine göre hesap yapılırken 8.8 kalite bulon, LRFD yönetmeliğine göre hesap yapılırken ise A325 kalite bulon seçilmiştir. Kaynak hesapları her 2 yönetmeliğe göre yapılmıştır. Birleşimlerde detaylarını önemli ölçüde değiştirecek bir farka rastlanmamıştır.

Sonuç olarak, her iki yönetmeliğe göre karşılaştırmalı olarak boyutlandırılan bu yapıda genel olarak büyük bir fark gözükmediği ortaya çıkmıştır. Yapıda deprem

yükleri, genel olarak rüzgar ve kar yüküne göre etkin bir durum ortaya çıkarmamıştır. LRFD tasarımı, düşey yüklerin daha olumsuz değerler almış olması ve en etkin düşey yük olan kar yükünün kombinasyon çarpanının daha büyük olması nedeniyle ana makas elemanları olan makas üst başlığı, makas alt başlığı, makas diyagonalleri ve makas dikmelerinde EC3 tasarımına göre global olarak daha olumsuz sonuçlar vermiştir. Yatay ve düşey çaprazların ve tali kirişlerin boyutlandırılmasında ise EC3 'de rüzgar yükü etkileri daha olumsuz durumlar yaratmıştır. LRFD tasarımında ise rüzgar yükleri daha olumlu sonuçlar vermiş olup, yapısal davranış katsayılarının EC3' e göre daha düşük olması nedeniyle deprem yükünü içeren kombinasyonlar düşey çaprazların boyutlandırmasında rüzgar yüküne göre daha etkili rol oynamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Çelik Yapılar Eurocode 3 Ders Notları**, 2002 , İTÜ, İstanbul , Prof. Dr. Alpay Özgen ; Doç. Dr. Güliz Bayramoğlu, İstanbul
- [2] **Eurocode 1**: 1993 , “ Basis of Design and Actions on Structures” *European Committee For Standardization*, Brussels
- [3] **Eurocode 3**: 1993 , “ Design of Steel Structures” ENV 1993-1-1 : Part 1.1: General rules and rules for buildings, *European Committee For Standardization*, Brussels
- [4] **Çelik Yapılar Eurocode 3 Uygulamaları**, 2002 , İTÜ, İstanbul , Doç. Dr. Güliz Bayramoğlu, İstanbul
- [5] **TS-EN 1991-1-3**: “ Yapılar Üzerindeki Etkiler” Bölüm 1.3: Genel Etkiler – Kar Yükleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [6] **TS-7046: 1989** “ Yapıların Tasarımı için Esaslar – Çatılardaki Kar Yüklerinin Tespiti ”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [7] **TS-498: 1987** “ Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri ”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [8] **TS-EN 1991-1-4**: “ Yapılar Üzerindeki Etkiler” Bölüm 1.3: Genel Etkiler – Rüzgar Yükleri *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [9] **Eurocode 8**: 1998 , “ Design of structures for earthquake resistance” ENV 1998-1-1 : Part 1.1: General rules, seismic actions and rules for buildings *European Committee For Standardization*, Brussels
- [10] **DBYBHY: 2007** “ Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” , *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [11] **Eurocode 3**: 1993 “ Design of Steel Structures” ENV 1993-1-1 : Part 1.8: Design of joints, *European Committee For Standardization*, Brussels
- [12] **AISC – 360-05 : 2005** , “ Specification for Structural Steel Buildings - Load and Resistance Factor Design” , *American Institute of Steel Structures*, Chicago
- [13] **ASCE-7 : 2005** “ Structural Engineering Institute Standart 7-05 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures” , *American Society of Civil Engineers*, USA

EKLER

EK A.1 : Perspektif Görünüş

EK A.2 : Plan Görünüşleri

EK A.3 : Kesit Görünüşleri

EK A.4 : Cephe Görünüşleri

EK A.5 : Tipik Bağlantı Detayları

EK A.6 : Temel Planı, Donatı ve Ankraj Detayları

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Samet ÖZCAN
Doğum Yeri ve Tarihi: Bolu, 1985
Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi