

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ PROFİL KULLANARAK ENDÜSTRİYEL
YAPI TASARIMI VE HESAP METOTLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlkem DÖNMEZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ PROFİL KULLANARAK ENDÜSTRİYEL
YAPI TASARIMI VE HESAP METOTLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İlkem DÖNMEZ
(501081042)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yar. Doç. Dr. Özden Barlas ÇAĞLAYAN

HAZİRAN 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501081042 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **İlkem DÖNMEZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ PROFİL KULLANARAK ENDÜSTRİYEL YAPI TASARIMI VE HESAP METOTLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yar. Doç. Dr. Özden Barlas ÇAĞLAYAN**.....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Erişan Filiz Piroğlu**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Bilge Doran
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2017**
Savunma Tarihi : **07 Haziran 2017**





Eşim Şeyda'ya ve kızım İdil Naz'a,



ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mühendisliği yüksek lisans programı çerçevesinde hazırlanan bu yüksek lisans tezinde; hafif çelik yapı sistemlerinin özellikle de taslak deprem yönetmeliğinde olması ve bir takım kurallar çerçevesinde tarif edilmesi, hafif çelik yapı sistemlerinin daha sık kullanılması ve tasarlanması gerçeğini ortaya koymuştur. Güncellenen bazı coğrafi koşullar ve mühendislerin sık kullandığı yük yönetmelikleri yerine, TS EN 1991-1-3 (*Kar yüklerinin Yapılar Üzerindeki Etkisi*) ve TS EN 1991-1-4 (*Rüzgar yüklerinin yapılar üzerindeki etkisi*) standartları kullanılarak yüklerin daha doğru ve detaylı bir şekilde yapı sistemine etki ettirilmesi hedeflenmiştir. Hafif çelik yapı sistemi, son yıllarda gelişen 3 boyutlu hesap programları ile analiz edilmiş ve tasarım yöntemi olarak AISI-LRFD (*Load and Resistance Factor Design*), AISI-ASD (*Allowable Strength Design*) standartlarına göre tahkik edilmiş ve tasarlanmıştır. Tasarım sonuçları CFS (Cold Formed Steel) programı ile de kıyaslanmıştır. Çalışmalarım sırasında fikir ve tecrübelerinden yararlandığım tez danışman hocam Sayın Yar.Doç.Dr. Özden Barlas ÇAĞLAYAN'a, sevgilerini ve desteklerini hiç esirgemeyen aileme en içten dileklerle teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Haziran 2017

İlkem DÖNMEZ
(İnş. Müh.)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (LRFD)	7
1.2 LRFD ve ASD Tasarım İlkelerinin Karşılaştırılması.....	9
1.3 Yeni Deprem Yönetmeliğine Geçiş	9
2. YAPI YÜKSEKLİĞİNİN BELİRLENMESİ	11
2.1 Yapı Geometrisinin Belirlenmesi	11
3. YÜK VE YÜK KOMBİNASYONLARI	17
3.1 Kar yükü (TS EN 1991-1-3).....	17
3.2 Rüzgar yükü (TS EN 1991-1-4)	22
3.3 Kaplama yükü	33
3.4 Yük Kaynakları ve Yük Kombinasyonları.....	34
4. HAFİF ÇELİK YAPI TASARIMI	37
4.1 Sistem Tasarımı	41
4.2 Yapı Sistem Boyutları	41
4.3 Malzeme Tanımları	42
4.4 Malzeme Kesit Özellikleri	44
4.5 Hafif Çelik Yapı Sisteminin Dinamik Analizi (Deprem Tasarımı)	46
4.6 Deprem Taban Kesme Kuvveti Katsayısı Yatay Yük Analizi	49
4.7 Deprem Taban Kesme Kuvveti Katsayısı Düşey Yük Analizi	52
4.8 Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü:	55
4.9 Sehim Deformasyonu Kontrolü	57
4.10 Kesit Tasarımları	58
4.10.1 Kiriş Tasarımı (Eleman No:168).....	58
4.10.2 Düşey Çapraz Tasarımı (Eleman No:687)	60
4.10.3 Çatı Çapraz Tasarımı (Eleman No:3).....	61
4.10.4 Aşık Tasarımı (Eleman No:3)	62
4.11 Yapı Taşıyıcı Konstrüksiyon Ağırlığı:	64
5. HAFİF ÇELİK KOLON TASARIMI	65
5.1 Tasarım Yapılan Kolon Elemanın Özellikleri.....	65
5.2 Karakteristik Eksenel Kuvvet Dayanımının Hesaplanması	66
5.2.1 Karakteristik Burkulma Gerilmesi	66
5.2.1.1 Eğilmeli Burkulma Sınır Durumu	66

5.2.1.2 Burulmalı Burkulma Sınır Durumu.....	67
5.3 Etkin Kesit Alanı	68
5.3.1 Rijitleştirici Tırnak Etkin Genişliği.....	68
5.3.2 Basınç Başlığı Etkin Genişliği	68
5.3.3 Rijitleştirici Kenar Etkin Genişliği.....	70
5.3.4 Gövde Elemanının Etkin Genişliği :	70
5.4 Distorsiyonal Burkulma Dayanımına Göre Eksenel Kuvvet Dayanımı.....	71
5.4.1 AISI Standartı C4.2(a)'nin Uygulanması :	71
5.4.2 AISI Standardı C4.2(b)'nin Uygulanması	73
5.5 Tasarım Denkleminin Seçilmesi.....	76
5.6 Moment Değerinin Hesaplanması	77
5.6.1 Akmanın Başlamasına Dayanarak Dayanımın Bulunması :	77
5.6.2 Eksenel Kuvvet Değerinin Hesaplanması	88
5.7 Kapasite Oranlarının Kontrol Edilmesi	89
6. AĞIR ÇELİK SİSTEM TASARIMI	91
6.1 Sistem Tasarımı	91
6.2 Yapı Sistem Boyutları	92
6.3 Ağırlık Çelik Malzeme Özellikleri	93
6.4 Ağırlık Çelik Yapı Sistemin Dinamik Analizi (Deprem Tasarımı).....	95
6.5 Deprem Taban Kesme Kuvveti Katsayısı Düşey Yük Analizi	98
6.6 Tasarım Sonuçları :	99
6.7 Yapı Taşıyıcı Konstrüksiyon Ağırlığı	100
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER.....	101
KAYNAKLAR.....	103
EKLER.....	105
ÖZGEÇMİŞ.....	117

KISALTMALAR

AISC	: American Institute of Steel Construction
AISI	: American Iron and Steel Institute
ASD	: Allowable Stress Design
CFS	: Cold Form Steel
DLH	: Kıyı ve liman yapıları, demiryolları deprem teknik yönetmeliği
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
LRFD	: Load and Resistance Factor Design
İYBRY	: İstanbul yüksek binalar rüzgar yükleri
SAP 2000	: Structural Analysis Program
TS 498	: Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri
TS 11372	: Çelik yapılar hafif soğukta şekil verilmiş profillerle oluşturulan hesap kuralları
TS EN 1991-1-3	: Kar yüklerinin yapılar üzerinde ki etkisi
TS EN 1991-1-4	: Rüzgar yüklerinin yapılar üzerinde ki etkisi



SEMBOL LİSTESİ

A	: Profilin enkesit alanı
A_g	: Gövde kesit alanı
A_e	: Profil etkin kesit alanı
b	: Profilin başlık genişliği
b_0	: Profilin etkin başlık genişliği
c	: Yay kütle merkezinin yay merkezine olan dik uzaklığı
c	: Tırnak uzunluğu
C_0	: Orografi katsayısı
C_b	: Momente bağlı eğilme katsayısı
C_{dir}	: Yön katsayısı
C_e	: Maruz kalma katsayısı
C_{prob}	: Olasılık katsayısı
C_r	: Engebelilik katsayısı
C_t	: Isı katsayısı
C_{season}	: Mevsim katsayısı
C_w	: Burulma sabiti
d	: Kesit derinliği
D	: Ölü yük
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
E	: Deprem yükü
F_1	: 1.0 saniye periyod için yerel zemin etki katsayısı
F_e	: Elastik burkulma gerilmesi
F_s	: Kısa period bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
g	: Yer çekimi ivmesi
h_0	: Kesit yüksekliği
h_i	: Kat yüksekliği
h_x	: X doğrultusu başlığın kütle merkezinden başlık-gövde bağlantısına olan uzaklığı
I	: Bina önem katsayısı
I_{xf}	: X doğrultusu başlık atalet momenti
I_{yf}	: Y doğrultusu başlık atalet momenti
I_{xyf}	: Kuvvetli ve zayıf eksen kütle merkezleri ile ilgili başlık atalet momenti
$I_v(z)$	: z metre yükseklikteki türbülans şiddeti
I_x	: X yönü atalet momenti
I_y	: Y yönü atalet momenti
I_{yc}	: Basınç alanı atalet momenti, y eksenini atalet momentinin yarısı
J	: Burulma sabiti
J_f	: Basınç başlığı St.Venant burulma sabiti
k_1	: Türbülans katsayısı
k_d	: Distorsiyonal burkulma durumu için plak burkulma katsayısı
k_x	: X yönü burkulma katsayısı

k_y	: Y yönü burkulma katsayısı
$k_{\phi fe}$	: Elastik dönme rijitliği,
$k_{\phi we}$	: Elastik dönme rijitliği,
$\bar{k}_{\phi fg}$	: Geometrik dönme rijitliği,
$\bar{k}_{\phi wg}$	: Geometrik dönme rijitliği
L	: Hareketli yük
L	: Yay uzunluğu
L_{cr}	: Kritik burkulma boyu
L_F	: Fay düzlemine olan mesafe
L_r	: Çatı hareketli yükü
Lm	: distorsiyonal burkulmayı engelleyen berkitmeler arası uzaklık
L_x	: Profilin X yönü tutulu olan boyu
L_y	: Profilin Y yönü tutulu olan boyu
m	: Çatı eğimine bağlı azaltma değeri
m_t	: Binanın bodrum katlarının üstündeki toplam kütle
Mr	: LRFD veya ASD yük kombinasyonları altında hesaplanan eğilme momentine ait gerekli eğilme dayanımı
M_n	: Profilin moment taşıma kapasitesi
n	: Üstel sayı
S	: Kar yükü
p	: Yıllık aşılma olasılığı
P_n	: Nominal eksenel dayanım
R	: Yağmur veya buz yükü
R	: Bükme iç yarıçapının en büyük değeri
R	: Yapı davranış katsayısı
R'	: Profil eksen yarıçapı
r_x	: Profilin x eksenine atalet yarıçapı
r_y	: Profilin y eksenine atalet yarıçapı
s	: Çatı kar yükü değeri (kN/m ²)
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{aed}(T)$	: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi
S_{aR}	: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
S_{D1}	: 1.0 saniye periyod için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyod bölgesi için tasarım spektral ivme katsayısı
s_k	: Dikkate alınan mahaldeki karakteristik zemin kar yükü
S_x	: X yönü mukavemet momenti
S_y	: Y yönü mukavemet momenti
S_f	: Güçlü eksen mukavemet momenti
t	: levha kalınlığı
T	: Doğal titreşim periyodu
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{AD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{BD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_{LD}	: Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu

T_p	: Deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu
$u_i^{(x,y)}$	: i'inci katta azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri göstermektedir.
$u_i^{(x,y)}$	: (i-1)'inci katta azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri göstermektedir.
V_b	: Esas rüzgar hızı
V_{bo}	: Esas rüzgar hızının temel değeri
V_m	: Ortalama rüzgar hızı
$\overline{V_s}$	: 30 m için tanımlanan eş değer kayma dalgaası hızı
$V_{tE}^{(x)}$	: X yönü deprem taban kesme kuvveti
$V_{tE}^{(y)}$	: Y yönü deprem taban kesme kuvveti
X_{of}	: X doğrultusu başlığın kütle merkezinden başlığın kayma merkezine olan uzaklığı
Q_i	: Farklı yük etkileri
W	: Rüzgar yükü
Y_{of}	: Y doğrultusu başlığın kütle merkezinden başlığın kayma merkezine olan uzaklığı,
ϕ_b	: Eğilme için dayanım katsayısı
ϕ_c	: Basınç çubuklarında dayanım katsayısı
Ω	: Güvenlik katsayısı
Ω_b	: Eğilme için güvenlik katsayısı
Ω_c	: Basınç çubuklarında güvenlik katsayısı
γ_i	: Yük artırma faktörleri
R_n	: Nominal mukavemet
ϕ	: Mukavemet azaltma faktörü
γ_F	: Faya yakınlık katsayısı
μ_i	: Kar yükü şekil katsayısı
σ_v	: Rüzgar hızının bileşeninin standart sapması
$\Delta_i^{(x,y)}$	: X veya Y doğrultusunda yer değiştirme.
$\delta_i^{(x,y)}$	: Etkin görelî kat ötelemesi.
$\delta_{imax}^{(x,y)}$	: Etkin görelî kat ötelemesi
α	: Lm nin L _{cr} 'den küçük olduğu durumlarda, Fd hesabında kullanılan katsayı
λ	: Yapının görelî narinlik oranı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : LRFD ve ASD parametreleri (AISI 2007)	7
Çizelge 2.1 : Deprem düzeyleri için spektral ivme değerleri (DLH)	12
Çizelge 2.2 : Kısa periyod bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları (TBDY 2016).....	13
Çizelge 2.3 : 1.0 saniye periyod için Yerel Zemin Etki Katsayısı (TBDY 2016)	13
Çizelge 2.4 : Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY 2016)	14
Çizelge 2.5 : Deprem tasarım sınıfları (TBDY 2016)	15
Çizelge 2.6 : Yapı davranış katsayısı (TBDY 2016)	15
Çizelge 2.7 : Bina yükseklik sınıfları (TBDY 2016)	16
Çizelge 3.1 : Kar yükü değeri (TS 498)	18
Çizelge 3.2 : Çatı eğimine bağlı olarak azaltma değeri	19
Çizelge 3.3 : Farklı topografik alanlar için tavsiye edilen azaltma değerleri	20
Çizelge 3.4 : Kar yükü şekil katsayıları	21
Çizelge 3.5 : Arazi kategorileri ve arazi parametreleri (TS EN 1991-1-4)	23
Çizelge 3.6 : Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve emme değerleri (TS 498)	25
Çizelge 3.7 : Tavsiye edilen basınç katsayısı değerleri	29
Çizelge 3.8 : Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları	32
Çizelge 3.9 : ASD yük kombinasyonları (SAP 2000)	35
Çizelge 3.10 : LRFD yük kombinasyonları (SAP 2000)	35
Çizelge 3.11 : Deprem yük kombinasyonları (SAP 2000)	36
Çizelge 4.1 : Enkesit özellikleri (TBDY 2016)	38
Çizelge 4.2 : Enkesit özelliklerinin incelenmesi (TBDY 2016)	39
Çizelge 4.3 : SAP 2000’de tanımlanan sistem koordinatları	42
Çizelge 4.4 : Hafif çelik yapıda kullanılan malzeme özellikleri	42
Çizelge 4.5 : Kiriş profili 2xCC400-100-25-3,00mm	44
Çizelge 4.6 : Aşık profili CC180-60-20-2,00mm	45
Çizelge 4.7 : Çatı çapraz profili CC160-60-20-2,00mm	45
Çizelge 4.8 : Cephe çapraz profili CC140-50-10-1,50mm	46
Çizelge 4.9 : Bina yükseklik sınıfları (TBDY 2016)	47
Çizelge 4.10 : Bina kullanım amacı (TBDY 2016)	47
Çizelge 4.11 : Depreme katılan kütle hesabı	48
Çizelge 4.12 : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotları	48
Çizelge 4.13 : Doğrultulara göre R değerleri	51
Çizelge 4.14 : Spektral ivme katsayıları	51
Çizelge 4.15 : Düşey elastik ivme spektrumu	53
Çizelge 4.16 : Kiriş AISI-LRFD kesit reaksiyonları	58
Çizelge 4.17 : Kiriş AISI-ASD kesit reaksiyonları	59
Çizelge 4.18 : Düşey çapraz deprem kombinasyonu kesit reaksiyonları	60
Çizelge 4.19 : Çatı çapraz deprem kombinasyonu kesit reaksiyonları	61
Çizelge 4.20 : Aşık AISI-LRFD kesit reaksiyonları	63
Çizelge 4.21 : Aşık AISI-ASD kesit reaksiyonları	63
Çizelge 4.22 : Hafif çelik yapı konstrüksiyon ağırlığı	64

Çizelge 5.1 : Kolon elemanı özellikleri	66
Çizelge 5.2 : Plak burkulma katsayısının hesaplanması (AISI 07-Denklem 5.2).....	69
Çizelge 5.3 : Narinlik parametresi	69
Çizelge 5.4 : Azaltma katsayısı.....	70
Çizelge 5.5 : k Burkulma değeri	70
Çizelge 5.6 : Etkin kesit özellikleri, iterasyon-1.....	79
Çizelge 5.7 : Etkin kesit hesap değerleri.....	81
Çizelge 5.8 : Etkin kesit özellikleri, iterasyon-2.....	81
Çizelge 5.9 : Etkin kesit özellikleri, iterasyon-3.....	82
Çizelge 5.10 : Eleman Atalet Momenti	84
Çizelge 5.11 : Yanal burkulma dayanımı (AISI 2007).....	84
Çizelge 5.12 : α değerinin hesaplanması (AISI 2007).....	88
Çizelge 5.13 : AISI-ASD ve AISI-LRFD kapasite oranlarının hesaplanması.....	88
Çizelge 5.14 : Distorsiyonal burkulma hesabı ihmal edilmemiş kapasiteler.....	89
Çizelge 5.15 : Distorsiyonal burkulma hesabı ihmal edilmiş kapasiteler.....	89
Çizelge 6.1 : SAP 2000’de tanıtılan sistem koordinatları.....	93
Çizelge 6.2 : Ağır çelik yapıda kullanılan malzeme özellikleri.....	93
Çizelge 6.3 : Yapıda kullanılan profil malzemeleri	93
Çizelge 6.4 : Yapıda kullanılan profillerin karakteristik özellikleri.	95
Çizelge 6.5 : Yapı davranış katsayısı ve Dayanım fazlalığı katsayısı (TBDY 2016) 96	
Çizelge 6.6 : Ağır çelik yapı konstrüksiyon ağırlığı.....	100
Çizelge A.1 : Sap2000 gerilme sonuçları (AISC-LRFD 99).....	110

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı profiller.	2
Şekil 1.2 : Tek katlı hafif çelik yapı resmi.	3
Şekil 1.3 : Hafif çelik döşeme ve duvar paneli.	4
Şekil 1.4 : Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı C profil.	5
Şekil 1.5 : Roll form makinesi.	5
Şekil 1.6 : Abkant pres makinesi.	6
Şekil 1.7 : Bükme makinesi.	6
Şekil 1.8 : Hafif çelik sayfaların görünüşleri (TBDY 2016)	10
Şekil 2.1 : Hafif çelik bina yüksekliği.	16
Şekil 3.1 : Kar yağış haritası (TS 498)	18
Şekil 3.2 : İstanbul ili rakım yüksekliği.	19
Şekil 3.3 : Kar yükü şekil katsayısı (çift eğimli çatı) (TS EN 1991-1-3)	21
Şekil 3.4 : Kar yükünün SAP 2000 programında yapıya etki ettirilmesi.	22
Şekil 3.5 : Her arazi kategorisi için arazi yüzey engebeliliğinin gösterimi.	23
Şekil 3.6 : Yapı plan geometrisi (ölçüler mm cinsindendir).	28
Şekil 3.7 : Yapı kesit geometrisi (ölçüler mm cinsindendir).	28
Şekil 3.8 : Çift eğimli çatılar için yük bölge geometrileri-1.	30
Şekil 3.9 : X yönü rüzgar yükünün yapıya etki ettirilmesi (SAP 2000).	30
Şekil 3.10 : Y yönü rüzgar yükünün yapıya etki ettirilmesi (SAP 2000).	31
Şekil 3.11 : Y yönü rüzgar yükünün yapıya etki ettirilmesi (TS EN 1991-1-4).	31
Şekil 3.12 : Çift eğimli çatılar için yük bölge geometrileri-2 (TS EN 1991-1-4)	32
Şekil 3.13 : Çatı rüzgar yükünün yapıya etki ettirilmesi (SAP 2000).	33
Şekil 3.14 : Kaplama yükünün yapıya etki ettirilmesi (SAP 2000).	34
Şekil 4.1 : Minimum başlık genişliği (TBDY 2016)	39
Şekil 4.2 : Kenar rijitleştirme şekilleri (TS 11372).	40
Şekil 4.3 : Büküm yarıçapı (TS 11372).	40
Şekil 4.4 : 3D Yapı model resmi (SAP 2000).	41
Şekil 4.5 : Malzeme tanımı (SAP 2000).	43
Şekil 4.6 : Malzeme cinsine göre model resmi (SAP 2000).	43
Şekil 4.7 : Kiriş profili 2xCC400-100-25-3,00mm (CFS).	44
Şekil 4.8 : Aşık profili CC180-60-20-2,00mm (CFS)	44
Şekil 4.9 : Çatı çapraz profili CC160-60-20-2,00mm (CFS).	45
Şekil 4.10 : Cephe çapraz profili CC140-50-10-1,50mm (CFS).	46
Şekil 4.11 : Yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumu (TBDY 2016).	49
Şekil 4.12 : Yatay doğrultuda doğal titreşim periyodları (SAP 2000)	50
Şekil 4.13 : Yatay deprem kuvvetinin tanıtılması (SAP 2000)	51
Şekil 4.14 : Deprem taban kesme kuvveti katsayıları (SAP 2000)	52
Şekil 4.15 : Düşey elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumu (TBDY 2016)	53
Şekil 4.16 : Düşey doğrultuda doğal titreşim periyodu (SAP 2000)	54
Şekil 4.17 : Düşey deprem kuvvetinin tanıtılması (SAP 2000).	54

Şekil 4.18 : Göreli kat ötelemeri (SAP 2000)	56
Şekil 4.19 : Sehim kombinasyonu (SAP 2000)	57
Şekil 4.20 : Sehim deformasyonu (SAP 2000)	57
Şekil 4.21 : Kiriş kesit numarası (SAP 2000)	58
Şekil 4.22 : CFS programı kiriş tasarım sonuçları (AISI-LRFD)	59
Şekil 4.23 : CFS programı kiriş tasarım sonuçları (AISI-ASD)	59
Şekil 4.24 : Düşey çapraz kesit numarası (SAP 2000)	60
Şekil 4.25 : CFS programı düşey çapraz tasarım sonuçları (AISI-LRFD)	60
Şekil 4.26 : Çatı çaprazı kesit numarası (SAP 2000)	61
Şekil 4.27 : CFS programı çatı çaprazı tasarım sonuçları (AISI-LRFD)	62
Şekil 4.28 : Aşık kesit numarası (SAP 2000)	62
Şekil 4.29 : CFS programı aşık tasarım sonuçları (AISI-LRFD)	63
Şekil 4.30 : CFS programı aşık tasarım sonuçları (AISI-ASD)	64
Şekil 5.1 : Kolon profili 2xCC400-100-25-3,00mm (CFS)	66
Şekil 5.2 : Distorsiyonal burkulma şekilleri (AISI 2007)	71
Şekil 5.3 : C profil köşe resmi (AISI 2007)	72
Şekil 5.4 : C profil parametreleri (AISI 2007)	73
Şekil 5.5 : Hafif çelik köşe büküm detayı (AISI 2007)	77
Şekil 5.6 : Hafif çelik etkin bölge ve etkin çalışan gerilme bölgeleri (AISI 2007) ...	80
Şekil 5.7 : Tarafsız eksen ve gerilme blokları	83
Şekil 5.8 : CFS programında kolon elemanı tasarım sonuçları (AISI 99 - ASD)	90
Şekil 5.9 : CFS programında kolon elemanı tasarım sonuçları (AISI 99 - LRFD) ...	90
Şekil 6.1 : Ağır çelik yapı model resmi (SAP 2000)	92
Şekil 6.2 : Malzeme tanımı (SAP 2000)	94
Şekil 6.3 : Malzeme cinsine göre model resmi (SAP 2000)	94
Şekil 6.4 : Yatay doğrultuda doğal titreşim periyotları	96
Şekil 6.5 : Deprem taban kesme kuvveti katsayısı (SAP 2000)	97
Şekil 6.6 : Düşey doğrultuda doğal titreşim periyodu (SAP 2000)	98
Şekil 6.7 : Düşey deprem kuvvetinin tanıtılması (SAP 2000)	99
Şekil 6.8 : Gerilme kontör resmi (SAP 2000)	99
Şekil A.1 : SAP 2000 aks-1 görünüşü	106
Şekil A.2 : SAP 2000 aks-2 görünüşü	106
Şekil A.3 : SAP 2000 aks-3 görünüşü	107
Şekil A.4 : SAP 2000 aks-4 görünüşü	107
Şekil A.5 : SAP 2000 aks-5 görünüşü	108
Şekil A.6 : SAP 2000 aks-6 görünüşü	108
Şekil A.7 : SAP 2000 aks-A görünüşü	109
Şekil A.8 : SAP 2000 aks-F görünüşü	109

SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ PROFİL KULLANARAK ENDÜSTRİYEL YAPI TASARIMI VE HESAP METOTLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, özellikle hafif çelik profiller kullanılarak üretilmesi planlanan sistemlerin, taslak deprem yönetmeliğinde tarif edilmesi ve bir takım kurallar çerçevesinde hesap metodu oluşturulmasıyla birlikte endüstriyel alanlarda hafif çelik yapı sistemlerinin kullanılmasının artması beklenmektedir. Bu çalışmada hızla gelişen 3 boyutlu hesap programlarından da yararlanılarak tasarım yöntemlerine bir yaklaşım ve tarif getirilmeye çalışılmıştır.

Birinci bölümde hafif çelik profillerin üretim tarihçesi , üretim teknolojisi ve kesit özelliklerine değinilmiştir.

İkinci bölümde taslak deprem yönetmeliğindeki hafif çelik yapılar ile ilgili kat yüksekliği kuralları incelenmiş ve kurgulanacak sistemin yapı yüksekliği belirlenmiştir.

Üçüncü bölümde sık kullanılan TS 498 yük yönetmeliği yerine, TS EN 1991-3 (*kar yüklerinin yapılar üzerindeki etkisi*) ve TS EN 1991-4 (*rüzgar yüklerinin yapılar üzerindeki etkisi*) yönetmelikleri ile hesap yöntemi seçilmiş ve bu yüklerin yapıya uygulama biçimleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca yapı tasarımında kullanılacak olan yükleme kombinasyonları, AISI-LRFD, AISI-ASD ve taslak deprem yönetmeliğinde ki kombinasyonlar belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde hafif çelik yapının tasarımı yapılmıştır. Ayrıca deprem yükü hesabı yapılmış olup , bu hesapta DBYBHY-2007 yerine, içerisinde hafif çelik yapı sistemlerinin de tarif ve kurallarının verildiği taslak deprem yönetmeliği kullanılmıştır. Deprem yükünün hesabında eş değer deprem yükü metodu kullanılmış ve hesaplarına ayrıntılı bir şekilde değinilmiştir.

Beşinci bölümde hafif çelik yapı sistemini oluşturan kolon elemanın, eğilme ve basınç altındaki tasarımı AISI standartlarına uygun bir biçimde yapılmış, excel de yapılan hesap programı ile incelenmiş, sonuçlar CFS (Cold Formed Steel) programı ile karşılaştırılmıştır. Bu bölümde ayrıca LRFD ve ASD yöntemleri ayrı ayrı irdelenmiştir.

Altıncı bölümde aynı geometri ve yapısal özelliğe sahip yapı sistemi bu kez ağır çelik olarak tasarlanmış, bu tasarım yapılırken taslak halinde ki deprem yönetmeliğinden yararlanılmıştır. Ağır çelik yapıyı oluşturulan sistemin ağırlığı hesaplanmıştır.

Son bölümde ise yayınlanması düşünülen taslak deprem yönetmeliğinde ki hafif çelik yapı sistemlerinin tasarım kurallarına değinilmiş, DBYBHY-2007 yönetmeliğinde olmayan farklı kısımlar ortaya konmuştur. Hafif çelik yapı profilleri ile yapılması düşünülen endüstriyel tipteki binalarda kullanılması gereken yük

kombinasyonları tasarım kriterleri değerlendirilmiştir. Ağır elik profiller ile kurgulanan sistemin, hafif elik profillerle kurgulanan yapı sisteminin ağırlık açısından ekonomi kıyaslanması yapılmıştır.



EVALUATION ON CALCULATION METHODS AND STRUCTURAL DESIGN BY COLD –FORMED STEEL PROFILES IN INDUSTRIAL BUILDINGS

SUMMARY

In the present study submitted as a master science Thesis, it is anticipated that in mid-term, the utilization of light-gauge steel structures in industry will be in great demand along with being defined in seismic design code and establishing a calculation method based on cold-formed steel sections. By the present study, A new approach to the structural design methods is being mooted by means of rapidly-growing 3D structural design&modeling softwares.

In Part I, the history, production technology and section properties of cold-formed steel profiles are discussed.

In Part II, storey heights in light-gauge steel buildings with reference to seismic design code are analyzed and designated.

In Part III, A calculation method is designated with respect to TS EN 1991-1-3 (snow load effects on structures) and TS EN 1991-1-4 (wind load effects on structures) instead of TS 498 and the application of the mentioned load types in structural design are analyzed in details. Furthermore, the load combinations in structural design, which are in AISI-LRFD, AISI-ASD and the draft seismic code, are indicated.

In Part IV, a templated design of a LW structure is performed. Furthermore, the draft seismic code including the design principles of LW structures is referred in it instead of DBYBHY-2007 and a complete seismic load calculation is presented. Through the calculation, equivalent seismic load is utilized and described in details.

In Part V, The light-gauge steel column under bending and compression is designed structurally in accordance with AISI standards, re-examined by means of procedures compiled in MS Excell. The results are compared with those which are of CFS (cold-formed steel) software. In this Part, LRFD and ASD methods are examined respectively.

In Part VI, The structural system with same geometrical and structural characteristics is examined in case that heavy steel sections are utilized respectively. Through calculations in it, the draft seismic code is referred. The weight of the system in case of heavy steel design is assessed.

In the last part, the design principles of light-gauge steel structures in draft seismic code are mentioned. The differing parts with respect to DBYBHY-2007 are revealed and discussed. Load combinations which should be preferred in light-gauge structural design are examined. The heavy steel and light-gauge steel systems are compared economically by practicing respectively in a same model.



1. GİRİŞ

Çelik konstrüksiyon (taşıyıcı ve tali elemanlar) yapı sistemlerinde, sıkça kullanılan ve bilinen iki tip ana eleman vardır. Bunlardan biri ağır çelik (sıcakta form kazanmış), diğeri de daha az aşına olduğumuz hafif çelik (soğukta form kazanmış) elemanlardır.

Soğukta şekillendirilmiş konstrüksiyon elemanları, şerit şeklinde levha, profil, düz levhalar vb. gibi elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanlar yerine göre ana taşıyıcı konstrüksiyon elemanı olarak, bazı durumlarda da ikincil (tali) eleman olarak kullanılır. Genel anlamda hafif çelik elemanların et kalınlıkları 0,350 mm ile 6,50 mm aralığındadır. Soğukta şekil verilmiş (hafif çelik) konstrüksiyon elemanları yapı teknolojileri dışında aynı zamanda otomobil sanayisinde, demir yollarında, kara yolu yapım işlerinde, nakil hattı iletim kulelerinde, köprü yapılarında ikincil (tali) eleman olarak ta kullanılmaktadır. Şekil verilmesi, nakliyesinde ki ve montajında ki kolaylık, özellikle son yıllarda inşaat yapılarında tercih edilmesine neden olmuştur.

Hafif çelik profil elemanların bina yapım işlerinde kullanımı ilk olarak 1850' li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere de başlamış olup, bu yıllardan sonra kullanımı beklenenin aksine duraksamaya uğramıştır. Soğukta şekil verilmiş profillerin, yapı inşaatı alanında kullanımı 1940' ların başlarında tekrar yaygın hale gelmiş ve çeşitli deney ve testlerle de hesap ve tasarım metotları oluşturulmaya başlanmıştır. 1946 yılında Amerika da ince cidarlı soğukta form verilmiş konstrüksiyon elemanlarına ait teknik bir şartname çalışılmıştır. Bu şartname, Amerikan demir ve çelik enstitüsünün (AISI) yayınladığı "Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structure Members" (Soğukta şekil verilmiş çelik konstrüksiyon elemanının şartname ve dizaynı) şartnamedir. Bu şartname ilk yıllarında Cornell Üniversitesi tarafından desteklenmiş ve araştırmalarıyla George Winter bu şartnameye katkıda bulunmuştur.

Soğukta şekil verilmiş hafif çelik yapı elemanlarının bazı avantajları sağlaması da inşaat yapım işlerinde kullanılmasına olanak sağlar.

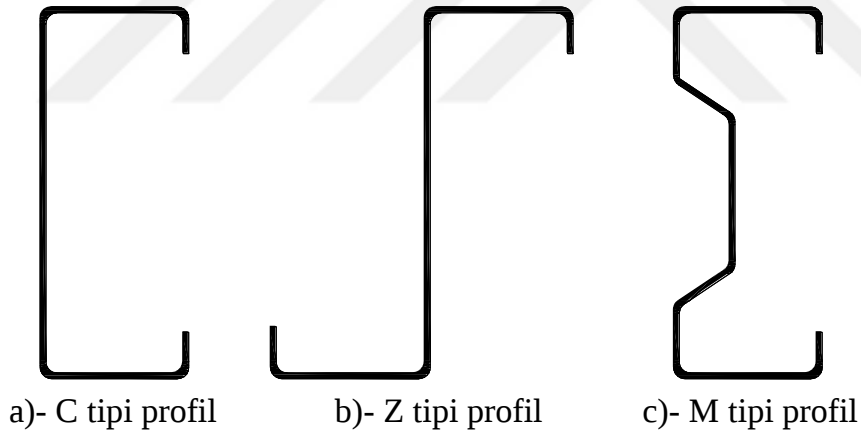
Hafif çelik yapı sisteminin inşaat işlerinde sağladığı bazı kolaylıklar şunlardır,

1) Sıcakta şekillenmiş yapı elemanlarına göre soğukta şekil verilmiş yapı elemanları daha az yük taşırlar ve küçük açıklıklar için kullanıldığında daha hafif yapı tasarlanmasına neden olurlar. Değişik form alabilme kabiliyetlerinden dolayı, daha hafif profiller ile yapı elemanı oluşturmamıza olanak sağlarlar.

2) Hafif çelik yapı elemanlarının, yapının kurulduğu sahaya nakledilmesi daha kolaydır. Elemanları kompakt paketler halinde sahaya sevk etme olanağı yüksektir.

3) Yapı montajı esnasında sonradan açılacak olan elektrik kabloları ve tesisat boruları için gerekli boşluklar önceden açılabilir. Sahada tekrar boşluk açılmasına gerek kalmaz.

4) Hafif çelik profiller, bir çok profil bağlantılarıyla bir panel şekline dönüşebilir ve bu sayede kendi doğrultularında gelen yüklere karşı kesme diyaframı gibi çalışabilir. Kesme diyaframı şeklinde çalışan panel elemanları yatay yüklere karşı direnç oluştururken aynı zamanda kaplama elemanları içinde bağlantı yüzeyleri oluştururlar.



Şekil 1.1 : Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı profiller.

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı hafif çelik profillerin bir arada bağlantı detayları çözüldükten sonra panel haline getirilmesi, istenilen fonksiyonellikte yapı alanları elde etmemize de olanak sağlar. Ağır çelik yapı sistemi ve betonarme yapı sistemine göre taşıyıcı eleman sayısı fazla ve daha sıktır. Taşıyıcı elemanlara etkiyen yük mertebeleri betonarme veya ağır çelik yapıya etkiyen yüklerden çok daha azdır. Bu sayede, hafif çelik yapı sistemde, betonarme ve ağır çelik ile dizayn edilen yapı sistemlerinden daha narin ve hafif profil elde etmemize olanak sağlanmış olur. Profiller bağlantılarında kullanılan elemanlar diğer ağır çelik yapı sisteminde

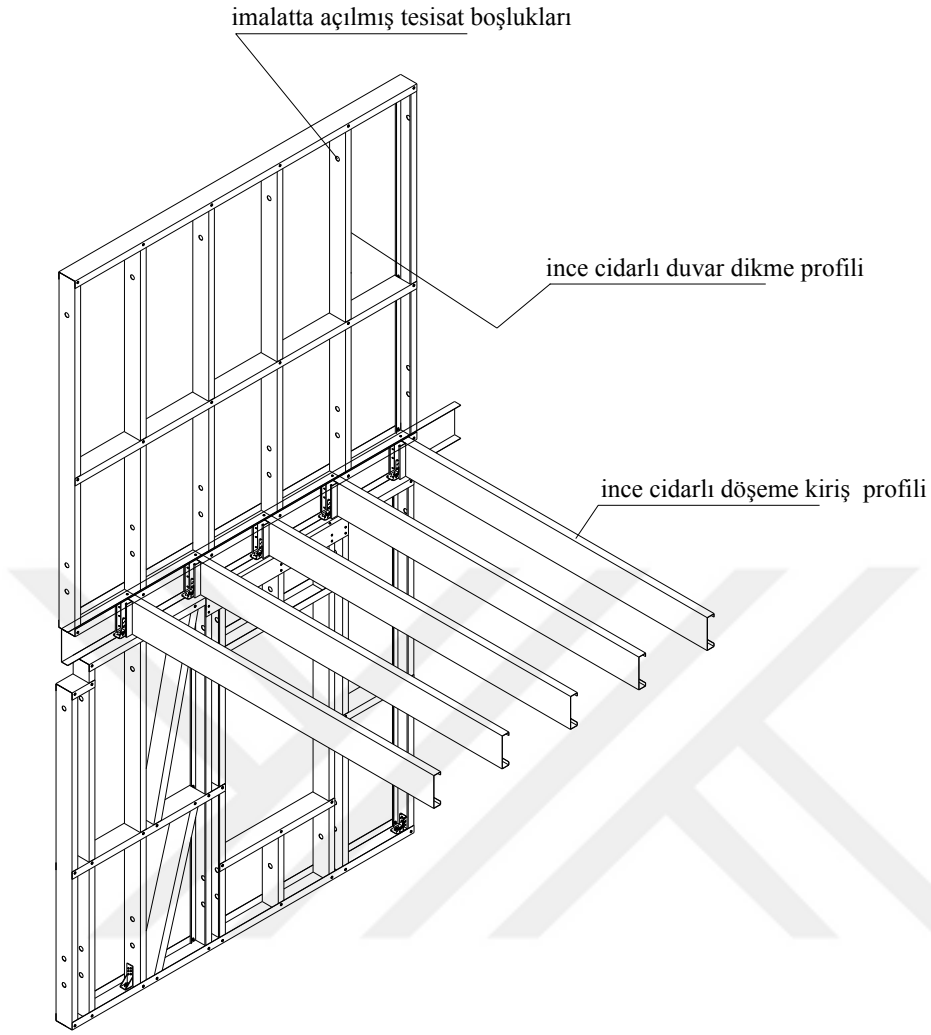
kullanılan elemanlardan daha küçük ebatlıdır. Aynı zaman da bağlantı detaylarını sahada uygulamak ağır çelik sistem ile tasarlanmış bir yapıdan çok daha kolaydır.



Şekil 1.2 : Tek katlı hafif çelik yapı resmi.

Hafif çelik yapı elemanlarını ahşap ve beton elemanlarla kıyasladığımızda aşağıda bahsedeceğimiz özellikler soğukta şekil verilmiş yapı elemanlarının tarafına avantaj olarak yansımaktadır,

- 1) Hafiflik,
- 2) Yüksek mukavemet ve sertlikte olması,
- 3) Prefabrikasyon ve seri üretim kolaylığı sağlaması,
- 4) Hızlı ve kolay kurulması,
- 5) Hava muhalefeti nedeniyle gecikmeleri önemli ölçüde ortadan kaldırması,
- 6) Daha doğru detaylandırılması (Proje detay tasarım kolaylığı),
- 7) Şekil vermek için yüksek ısıya gerek duyulmaması,
- 8) Kalıp gerektirmeden imalat yapılması,
- 9) Standart kaliteli yapı elemanları kullanılması,
- 10) Nakliye ve kullanma ekonomisi sağlaması,
- 11) Geri dönüşümlü malzeme olması.

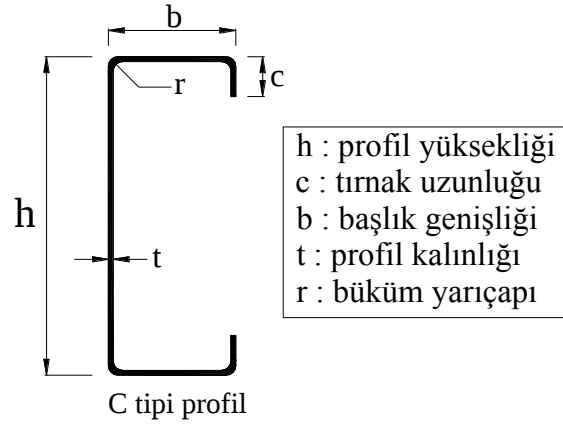


Şekil 1.3 : Hafif çelik döşeme ve duvar paneli.

Soğukta şekillendirilmiş ince cidarlı hafif çelik yapısal elemanlar iki ana tipte sınıflandırılabilir;

- a) Taşıyıcı eleman olarak kullanılan soğukta şekillendirilmiş hafif çelik profiller.
- b) Tali eleman olarak kullanılan soğukta şekillendirilmiş hafif çelik profiller.

Hafif çelik yapı sistemlerinde ki profillerin sık kullanılması taşıyıcı konstrüksiyonun montajının bitiminde aynı zamanda kaplama için sabitlenecek yüzeyin oluşmasıdır. Taslak deprem yönetmeliğinde kaplama olarak kullanılacak panel elemanların da yatay stabiliteye katkısı olduğu söylenmiş ve yatay yüklere karşı ne kadar direnç sağladığı anlatılmıştır.



Şekil 1.4 : Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı C profil.

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı yapı elemanlarına genel anlamda üç tip şekil verme metodu uygulanmaktadır.

Bunlar ;

1) Soğukta sürekli hattan (makara sistem) geçirerek şekillendirme,



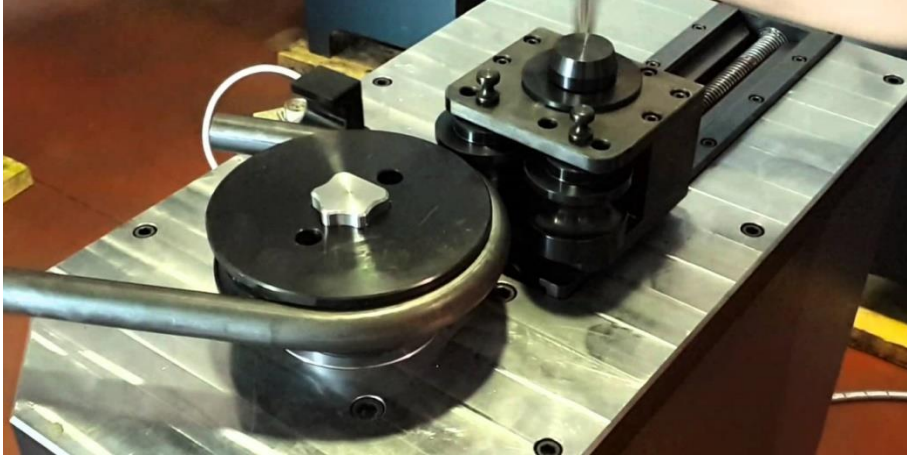
Şekil 1.5 : Roll form makinesi

2) Soğukta sürekli hattan geçirilmeden, basınç uygulayarak şekillendirme,



Şekil 1.6 : Abkant pres makinesi

3) Soğukta sürekli hattan geçirilmeden, eğerek şekillendirme.



Şekil 1.7 : Bükme makinesi

Yapı elemanının boyu, imalat hızı ve yapı elemanına form verilirken deformasyonun kontrol edilebilir olduğu düşünüldüğünde sürekli hattan geçirilerek şekillendirme özellikle ana taşıyıcı elemanlarda uygulanan yöntemlerin başında gelir. Bu konuda standart en kesit hesapları ve profillerin karakteristik özelliklerinin önceden belirlenmesi, hattın oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Standart ve sürekli aynı imalatın da uygulanabilmesi, işi yapan teknik ekibin deneyiminin artmasına ve yapılan imalat hatalarının azalmasına neden olacaktır.

1.1 Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (LRFD)

Son yıllarda, LRFD yöntemi, Amerika Birleşik Devletlerinde ve diğerk ülkelerde çelik yapıların tasarımı için kullanılmaktadır. LRFD yönteminin avantajları,

- 1) Farklı yük türlerinin belirsizlikleri ve değışkenlikleri çoklu kombinasyonların kullanımı ile hesaplanır.
- 2) Olasılık teorisi kullanılarak, tüm tasarımlar için ideal şekilde istikrarlı bir güvenilirlik sağılayabilir.

LRFD yaklaşımı izin verilen mukavemet tasarım yöntemiyle mümkün olandan daha akılcı ve net bir tasarım yönteminin temelini oluşturmaktadır.

İzin verilen kapasite tasarım metodu verilen limit durumundaki yük kombinasyonları için bir emniyet faktörü kullanılarak hesaplanır. Limit durum, bir yapının servis yüklerini ve elde edilmek istenen kullanım fonksiyonunu karşılayamadığı veya artık maksimum taşıma kapasitesine ulaştığına karar verilen koşuldur. LRFD tasarımında limit duruma göre dizayn yapma güvenilirliği içerdiğinden, diğerk tasarım yöntemlerine oranla son yıllarda daha çok tercih edilmeye başlanmıştır.

Çizelge 1.1 : LRFD ve ASD parametreleri (AISI 2007)

	LRFD	ASD
Eksenel Basınç Kuvveti:	$p = \frac{1}{\phi_c P_n}$	$p = \frac{\Omega_c}{P_n}$
Kuvvetli Asal Eksen Eğılme:	$b_x = \frac{8}{9} \frac{1}{\phi_b M_{nx}}$	$b_x = \frac{8}{9} \frac{\Omega_b}{M_{nx}}$
Zayıf Asal Eksen Eğılme:	$b_y = \frac{8}{9} \frac{1}{\phi_b M_{ny}}$	$b_y = \frac{8}{9} \frac{\Omega_b}{M_{ny}}$

Soğukta şekil verilmiş çelik elemanlar için sınır durumları, burkulma, makaslama, gövde deformasyonu ve aşırı gerilme gibi değıerlerdir. Bu sınır değıerler çeşitli deneyler sonucu kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. LRFD tasarım yöntemi, imalat, analiz, tasarım, yükleme, malzeme özelliklerinin istenilen koşullarda olmaması durumunda tasarımda iyileştirme sağılamak amacıyla belirli bir limit durum için birden fazla yük kombinasyonu ve bu duruma karşılık gelen direnç faktörlerinin

kullanılmasından ibarettir. Bu sayede yapıda ileride oluşabilecek servis yüklerinin tam olarak gerçeğe yansıtılması durumu LRFD yönteminde mümkündür.

$$Q_i \gamma_i \leq \phi R_n \quad (1.1)$$

(1.1) ifadesinde ki değerler,

Q_i : Farklı yük etkileri,

γ_i : yük artırma faktörleri,

R_n : nominal mukavemet (kesit ve malzeme özellikleri kullanılarak bulunan dayanım),

ϕ : Mukavemet azaltma faktörü.

LRFD yöntemi için kullanılacak olan yükler, ASD yönetmeliğinde ki yükler ile aynıdır. Ancak LRFD yöntemi kullanıldığında yük faktörleri ve yük kombinasyonlarının sınır durumu dikkate alınmalıdır.

Yapı ve elamanları için gerekli dayanım, arttırılmış yükleri içeren değişik kritik yük kombinasyonundan elde edilmelidir. Bu kombinasyonlar aşağıdakilerdir,

$$1.4D \quad (1.2)$$

$$1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ veya } S \text{ veya } R) \quad (1.3)$$

$$1.2D + 1.6(L_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (L \text{ veya } 0.5W) \quad (1.4)$$

$$1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ veya } S \text{ veya } R) \quad (1.5)$$

$$0.9D + 1.0W \quad (1.6)$$

$$1.2D + 1.0E + 0.2S \quad (1.7)$$

$$0.9D + 1.0E \quad (1.8)$$

Bu ifadelerde ki kombinasyonlarda yer alan parametreler,

D : Ölü yük

L : Hareketli yük

L_r : Çatı hareketli yükü

W : Rüzgar yükü

S : Kar yükü

E : Deprem yükü

R : Yağmur veya buz yükü

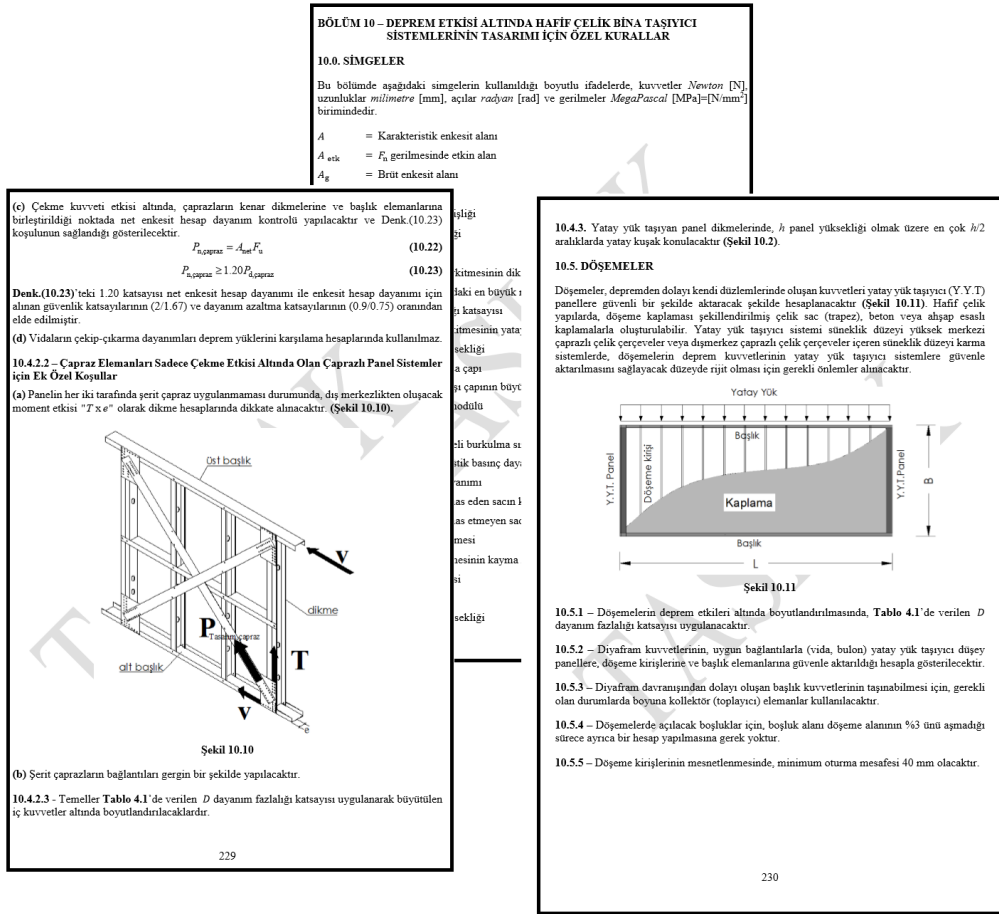
1.2 LRFD ve ASD Tasarım İlkelerinin Karşılaştırılması

LRFD yönetmeliği özellikle mukavemet azaltma faktörleri ve kombinasyonlarda ki değişkenlikler içerdiğinden, çelik yapıların tasarımında gerçek davranışların göz önüne alınmasında daha gerçekçidir. Hareketli yükün ölü yüke oranının az miktarda olduğu sistemler de LRFD tasarımını kullanmak daha ekonomik yapı tasarımı sağlamamıza neden olmaktadır. Ancak hareketli yük ve ölü yük oranının yaklaşık olarak üçe eşit veya yüksek olduğu yük durumlarında ASD tasarımı yapmak daha ekonomik yapı sistemi tasarlamamıza yardımcı olacaktır. LRFD tasarım yöntemi betonarme yapılarda kullanılan limit tasarım yöntemi gibi bir başka yöntemdir. LRFD tasarım yöntemi aynı zamanda yük artırma katsayısı ve dayanım için farklı katsayılar kullanıldığı için ASD yönetmeliğine göre servis yüklerinde karşılaşılabilecek daha belirsiz yükleme durumlarını tanımlar. Yani yapıda daha üniform bir güvenlik sağlama durumu söz konusudur. Genel olarak LRFD tasarım yöntemi dayanıma göre limit kapasite açısından gerçek yapı davranışıyla daha uyumludur ve geliştirilebilir.

1.3 Yeni Deprem Yönetmeliğine Geçiş

Ülkemizde, özellikle yapım metodu olarak kullanılmaya başlanan soğukta şekil verilmiş ince cidarlı profillerden oluşturulmuş yapı sistemi sayısının artması ulusal bir hesap yöntemi geliştirilmesine olanak sağlamış ve bu bağlamda şu an taslak olarak hazırlanan deprem yönetmeliğinde (TBDY 2016) soğukta şekil verilmiş ince cidarlı hafif çelik yapılar yer almıştır. Hali hazırda kullanılan deprem yönetmeliğinde, yapı davranış katsayısı, kat yüksekliği sınırlaması gibi değerlerin olmaması, avrupa ve amerikan yönetmeliklerinin kullanılması zorunluluğunu getiriyordu. Böylelikle yerel koşullarda ki bir çok kriterin sağlanamaması gibi bir takım olumsuzlukları da beraberinde getiriyordu. Taslak olarak yayımlanan deprem yönetmeliğinde (TBDY 2016) bölüm 2, bölüm 3, bölüm 4 ve bölüm 10'da hafif çelik yapı sistemleriyle ilgili yapım teknikleri, dizayn yaklaşımları, parametrik

kabullerin yapıldığı gözlemlenmiştir. Deprem haritasının tamamlanmasından sonra taslak olarak sunulan yeni yönetmelik kullanılmaya başlayacaktır.



Şekil 1.8 : Hafif çelik sayfaların görünüşleri (TBDY 2016)

2. YAPI YÜKSEKLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı profiller ile oluşturulmuş yapı sistemi tasarımında, taslak deprem yönetmeliğinde yapı yüksekliği ile ilgili çeşitli düzenlemeler getirilmiştir. Aynı zamanda taslak deprem yönetmeliğinde, yapının kullanım fonksiyonelliği ile ilgili bir takım kurallar ve sınırlar da getirilmiştir. Özellikle hafif çelik yapı dizaynı yaparken ulusal bir deprem yönetmeliği olmadığından yapı geometrisi tasarlanırken mühendisler tasarım ve hesaplarda kısıtlama olmadığı için taslak deprem yönetmeliğine uygun olmayan yapı sistemleri tasarlayabiliyordu.

Yapının kurulacağı bölgenin de koordinatları taslak halinde olan yönetmelikte spektral ivme katsayısını hesaplamak için önem teşkil etmektedir.

Taslak yönetmelikte koordinatlardaki kısa periyod bölgesi için yerel zemin etki katsayıları ve 1.0 saniye periyod için yerel zemin etki katsayıları bilinmediğinden, hesabı yeni yönetmeliğe göre yapmak için daha önce hazırlanmış olan zemin etki katsayıları, DLH (Kıyı ve liman yapıları demiryolları deprem teknik yönetmeliği) yönetmeliği kullanılarak belirlenecektir.

2.1 Yapı Geometrisinin Belirlenmesi

Yapının yapılacağı yer koordinat itibarıyla 41.00 derece enlem, 29.00 derece boylam lokasyonunda olup faya 15 km'den daha yakındır. Hafif çelik yapılar için taslak deprem yönetmeliği madde 3.5.2.2'de "Tablo 3.4'te belirtilmeyen yığma, ahşap ve hafif çelik binaların deprem hesabı, DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında Can Güvenliği (CG) performans hedefini sağlamak amacı ile Bölüm 4'e göre Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı ile yapılacaktır" ibaresi yer almaktadır. Deprem yönetmeliği madde 2.2.2'de DD2 (Deprem yer hareket düzeyi-2) için "DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak

da adlandırılmaktadır tanımı yapılmıştır. Yapının kurulacağı zemin sınıfı “B” olarak alınacaktır. Bu değer için DLH yönetmeliğinde B zemin sınıfı için tanımlanan spektral ivme değerlerini, DLH yönetmeliğinde ki Ek B’de yapılan zemin sınıflandırması esas alınarak Ek 1–1.2.2’ye göre belirlenecektir.

İvme Spektrumu’nda esas alınan B zemin sınıfı değeri :

$$760 \text{ m/sn} < \bar{V}_s \leq 1500 \text{ m/sn} \quad (2.1)$$

(2.1) ifadesinde ki değerler,

$\bar{V}_s$: 30 m için tanımlanan eş değer kayma dalgası hızı.

Taslak deprem yönetmeliğinde yayımlanan madde 2.3.2.1 gereği spektral ivmeyi hesaplayabilmek için referans zemin koşulu alınması gerekmektedir.

Zemin sınıfı ve koordinatlarını belirlenen yapının spektral ivme değerlerini DLH yönetmeliği Ek-A sayfa 89’dan yararlanılarak çizelge 2.1 ‘de hesaplanabilir.

Çizelge 2.1 : Deprem düzeyleri için spektral ivme değerleri (DLH)

Koordinat		Kısa Periyod için Spektral İvme (g) - S_s			1.0 sn Periyodu için Spektral İvme (g) – S_1		
		50 yılda aşılma olasılığı			50 yılda aşılma olasılığı		
Boy.	En.	%50	%10	%2	%50	%10	%2
29.0	41.0	0.62	1.19	1.80	0.23	0.58	1.02

Yapının kurulacağı enlem ve boylam koordinatlarına göre S_s ve S_1 değerleri :

$$S_s = 1.19 \quad (2.2)$$

$$S_1 = 0.58 \quad (2.3)$$

Deprem yönetmeliği gereği madde 2.3.2.2 gereği tanımlanan harita spektral ivme katsayıları olan S_s (2.2) ve S_1 (2.3) değerleri S_{DS} ve S_{D1} değerlerine dönüştürülür.

$$S_{DS} = S_s F_s \quad (2.4)$$

$$S_{D1} = S_1 \gamma_F F_1 \quad (2.5)$$

(2.4) ve (2.5) ifadelerinde,

S_{DS} : Kısa periyod bölgesi için tasarım spektral ivme katsayısı

S_{D1} : 1.0 saniye periyod için tasarım spektral ivme katsayısı

γ_F : Faya yakınlık katsayısı

F_s : Kısa period bölgesi için yerel zemin etki katsayısı

F_1 : 1.0 saniye periyod için yerel zemin etki katsayısı

(2.4) ve (2.5) ifadelerinde tanımlanan γ_F (faya yakınlık katsayısı), F_s (Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı) ve F_1 (1.0 saniye periyod için yerel zemin etki katsayısı) değerleri deprem yönetmeliği kullanılarak hesaplanır.

γ_F (faya yakınlık katsayısı) değeri faya yakınlık 15 km'den az olduğu için,

$$\gamma_F = 1.2 \quad L_F \leq 15 \text{ km} \quad (2.6)$$

(2.6) ifadesinde,

L_F : Fay düzlemine olan mesafe

F_s ve F_1 ifadelerini hesaplamak için taslak deprem yönetmeliğinde sırasıyla tablo 2.1 ve tablo 2.2'den yararlanılarak bulunur.

Çizelge 2.2 : Kısa periyod bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları (TBDY 2016)

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyod bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.5$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

Çizelge 2.3 : 1.0 saniye periyod için Yerel Zemin Etki Katsayısı (TBDY 2016)

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyod için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_l \leq 0.1$	$S_l = 0.2$	$S_l = 0.3$	$S_l = 0.4$	$S_l = 0.5$	$S_l \geq 0.6$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

Çizelge 2.2'den yararlanarak $F_s = 0.9$ çizelge 2.3'den yararlanarak $F_1 = 0.8$ olarak bulunur.

Kısa periyod ve 1.0 saniye periyod için tasarım spektral ivme katsayıları (2.4) ve (2.5) ifadeleriyle hesaplanır.

$$S_{DS} = 1.19 \times 0.9 = 1,071 \quad (2.4)$$

$$S_{D1} = 0.58 \times 1.20 \times 0.80 = 0,557 \quad (2.5)$$

Tasarım spektral ivme katsayıları bulunduğundan sonra bina kullanım sınıfı (BKS) ve deprem tasarım sınıfı (DTS) belirlenmelidir. Bina kullanım sınıfının belirlenmesi için bina fonksiyonelliğine bağlı, deprem yönetmeliği bölüm 3 tablo 3.1'den yararlanılır.

Çizelge 2.4 : Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY 2016)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

Yapı endüstriyel yapı olduğu için bina kullanım sınıfı ,

$$BKS = 3$$

$$(2.7)$$

Bina kullanım sınıfı belirlendikten sonra, deprem tasarım sınıfını belirlemek için taslak deprem yönetmeliği bölüm 3 tablo 3.2'den yararlanılır.

Çizelge 2.5 : Deprem tasarım sınıfları (TBDY 2016)

(DD-2) Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.333$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.333 \leq S_{DS} < 0.667$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.667 \leq S_{DS} < 1.00$	DTS = 2a	DTS = 2
$1.00 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Bina kullanım sınıfı 3 olarak **(2.7)** eşitliğinde daha önce belirlenmişti. Çizelge 2.5'te **(2.7)** ve **(2.4)** değerlerini kesiştirilerek deprem tasarım sınıfı,

$$DTS = 1 \quad (2.8)$$

olarak belirlenir. Bina kullanım sınıfı ve deprem tasarım sınıfı belirlendikten sonra, deprem yönetmeliği bölüm tablo3.3'ten deprem sınıfına göre tanımlanan bina yükseklik aralığı belirlenir. Ancak bina yükseklik sınıfını belirlemek için önce deprem yönetmeliği bölüm 4 tablo 4.1'de hafif çelik bina taşıyıcı sistemleri için izin verilen bina yükseklik sınıfının belirlenmesi gerekmektedir.

Çizelge 2.6 : Yapı davranış katsayısı (TBDY 2016)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
D. HAFİF ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
D1. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının kaplamalı veya çaprazlı panellerle karşılandığı süneklik düzeyi sınırlı hafif çelik binalar	3	2	$BYS \geq 7$
D2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı yapısal çelik çerçeveler ile kaplamalı ve çaprazlı hafif çelik paneller tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 6$

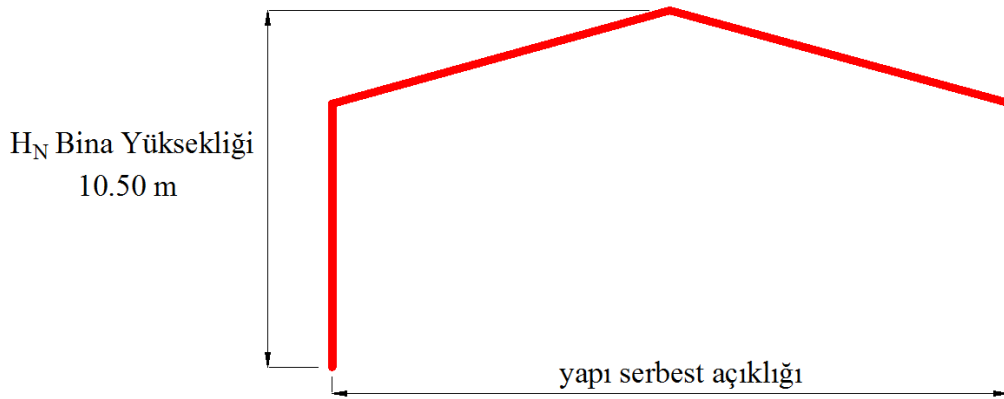
Hafif çelik bina taşıyıcı sistemi olarak Çizelge 2.6'dan yararlanılarak izin verilen bina yükseklik sınıfı $BYS \geq 7$ olarak belirlenir.

Çizelge 2.7 : Bina yükseklik sınıfları (TBDY 2016)

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Bina yükseklik sınıfı çizelge 2.6'dan $BYS \geq 7$ olarak seçilmiş, çizelge 2.5'ten de $DTS = 1$ olarak bulunmuştu. Bu değerleri çizelge 2.7'de kesiştirdiğimizde bina yüksekliğinin,

$7 < H_N \leq 10.5$ aralığında olacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 2.1 : Hafif çelik bina yüksekliği.

3. YÜK VE YÜK KOMBİNASYONLARI

Çelik yapı sistemi ve betonarme yapı sistemlerinin servis yükleri, rüzgar yükleri, kar yükleri gibi yapı tasarımı için gerekli olan değerler genel anlamda TS 498 yönetmeliği aracılığı ile belirlenmektedir. TS 498 yönetmeliği özellikle ülkemizde daha çok betonarme yapı tasarımlarında kullanılmış olup yüklerin en olumsuz biçimleri düşünülerek oluşturulmuştur.

Soğukta şekil verilmiş hafif çelik yapı profillerinden oluşturulacak sistemlerde yükler daha detaylı incelenmeli ve yapının kendisinden kaynaklanan konstrüksiyonda ki ekonomi, yapı sistemine optimum bir tasarım yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Düşey yüklerin çatıdan başlayarak kademe kademe zemine kadar indiği ve kolonlar vasıtasıyla temele aktarıldığı düşünüldüğün de yapının maruz kaldığı yüklerin aslında yapı sistemini oluşturan en önemli etkenlerden biri olduğu söylenebilir.

Bu bölümde TS 498 yönetmeliği ile TS EN 1991-1-3 ve TS EN 1991-1-4 yönetmeliği arasında ki farklar da kıyaslanacaktır. Yapı konstrüksiyon çözümünde TS EN standartlarına göre çözüm metodu uygulanacaktır. Özellikle TS EN standartlarında yapı geometrisinin yükleri belirleme de önemli bir yol göstermektedir.

3.1 Kar yükü (TS EN 1991-1-3)

Yapının yapılacağı yer koordinat itibariyle 41.00 derece enlem, 29.00 derece boylam lokasyonundadır. Bu değerler İstanbul ilinin merkeze yakın koordinatlarıdır. TS 498 (Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak olan yüklerin hesap değerleri) yönetmeliğine göre çalışılacak olunursa hesap için kullanılacak değer için şekil 3.1'deki kar yağış haritasına bakılarak bölgenin seçilmesi gerekmektedir. Ancak son yıllarda ki kar yağış yükseklikleri ve karların yapı üzerinde ki durma süreleri değişiklik göstermektedir. Bu neden ile hesap yapılırken kar yoğunluğu fazla alınacaktır.



Şekil 3.1 : Kar yağış haritası (TS 498)

Yapının kar yükü bölgesi seçilir. İstanbul ilinin merkezi 2.bölge olarak değerlendirilecektir. 2. bölge olarak bulunan bu bilgiden sonra koordinata göre rakım yüksekliğinin belirlenmesi gerekmektedir. 41.00 derece enlem, 29.00 derece boylam koordinatının rakım değeri şekil 3.2’den alınarak 65m olarak hesaplara yansıtılacaktır.

Bölge kar yükü haritasından bulunan yapının yapılacağı bölge ve rakım değeri belirlendikten sonra TS 498 yönetmeliği bölüm 8 çizelge.4 yardımı ile kar yükü hesap değeri çizelge 3.1’den hesaplanacaktır.

Çizelge 3.1 : Kar yükü değeri (TS 498)

	1	2	3	4	5
1	Yapı yerinin denizden yüksekliği	BÖLGELER			
	m	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
	≤200	0,75	0,75	0,75	0,75
Zati Karyükü (Pko) Değerleri kN/m ²					



Şekil 3.2 : İstanbul ili rakım yüksekliği.

Çizelge 3.1’den yararlanılarak $P_{k0} = 0,75 \text{ kN/m}^2$ olarak bulunur. Ancak TS 498 yönetmeliğinde P_{k0} değeri hesaplanırken kar yoğunluğu $100\text{-}300 \text{ kg/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Son yıllarda İstanbul ilinde yağın karın uzun süre yapılar üzerinde kaldığı düşünülerek beklemiş sıkı kar yoğunluğu değeri 300 kg/m^3 olarak hesaplara dahil edilecek ve $P_{k0} = 1,50 \text{ kN/m}^2$ olarak alınacaktır.

$$P_k = m \cdot P_{k0} \quad (3.1)$$

(3.1) ifadesinde,

m : Çatı eğimine bağlı azaltma değeri.

Çizelge 3.2 : Çatı eğimine bağlı olarak azaltma değeri

α	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7	8°	9°
0-30°	1,0									
30°	1,0	0,97	0,95	0,92	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77
40°	0,75	0,72	0,70	0,67	0,65	0,62	0,60	0,57	0,55	0,52
50°	0,50	0,47	0,45	0,42	0,40	0,37	0,35	0,32	0,30	0,27
60°	0,25	0,22	0,20	0,17	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,02
70-90°										

(3.1) ifadesindeki m değeri çizelge 3.2’den hesaplanacaktır. Çatı açısı 15 derece olduğundan m değeri 1 olarak alınacaktır. (3.1) ifadesinde ki kar yükü değeri,

$P_k = 1 \times 1,50 = 1,50 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanacaktır.

TS EN 1991-1-3 yönetmeliği ile kar yükü hesap edilecek ve tasarım hesaplarında bu değer kullanılacaktır. TS EN 1991-1-3 yönetmeliği bölüm 5 madde 2’de yük düzenlemeleri başlığı altında sürekli ve geçici tasarım kar yükü hesap değeri (3.2) ifadesi ile belirlenecektir.

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad (3.2)$$

(3.2) ifadesinde ki değerler,

s : Çatı kar yükü değeri (kN/m^2)

μ_i : Kar yükü şekil katsayısı

C_e : Maruz kalma katsayısı

C_t : Isı katsayısı

s_k : Dikkate alınan mahaldeki karakteristik zemin kar yükü (kN/m^2)

(3.2) ifadesinde ki C_e maruz katsayısı TS EN 1991-1-3 bölüm 5 çizelge 5.1’de yapının konumuna göre belirlenecektir.

Çizelge 3.3 : Farklı topografik alanlar için tavsiye edilen azaltma değerleri

Topografik bölge	C_e
Rüzgara açık ^a	0,80
Normal ^b	1,00
Korunmuş ^c	1,20

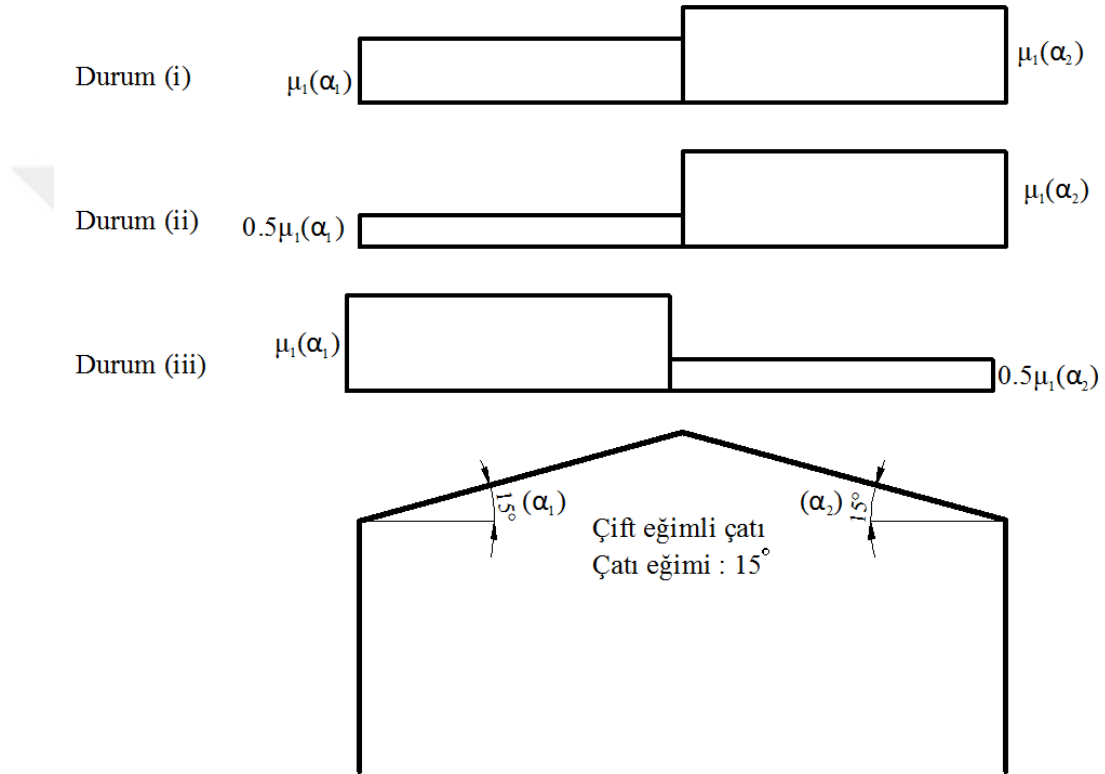
^a Rüzgara açık topografik alanlar: her coğrafi yönden etkiye maruz kalan, arazi tarafından korunma imkanının olmadığı veya az olduğu daha yüksek yapıların veya ağaçların bulunmadığı engelsiz düz alanlar

^b Normal topografik alanlar: rüzgarın yapı üzerine etkisiyle kar kütlelerinin, arazi, diğer yapılar ve ağaçlar sebebiyle önemli bir değişime uğramadığı alanlar

^c Korunmuş topografik alanlar: dikkate alınan yapının yüksekliğinin önemli ölçüde çevre arazisinden veya çevresindeki yüksek ağaçlardan ve/veya çevresindeki daha yüksek yapılardan düşük olduğu alanlar

Yapı, konum itibarıyla normal (b) topografik bölgesinde olduğundan çizelge 3.3 yardımıyla $C_e = 1$ olarak alınmıştır. TS EN 1991-1-3 yönetmeliğin de bölüm 5’te (3.1) ifadesinde yer alan C_t (ısı katsayısı) ifadesi için, binanın çatısı altındaki ısı

kaybının çatı yüzeyini etkilemesi sebebiyle erimelerin meydana geldiği bazı cam kaplı çatılarda çatı kar yükündeki azalmanın hesaba katılması için kullanılır diğer bütün durumlar için $C_t = 1$ değeri alınır ifadesi yer aldığından **(3.1)** ifadesinde $C_t = 1$ alınacaktır. **(3.2)** ifadesinde yer alan s_k değeri için TS 498’de yer alan mahalli şartlar alınacağından çizelge 3.1’de bulunan kar yükü $s_k = 1,50 \text{ kN/m}^2$ alınacaktır. **(3.2)** ifadesinde μ_i (kar yükü şekil katsayısı) hesabı için TS EN 1991-1-3 yönetmeliği bölüm 5.3’te tanımlanan şekil katsayısı çizelge 5.2’den bulunur.



Şekil 3.3 : Kar yükü şekil katsayısı (çift eğimli çatı) (TS EN 1991-1-3)

Şekil 3.3’te görüleceği üzere çatı eğim açısı 15 derecedir.

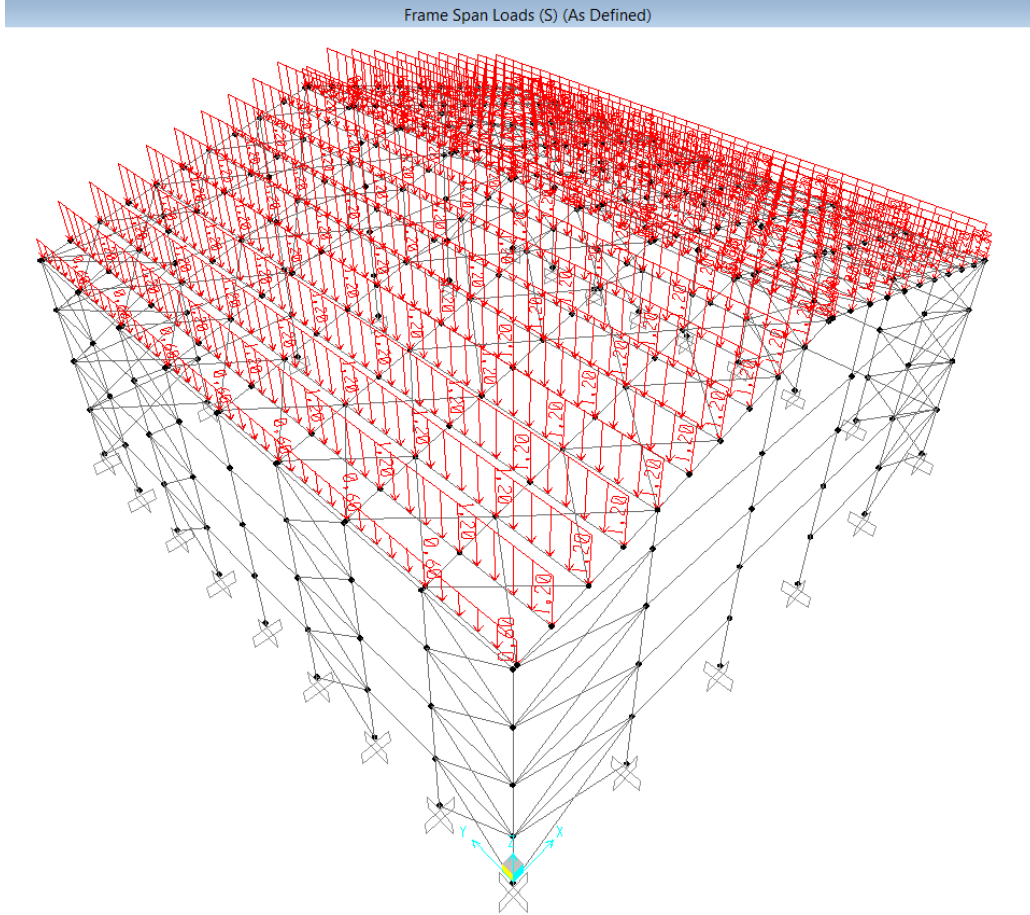
Çizelge 3.4 : Kar yükü şekil katsayıları

Çatı eğim açısı, α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 (60-\alpha)/30$	0,00

Çizelge 3.4’de μ_i katsayısının değerinin 0.8 olduğu anlaşılmaktadır. **(3.2)** ifadesi yardımıyla belirlenen değerler yerine koyulup çözüldüğünde,

$$s = 0.8 \times 1.00 \times 1.00 \times 1.50 \text{ kN/m}^2 = 1.20 \text{ kN/m}^2$$

(3.2) ifadesine göre hesaplanan kar yükü değeri 3 boyutlu hesap programı olarak seçilen SAP 2000 programında aşık elemanlarına etki ettirilir.



Şekil 3.4 : Kar yükünün SAP 2000 programında yapıya etki ettirilmesi.

3.2 Rüzgar yükü (TS EN 1991-1-4)

TS EN 1991-1-4 yönetmeliğine göre hesap yapılırken yapının kurulacağı arazi şartlarında ki geometrik yapı oluşumları ve yeryüzü geometrisi önem arz etmektedir. Bu yüzden rüzgar yükü başlamadan önce yapının kurulacağı arazi kategorisi belirlenmelidir. Bu belirlemeyi yapmak için TS EN 1991-1-4 standartının Ek kısmında yer alan A1 bölümünden yararlanılacaktır.

Arazi kategorisi 0

Açık deniz etkisine maruz deniz veya kıyı alanı

**Arazi kategorisi I**

Göller veya ihmal edilebilecek seviyede bitki örtüsü olan ve engebeli olmayan düz veya yatay alan

**Arazi kategorisi II**

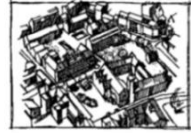
Çayır gibi az seviyede bitki örtüsü olan ve aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere (ağaçlar, binalar) sahip alan

**Arazi kategorisi III**

Düzgün yayılı şekilde bir bitki örtüsüne veya binalara veya aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip alan (kasabalar, yöre kent, ormanlık alan gibi)

**Arazi kategorisi IV**

Yüzeyinin en az % 15'i, yükseklik ortalaması 15 m'yi aşan binalarla kaplı alan

**Şekil 3.5 :** Her arazi kategorisi için arazi yüzey engebелiliğinin gösterimi.

Şekil 3.5'te verilen arazi yüzey engebелiliğinden IV. arazi kategorisi olan yüzey seçilmiştir. IV. Arazi kategorisi; yüzeyinin en az %15'i, yükseklik ortalaması 15m'yi aşan binalarla kaplı alan olarak geçmektedir. Arazi kategorisi seçiminden sonra TS EN 1991-1-4 standartında 4.1 çizelgesi kullanarak tasarım için gerekli olan Z_0 ve $Z_{en\ küçük}$ değerleri hesaplanabilir.

Çizelge 3.5 : Arazi kategorileri ve arazi parametreleri (TS EN 1991-1-4)

Arazi kategorisi	Z_0 m	$Z_{en\ küçük}$ m
0 Açık deniz etkisine maruz deniz veya kıyı alanı	0,003	1
I Göller veya ihmal edilebilecek seviyede bitki örtüsü olan ve engebeli olmayan düz ve yatay alan	0,01	1
II Çayır gibi az seviyede bitki örtüsü olan ve aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere (ağaçlar, binalar) sahip alan	0,05	2
III Düzgün yayılı şekilde bir bitki örtüsüne veya binalara veya aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip alan (kasabalar, yöre kent, ormanlık alan gibi)	0,3	5
IV Yüzeyinin en az % 15'i, yükseklik ortalaması 15 m'yi aşan binalarla kaplı alan	1,0	10

Şekil 3.5'ten ve çizelge 3.4'ten yararlanarak seçilen arazi kategorisi IV olarak belirlenmiştir.

$$V_b = C_{dir} C_{season} V_{bo} C_{prob} \quad (3.3)$$

(3.3) ifadesinde ki değerler,

V_b : Esas rüzgar hızı

C_{dir} : Yön katsayısı

C_{season} : Mevsim katsayısı

V_{bo} : Esas rüzgar hızının temel değeri

C_{prob} : Olasılık katsayısı

(3.3) ifadesinde V_b (esas rüzgar hızı) değerini hesaplamak için

$$C_{prob} = \left[\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right]^n \quad (3.4)$$

(3.4) ifadesinde ki değerler,

K : Üst sınır uç değer dağılımının değişkenlik katsayısına bağlı olan şekil parametresi (tavsiye edilen değer 0,2)

n : Üstel sayı (milli ekte tavsiye edilen değer 0,5)

p : Yıllık aşılma olasılığı (tekerrür süresi 50 yıla eşit, yıllık aşılma olasılığı ise 0,02)

Denklem (3.2) ifadesinde ve denklem (3.3) ifadesinde aşağıdaki değerler alınmıştır,

$C_{dir} = 1$ (TS EN 1991-1-4'te tavsiye edilen değer)

$C_{season} = 1$ (TS EN 1991-1-4'te Tavsiye edilen değer)

$V_{bo} = İYBRY$ (İstanbul yüksek binalar rüzgar yükü) temel rüzgar hızı açık bir arazide (örneğin hava alanları gibi), yerden 10m yükseklikte herhangi bir yönde ölçülen 10 dakikalık ortalama rüzgar hızlarından 50 yılda en az bir kere aşılma

olasılığına karşı gelen rüzgar hızıdır. İstanbul Atatürk Havaalanı'nda sürekli olarak 1 dakika ara ile yapılan rüzgar hızı ölçüm verilerinin analizi sonucunda, İstanbul ve civarı için temel rüzgar hızı $V_b = 25$ m/s olarak tanımlanmıştır. Bu değer TS 498 yük yönetmeliğinde bölüm 11 çizelge 5 te yer alan minimum değerden az olduğundan, rüzgar hızı 28 m/sn olarak alınacaktır.

Çizelge 3.6 : Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve emme değerleri (TS 498)

Zeminden yükseklik m	Rüzgar Hızı v m/sn	Emme q kN/m ²
0-8	28	0,5
9-20	36	0,8
21-100	42	1,1
>100	46	1,3

(3.3) ifadesinde V_b (esas rüzgar hızı) değerini hesaplamak için önce (3.4) ifadesi hesaplanacaktır. $C_{prob} = 1$ olarak hesaplanmıştır. (TS EN 1991-1-4'te tavsiye edilen değer)

(3.4) ifadesi hesaplandıktan sonra denklem (3.3) ifadesi hesaplanacaktır.

$$V_b = 1 \times 1 \times 28 \times 1 = 28 \text{ m/sn}$$

(3.3) ifadesinde ki esas rüzgar hızı hesaplandıktan sonra ortalama rüzgar hızı hesabı (3.5) ifadesinde ki gibi hesaplanacaktır.

$$V_m = C_r C_0 V_b \quad (3.5)$$

(3.5) ifadesinde ki değerler,

V_m : Ortalama rüzgar hızı

V_b : Esas rüzgar hızı

C_r : Engebelilik katsayısı

C_0 : Orografi katsayısı (tepe ve yamaçlarda %5'ten fazla artış olmadığından yönetmeliğin tavsiye ettiği değer 1 olarak alınacaktır)

(3.5) ifadesinde ki değerlerin hesaplanması için C_r değeri (3.6) ve (3.7) ifadelerinden ki uygun olanından belirlenecektir.

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad Z_{min} \leq Z \leq Z_{max} \quad (3.6)$$

$$C_r(z) = C_r(Z_{en\ küçük}) \quad Z \leq Z_{min} \quad (3.7)$$

(3.6) ifadesinde ki değerler,

k_r : Engbelilik uzunluğu Z_0 'a bağlı arazi katsayısı

Çizelge 3.4'ten arazi kategorisi IV olarak belirlenmişti, yapı maksimum yüksekliği 10,50m olduğundan engbelilik katsayısı (3.6) ifadesine göre çözülecektir. (3.6) ifadesinde ki, k_r ifadesi (3.8) ifadesine göre hesaplanacaktır.

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{Z_0}{Z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad (3.8)$$

(3.8) ifadesinde ki değerler,

$$z = 10,50 \text{ m}$$

$$Z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$Z_0 = 1 \text{ m}$$

$$Z_{en\ küçük} = 10 \text{ m}$$

$$Z_{max} = 200 \text{ m}$$

(3.8) ifadesi hesaplandığında,

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{1}{0,05}\right)^{0,07} = 0,2343$$

(3.8) ifadesindeki değer (3.6) ifadesinde yerine yazıldığında,

$$C_r(z) = 0,2343 \cdot \ln\left(\frac{10,50}{1}\right) = 0,55$$

(3.6) hesaplandığından (3.5) ifadesinde ki esas rüzgar hızı hesaplanmıştır.

$$V_m = 0,55 \times 1 \times 28 = 15,42 \text{ m/sn}$$

Esas rüzgar hızının değeri hesaplandıktan sonra rüzgar türbalansını hesaplamaya geçilecektir. Rüzgar türbülansı (3.9) ve (3.10) ifadelerinden uygun olanına göre hesaplanacaktır.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{k_1}{C_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad Z_{min} \leq Z \leq Z_{max} \quad (3.9)$$

$$I_v(z) = I_v(Z_{\min}) \quad Z \leq Z_{\min} \quad (3.10)$$

(3.9) ve (3.10) ifadelerinde ki değerler,

$I_v(z)$: z metre yükseklikteki türbülans şiddeti

σ_v : Rüzgar hızının bileşeninin standart sapması

k_1 : Türbülans katsayısı

(3.9) ifadesinde ki σ_v sini hesaplamak için (3.11) ifadesi kullanılacak daha sonra (3.9) ifadesinde yerine yazılarak hesaplanacaktır. (3.9) ifadesinde yer alan diğer bir değer olan k_1 , TS EN 1991-1-4 standartında 1 olarak tavsiye edilmektedir.

$$\sigma_v = k_r V_b k_1 \quad (3.11)$$

$$\sigma_v = 0,2343 \times 28 \times 1 = 6,56$$

Yapının maksimum yüksekliği 10,50m olarak tasarlanmıştır. Bu yükseklik, taslak deprem yönetmeliğinde ki hafif çelik yapılar ile ilgili olan yükseklik sınırlandırması sebebinden dolayı hesaplanmıştır. (3.9) ifadesi çözüldüğünde rüzgar türbülans değeri hesaplanmış olacaktır.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{6,56}{15,42} = 0,425$$

(3.9) ve (3.11) ifadelerinin hesaplanmasından sonra, (3.12) ifadesinde ki tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı hesaplanacaktır.

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_m(z)^2 \quad (3.12)$$

Bu ifade de,

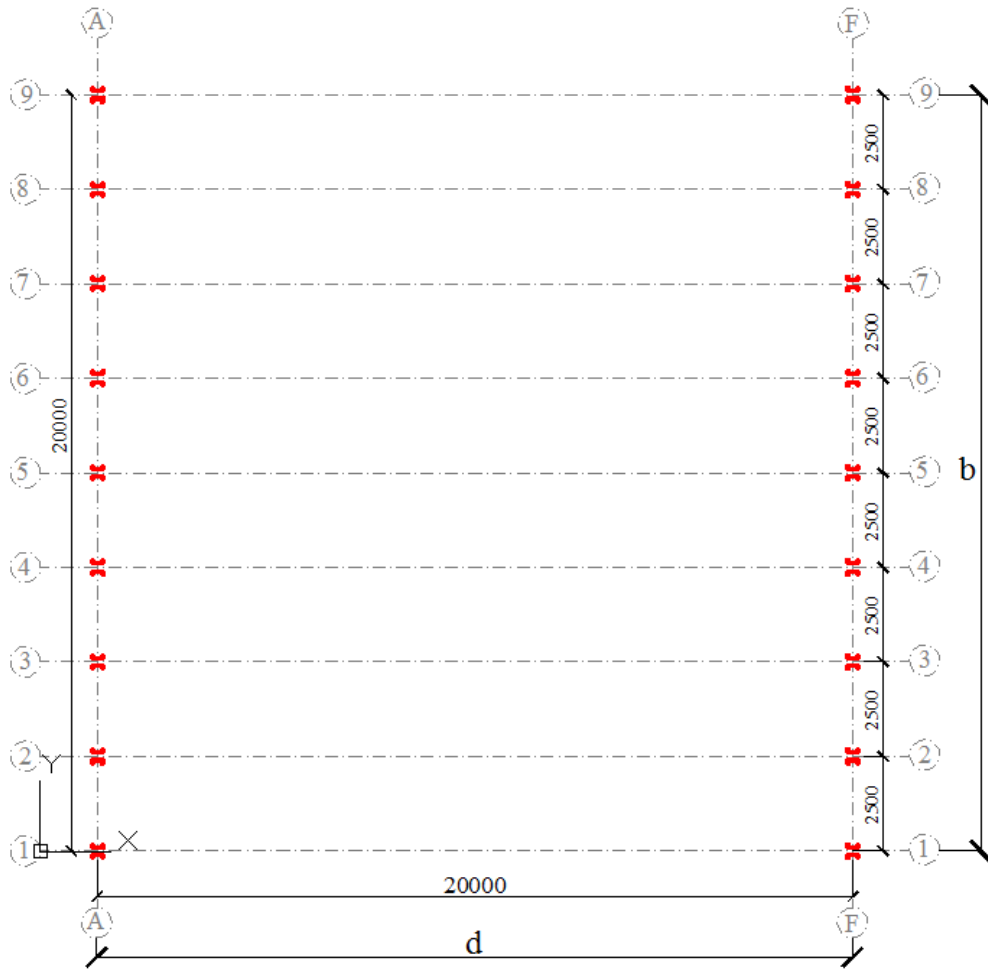
ρ : Havanın yoğunluğu (1,25 kg/m³)

(3.12) ifadesi hesaplandığında ,

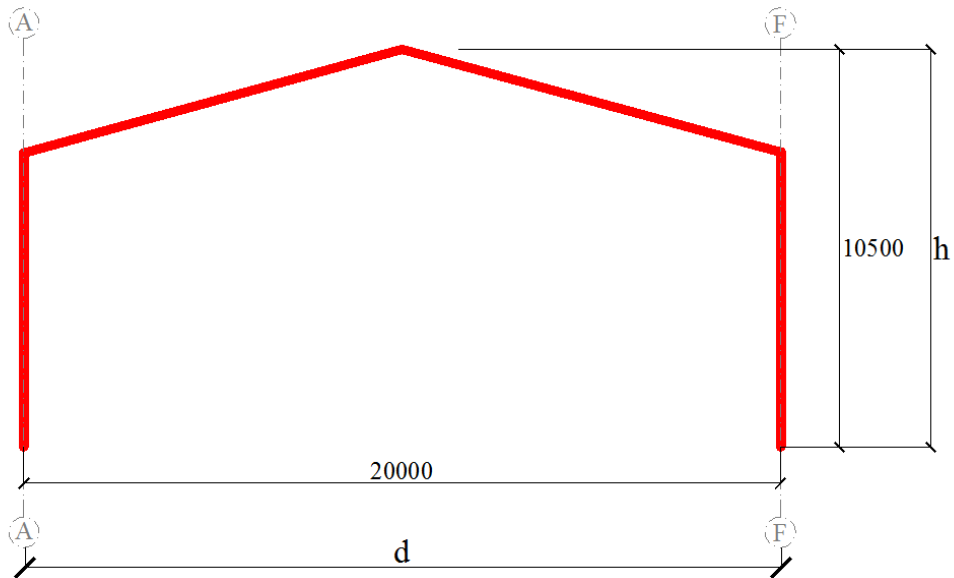
$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,425] \times \frac{1}{2} \times 1,25 \times 15,42^2 = 0,592 \frac{kN}{m^2}$$

Bu değerler hesaplandıktan sonra, yüzeylerdeki rüzgar basıncı TS EN 1991-1-4 standartından yararlanılarak yapılacaktır.

Bina boyutlarına göre yüzeye gelen rüzgar basınçlarını hesaplamak için TS EN 1991-1-4 standartında ki çizelge 7.1 ve çizelge 7.4.a kullanılacaktır.



Şekil 3.6 : Yapı plan geometrisi (ölçüler mm cinsindendir).



Şekil 3.7 : Yapı kesit geometrisi (ölçüler mm cinsindendir).

Çizelge 3.7 : Tavsiye edilen basınç katsayısı değerleri

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	

Yapı geometrisine bağlı olarak çizelge 3.7’de yer alan tavsiye edilen basınç katsayısı değerini hesaplamak için **(3.13)** ifadesi kullanılacaktır.

$$\frac{h}{d} \quad (3.13)$$

(3.13) ifadesi kullanarak bu değer,

$h/d = 10,5 / 20 = 0,525$ olarak hesaplanmıştır. Daha sonra **(3.14)** ifadesi hesaplanacaktır.

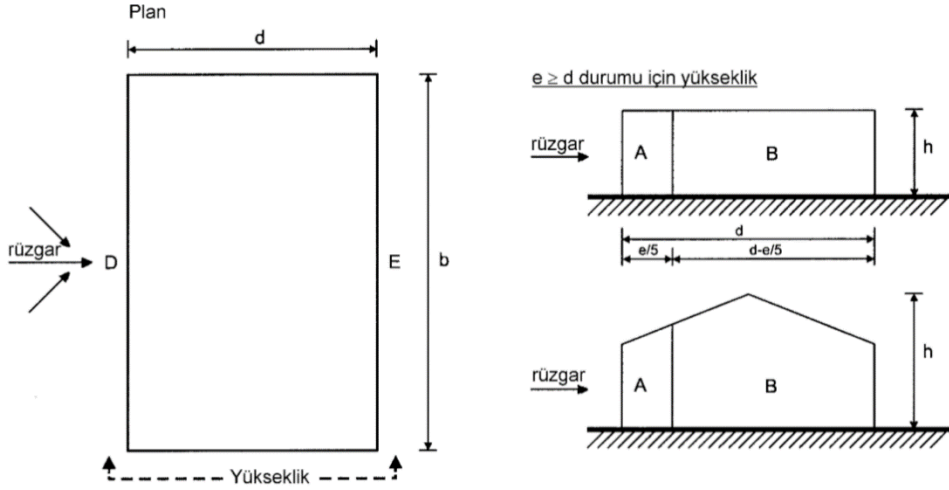
$$e_{min} = \left[\frac{b}{2h} \right] \quad (3.14)$$

(3.14) ifadesi kullanılarak, e_{min} bu değerlerden küçük olanı seçilerek bulunacaktır.

$$e_{min} = \left[\frac{20}{21} \right] = 20m$$

Çizelge 3.7 kullanılarak **(3.12)** ifadesinden elde edilen rüzgar basınçları ile çarpılarak düşey yüzeyler için hesap değerleri bulunacak ve hesap modeli oluşturulan SAP 2000 programında taşıyıcı kolonlara etki ettirilecektir.

TS EN 1991-1-4 standartında yapı geometrisine göre hesap edilecek rüzgar basınç kuvvetleri tarif edilmiştir. Standartın 7.2.2 nolu maddesinde dikdörtgen planlı binaların düşey duvarları için gerekli tarif yapılmıştır. Bu kurallar çerçevesinde şekil3.8’de ki gibi bölgelere gelen rüzgar yükleri hesaplanacaktır.

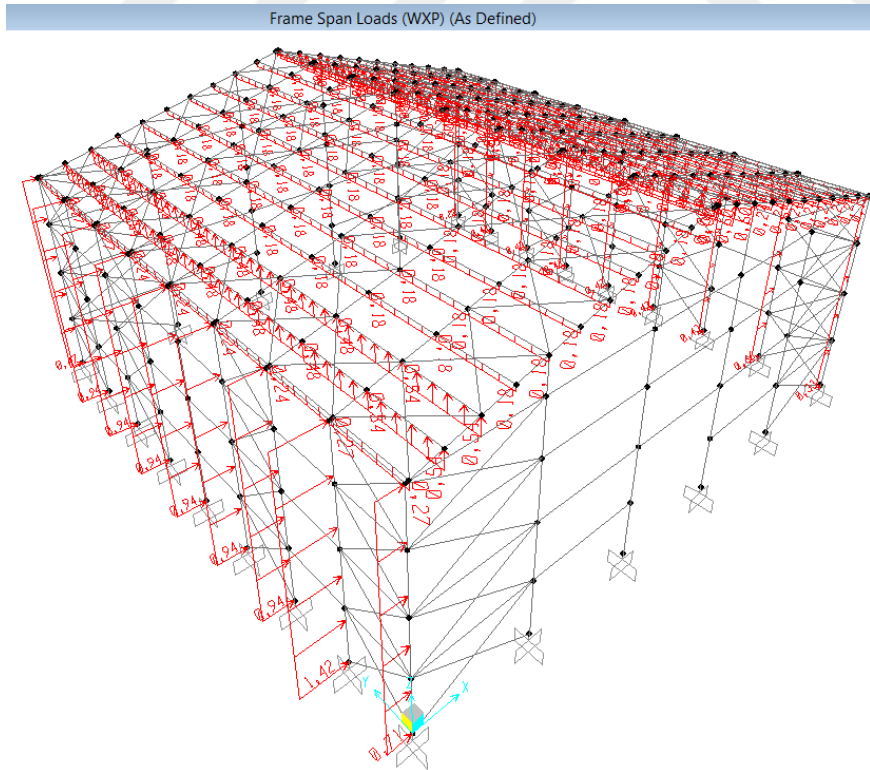


Şekil 3.8 : Çift eğimli çatılar için yük bölge geometrileri-1

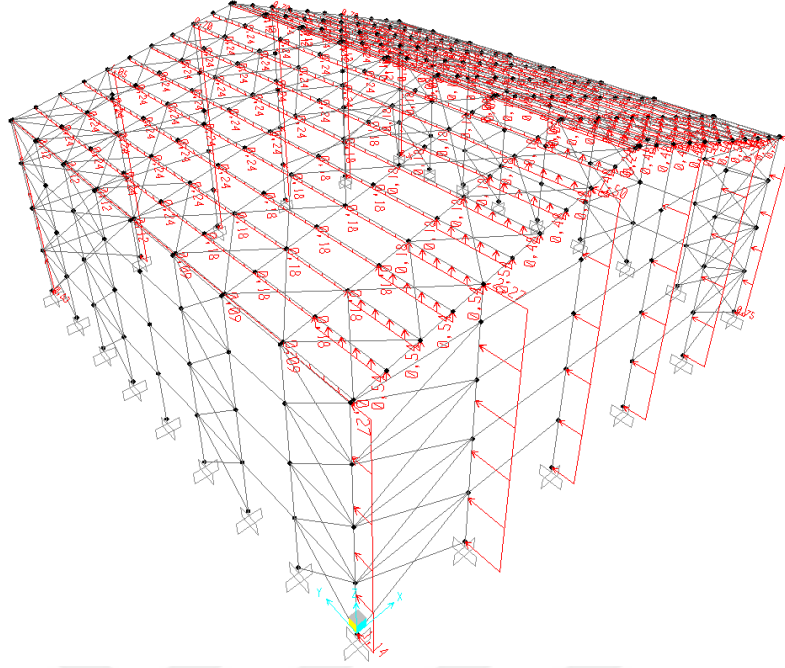
Şekil 3.8’de $e \geq d$ durumu olduğu için hesaplamalar çizelge 3.7 kullanarak yapılacaktır.

A bölgesi için rüzgar basıncı : $-1,20 \times 0,592 = 0,710 \text{ kN/m}^2$

B bölgesi için rüzgar basıncı : $-0,80 \times 0,592 = 0,473 \text{ kN/m}^2$



Şekil 3.9 : X yönü rüzgar yükünün yapıya etki ettirilmesi (SAP 2000).



Şekil 3.10 : Y yönü rüzgar yükünün yapıya etki ettirilmesi (SAP 2000).

Yapının çatı konstrüksiyonunda yer alan aşıkların elemanlarına rüzgar yükü verebilmek için, TS EN 1991-1-4 standartında yer alan çizelge 7.4.a kullanılır. Bu çizelge de yer alan değerleri kullanabilmek için yapı çatısının düşeyde dik duran eleman ile yaptığı açı kullanılacaktır.



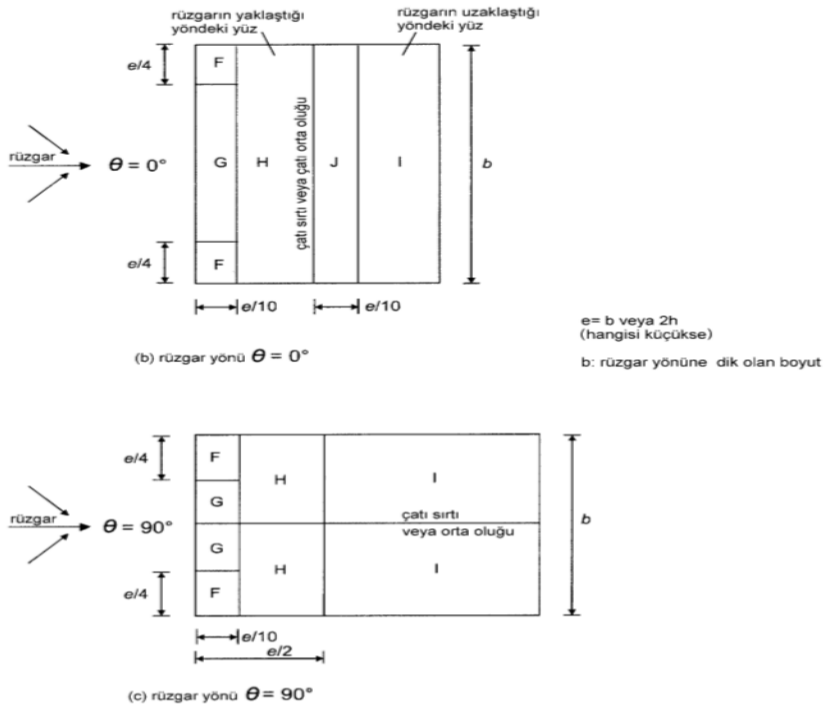
Şekil 3.11 : Y yönü rüzgar yükünün yapıya etki ettirilmesi(TS EN 1991-1-4).

TS EN 1991-1-4 yönetmeliğinin 7.2.5 maddesinde yer alan şekil katsayısını belirlemek amacıyla kullanılacak değer çift eğimli pozitif açılı yapı sistemi için tarif edilmiştir. Şekil 3.3'te çatı eğimin 15 derece olduğu görülmektedir. Aşıklara etki ettirilecek yük için kullanılacak değerler çizelge 3.7 kullanılarak hesaplanacaktır.

Çizelge 3.8 : Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları

Eğim Açısı α	Rüzgar Yönü $\theta=0$ derece için bölgeler									
	F		G		H		I		J	
	Cpe10	Cpe1	Cpe10	Cpe1	Cpe10	Cpe1	Cpe10	Cpe1	Cpe10	Cpe1
-45	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-1	-1,5
-30	-1,1	-2	-0,8	-1,5	-0,8	-0,8	-0,6	-0,6	-0,8	-1,4
-15	-2,5	-2,8	-1,3	-2	-0,9	-1,2	-0,5	-0,5	-0,7	-1,2
-5	-2,3	-2,5	-1,2	-2	-0,8	-1,2	0,2	0,2	0,2	0,2
							-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
5	-1,7	-2,5	-1,2	-2	-0,6	-1,2	-0,6	-0,6	0,2	0,2
	0	0	0	0	0	0	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
15	-0,9	-2	-0,8	-1,5	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-1	-1,5
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0
30	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2	-0,2	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5
	0,7	0,7	0,7	0,7	0,4	0,4	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3
	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0	0	0	0
60	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3
75	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3

Çizelge 3.8'den yararlanılarak hesaplanacak olan değerler SAP 2000 programında modellenmiş yapı sisteminin aşık elemanlarına uygulancaktır. Çizelge 3.8 yardımıyla hesaplanan değerler şekil 3.12'de ki geometriye uygun alanlara etki ettirilecektir.



Şekil 3.12 : Çift eğimli çatılar için yük bölge geometrileri-2 (TS EN 1991-1-4)

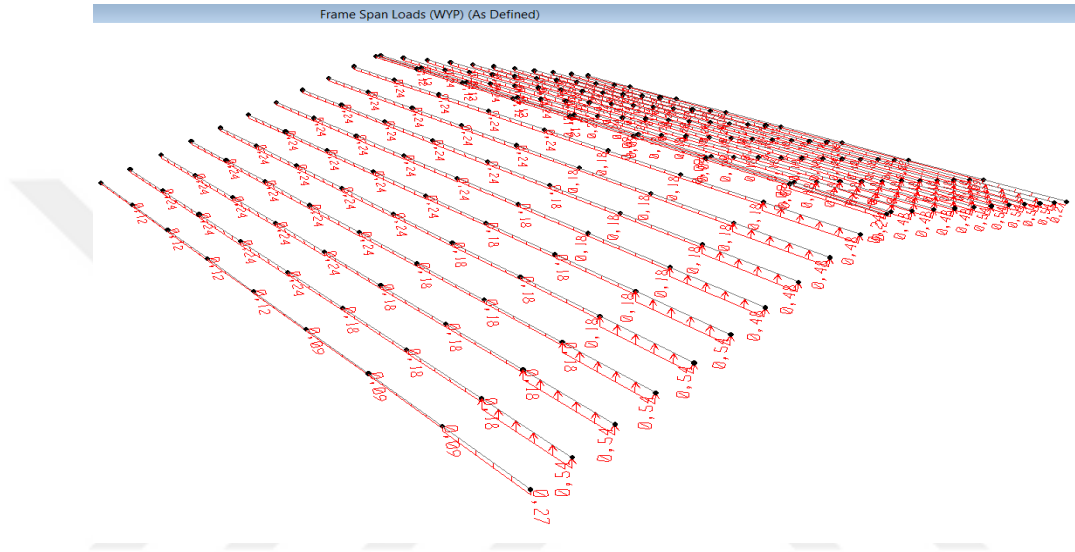
F bölgesi için rüzgar basıncı : $-0,90 \times 0,592 = -0,5328 \text{ kN/m}^2$

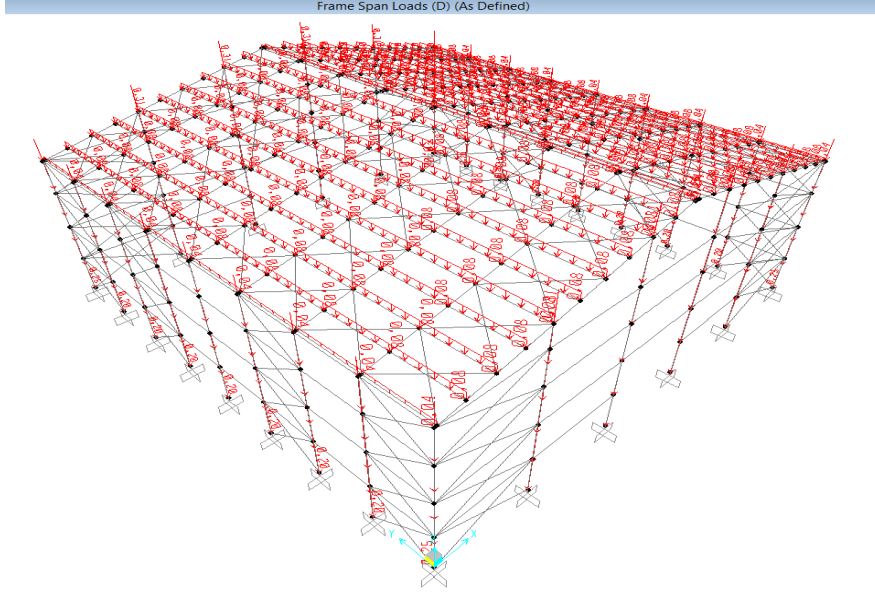
G bölgesi için rüzgar basıncı : $-0,80 \times 0,592 = -0,4736 \text{ kN/m}^2$

H bölgesi için rüzgar basıncı : $-0,30 \times 0,592 = -0,1776 \text{ kN/m}^2$

I bölgesi için rüzgar basıncı : $-0,40 \times 0,592 = -0,2368 \text{ kN/m}^2$

j bölgesi için rüzgar basıncı : $-1,00 \times 0,592 = -0,5920 \text{ kN/m}^2$





Şekil 3.14 : Kaplama yükünün yapıya etki ettirilmesi (SAP 2000).

3.4 Yük Kaynakları ve Yük Kombinasyonları

Taslak deprem yönetmeliği kullanılarak eş değer deprem yükü hesabı yapılmış ve deprem taban kesme kuvveti katsayısı bu yöntem ile belirlenmiştir. Bölüm 4 ve bölüm 6’da bu değerlerin nasıl hesap edildiği ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Ağır çelik ve soğukta şekil verilmiş sistemlerin tasarımında kullanılacak olan ASD ve LRFD dizayn yöntemleri için gerekli olan yük kombinasyonları da oluşturulacak ve bu kombinasyonlardan oluşacak olan kesit tesirlerine göre tasarım yapılacaktır.

G : Yapı konstrüksiyonun ölü ağırlığı.

D : Sabit yükler.(Sandwich panel kaplama)

S : Kar yükü.

EX : Deprem X doğrultusu yükü.

EY : Deprem Y doğrultusu yükü.

EZ : Deprem Z doğrultusu yükü.

WXP : Rüzgar pozitif X doğrultusu yükü.

WXN : Rüzgar negatif X doğrultusu yükü.

WYP : Rüzgar pozitif Y doğrultusu yükü.

WYN : Rüzgar negatif Y doğrultusu yükü.

Çizelge 3.9 : ASD yük kombinasyonları (SAP 2000)

TABLE: Combination Definitions					
ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
ASD1	Linear Add	No	Linear Static	G	1
ASD1			Linear Static	D	1
ASD2	Linear Add	No	Linear Static	G	1
ASD2			Linear Static	D	1
ASD2			Linear Static	S	1
ASD3	Linear Add	No	Linear Static	G	1
ASD3			Linear Static	S	0,75
ASD4	Linear Add	No	Linear Static	G	0,6
ASD4			Linear Static	WXP	1
ASD4			Linear Static	D	0,6
ASD5	Linear Add	No	Linear Static	G	0,6
ASD5			Linear Static	WXN	1
ASD5			Linear Static	D	0,6
ASD6	Linear Add	No	Linear Static	G	0,6
ASD6			Linear Static	WYP	1
ASD6			Linear Static	D	0,6
ASD7	Linear Add	No	Linear Static	G	0,6
ASD7			Linear Static	WYN	1
ASD7			Linear Static	D	0,6

Çizelge 3.10 : LRFD yük kombinasyonları (SAP 2000)

TABLE: Combination Definitions					
ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
LRFD1	Linear Add	No	Linear Static	G	1,4
LRFD1			Linear Static	D	1,4
LRFD2	Linear Add	No	Linear Static	G	1,2
LRFD2			Linear Static	D	1,2
LRFD2			Linear Static	S	1,6
LRFD2			Linear Static	WXP	0,5
LRFD3	Linear Add	No	Linear Static	G	1,2
LRFD3			Linear Static	D	1,2
LRFD3			Linear Static	S	1,6
LRFD3			Linear Static	WXN	0,5
LRFD4	Linear Add	No	Linear Static	G	1,2
LRFD4			Linear Static	D	1,2
LRFD4			Linear Static	S	1,6
LRFD4			Linear Static	WYP	0,5
LRFD5	Linear Add	No	Linear Static	G	1,2
LRFD5			Linear Static	D	1,2
LRFD5			Linear Static	S	1,6
LRFD5			Linear Static	WYN	0,5

Çizelge 3.11 : Deprem yük kombinasyonları (SAP 2000)

TABLE: Combination Definitions					
ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
DEPREM1	Linear Add	No	Linear Static	G	1,2
DEPREM1			Linear Static	D	1,2
DEPREM1			Linear Static	S	0,2
DEPREM1			Linear Static	EX	1
DEPREM1			Linear Static	EZ	0,3
DEPREM2	Linear Add	No	Linear Static	G	1,2
DEPREM2			Linear Static	D	1,2
DEPREM2			Linear Static	S	0,2
DEPREM2			Linear Static	EX	-1
DEPREM2			Linear Static	EZ	0,3
DEPREM3	Linear Add	No	Linear Static	G	1,2
DEPREM3			Linear Static	D	1,2
DEPREM3			Linear Static	S	0,2
DEPREM3			Linear Static	EY	1
DEPREM3			Linear Static	EZ	0,3
DEPREM4	Linear Add	No	Linear Static	G	1,2
DEPREM4			Linear Static	D	1,2
DEPREM4			Linear Static	S	0,2
DEPREM4			Linear Static	EY	-1
DEPREM4			Linear Static	EZ	0,3
DEPREM5	Linear Add	No	Linear Static	G	0,9
DEPREM5			Linear Static	D	0,9
DEPREM5			Linear Static	EX	1
DEPREM5			Linear Static	EZ	0,3
DEPREM6	Linear Add	No	Linear Static	G	0,9
DEPREM6			Linear Static	D	0,9
DEPREM6			Linear Static	EX	-1
DEPREM6			Linear Static	EZ	0,3
DEPREM7	Linear Add	No	Linear Static	G	0,9
DEPREM7			Linear Static	D	0,9
DEPREM7			Linear Static	EY	1
DEPREM7			Linear Static	EZ	0,3
DEPREM8	Linear Add	No	Linear Static	G	0,9
DEPREM8			Linear Static	D	0,9
DEPREM8			Linear Static	EY	-1
DEPREM8			Linear Static	EZ	0,3

4. HAFİF ÇELİK YAPI TASARIMI

Taslak deprem yönetmeliğinde soğukta şekil verilmiş hafif çelik profiller ile tasarlanan sistemlerin taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan profilleri ile ilgili bir takım tasarım kuralları yer almaktadır. Aynı zamanda taslak deprem yönetmeliği bölüm 10'da yer alan tasarım ilkelerinde, profiller ile ilgili bir takım sınırlamalar ve koşullar yer almaktadır. Taslak deprem yönetmeliğinde bölüm 10.2.4'te yer alan en kesit koşullarında, profillerin başlık genişliklerinin, tırnak genişliklerine oranları yer almaktadır. Profil tasarımı yapılırken aynı zamanda TS 11372 (Çelik yapılar hafif soğukta şekil verilmiş profillerle oluşturulan hesap kuralları) yönetmeliğinden de yararlanılacaktır.

Taslak deprem yönetmeliğinde malzeme kalınlığı bölüm 10 madde 10.2.3.1'de 0.45 mm ile 16 mm arasında değişen çelik yassı mamüllerin şekillendirme makinelerinde bükülmesi ile elde edilen yapı malzemesidir tanımı mevcuttur. Aynı zamanda soğukta şekil verilmiş profiller ile ilgili de malzeme kaliteleri hakkında taslak deprem yönetmeliği bölüm 10'da madde 10.2.3.2'de sınır gerilme değerleri verilmiştir. Buna göre taslak deprem yönetmeliğinde tasarımı etkileyecek olan bazı kurallar şunlardır,

- a) Minimum akma gerilmesi 235 MPa olmalıdır.
- b) Kopma dayanımının akma gerilmesine oranı en az 1.08 olmalıdır.
- c) Kopma birim uzama oranı minimum % 10 olan malzemeler, normal sünek malzeme, kopma birim uzama oranı minimum % 16 olan malzemeler yüksek sünek malzeme olarak adlandırılır.
- d) Normal sünek malzemeler sadece aşık, cephe kuşakları ve taşıyıcı olmayan dikmelerde kullanılabilir.
- e) Kopma dayanımı 550 MPa ve üzerinde olan malzemelerde, madde (b) ve (c) paragraflarında belirtilen koşulların sağlandığı deneylerle doğrulanacaktır.

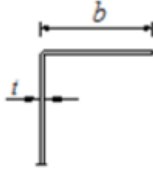
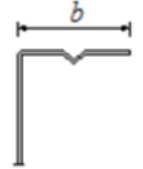
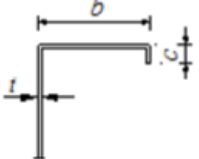
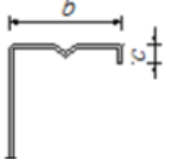
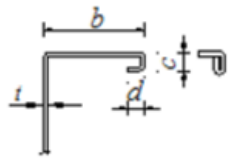
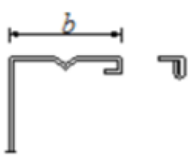
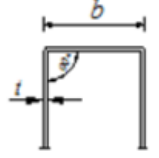
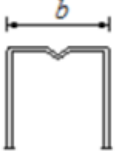
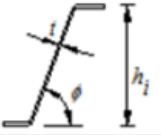
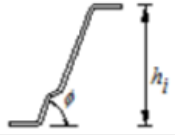
Taslak deprem yönetmeliği madde 10.2.4.2'de yer alan en kesit koşullarına göre profiller **(4.1)** ve **(4.2)** ifadesinde ki sınır değerler arasında olmalıdır.

$$0.20 \leq c/b \leq 0.60 \quad (4.1)$$

$$0.10 \leq d/b \leq 0.30 \quad (4.2)$$

Oranlarında olacaktır. Bu oran sağlanmadığında kenar berkitmelerinin katkısı göz ardı edilecektir ve TS EN 1993-1-3 veya benzeri bir yönetmelikte kenar berkitmelerin katkısı hesaplanacak veya deneylerle doğrulanacaktır.

Çizelge 4.1 : Enkesit özellikleri (TBDY 2016)

<i>ENKESİT ÖZELLİKLERİ</i>		<i>Sınır Değerler</i>
		$b/t < 50$
		$b/t < 60$ $c/t < 50$
		$b/t < 90$ $c/t < 60$ $d/t < 50$
		$b/t < 500$
		$h_i/t < 500 \cdot \sin(\phi)$ $45 < \phi < 90$

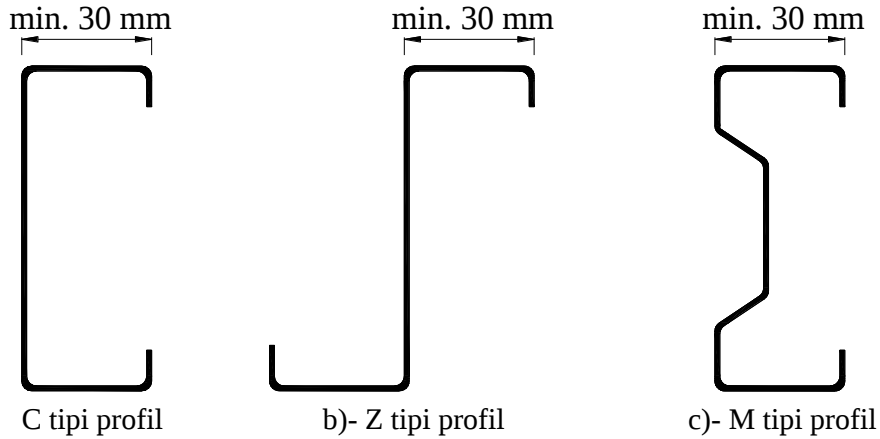
Çizelge 4.1'e göre , (4.1) ve (4.2) ifadelerine göre tasarlanan kesitlerin sınır değerleri kontrolleri yapılmalıdır. Bu kontroller çizelge 4.2'de incelenmiştir.

Çizelge 4.2 : Enkesit özelliklerinin incelenmesi (TBDY 2016)

Kesit ismi	Yükseklik h (mm)	Başlık b (mm)	Tırnak c (mm)	Et kalınlığı t (mm)	c/b	d/b
CC400-100-25-3.00	400	100	25	3	0,25	0
CC180-60-20-2.00	180	60	20	2	0,33	0
CC160-60-20-2.00	160	60	20	2	0,33	0
CC140-50-10-1.5	140	50	10	1.5	0,20	0

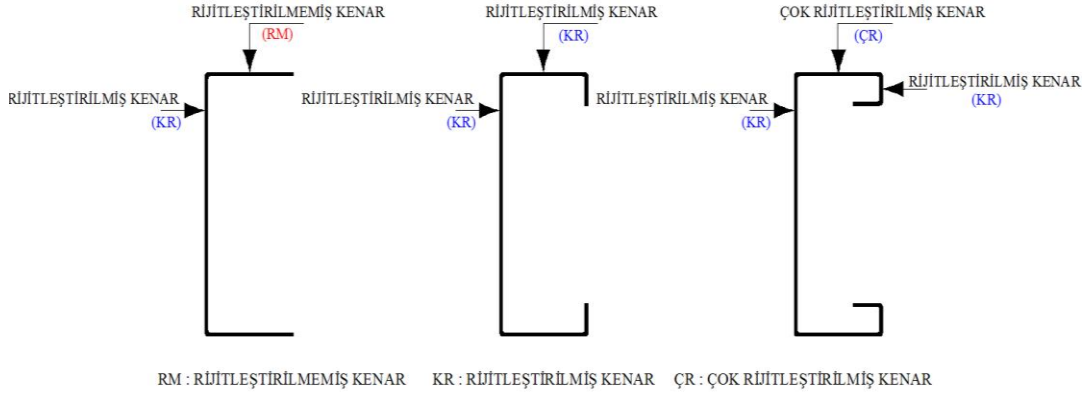
Çizelge 4.2’de yer alan tasarımda kullanılacak olan profillerin tümü **(4.1)** ifadesini sağlamaktadır. Tasarımda kullanılan profillerin tümü C profil tipinde olduğu için, tırnak kısımlarında ikinci bir rijitleştirici büküm yapılmamış ve **(4.2)** ifadesinde ki oran hesaplanmamıştır.

Ayrıca taslak deprem yönetmeliğinde kaplama ve tali elemanların başlıklara konstrüktif olarak rahat bağlanabilmeleri için başlık genişliklerinin minumum 30mm olması gerektiği belirtilmiştir. Şekil 1’de gösterilen profiller için olması gereken minumum başlık genişlikleridir. U profillerde başlık genişliği minumum 20mm olarak alınması gerektiği belirtilmiştir.



Şekil 4.1 : Minimum başlık genişliği (TBDY 2016)

Taslak deprem yönetmeliğinde ki kurallara ilave olarak TS 11372 yönetmeliği gereği herhangi bir kenarın en kesit hesaplarına katkısı olabilmesi için rijitleştirilmiş kenarların oluşturulması gerekmektedir. Bir kenarın en kesit hesaplarında katkısının olabilmesi için kenar berkitmeleri şekil 4.2’de gösterildiği gibi olmalıdır.



Şekil 4.2 : Kenar rijitleştirme şekilleri (TS 11372).

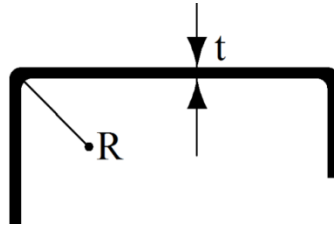
TS 11372 yönetmeliğinde ayrıca, soğukta şekil verilmiş elemanların belirli kalınlıklara göre olması gereken büküm yarıçapları (4.5), (4.6) ifadesinde belirlenmiştir.

Soğukta şekil verilmiş profillerin, büküm yarıçapları taslak deprem yönetmeliğinde de profil iç büküm yarıçapları ile ilgili de en kesit özelliklerine etki eden sınır şartları (4.3), (4.4) ifadelerinde verilmiştir.

$$R < 5 t \quad (4.3)$$

$$R < 0.1 b \quad (4.4)$$

Taslak deprem yönetmeliğine göre (4.3) ve (4.4) ifadesinde verilen sınır koşulları sağlanmadığı takdirde, $R=0$ olarak alınacak ve enkesit özelliklerine etkisi göz ardı edilecektir.



Şekil 4.3 : Büküm yarıçapı (TS 11372)

$$t \leq 2mm \quad R_{max} = 8mm \quad (4.5)$$

$$t > 2mm \quad R_{max} = 4 t \quad (4.6)$$

Bu ifadelerde,

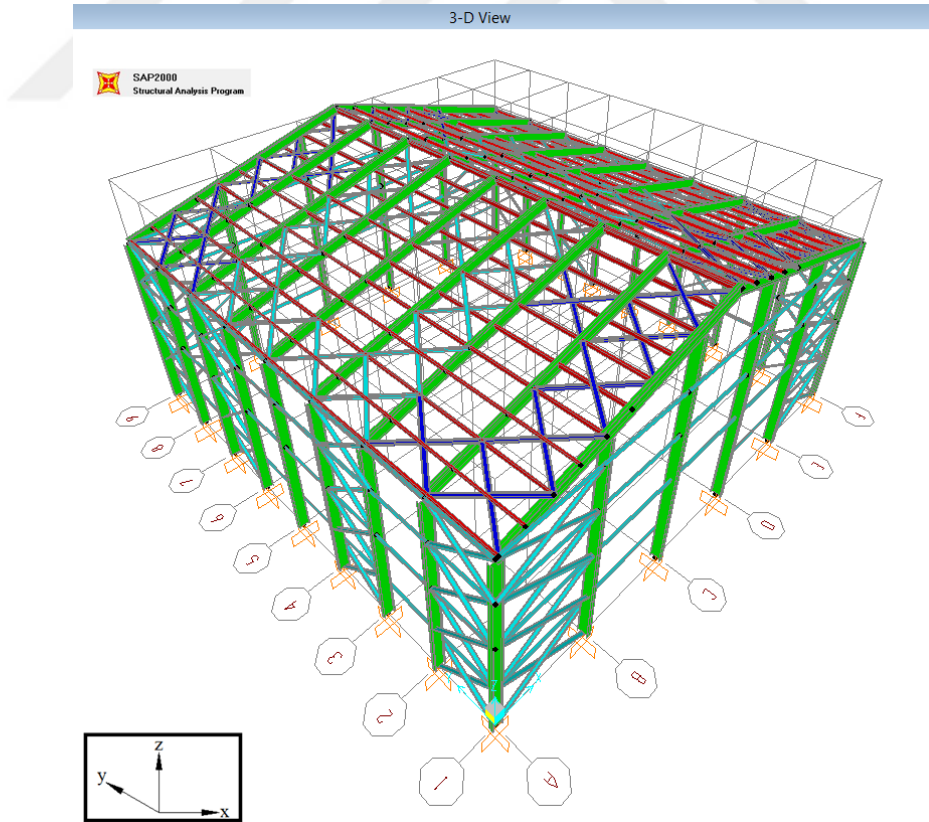
t : levha kalınlığı,

R : Bükme iç yarıçapının en büyük değeri.

4.1 Sistem Tasarımı

Yapı tasarım aşamasında hafif çelik profillerden oluşturulacak sistemde depremsellik parametrelerinin yükseklik sınırlamasına etki ettiği, hatta depremsellik parametrelerinin yapının kullanım fonksiyonelliğini de etkilediği taslak deprem yönetmeliğinde yer almaktadır. Bu çalışmada olumsuz koşulları incelemek adına yapının yüksekliği ikinci bölümde incelenmiş ve şekil 2.1’de olması gereken maksimum yükseklik hesap edilmiştir. Taslak deprem yönetmeliğinde yapıların tasarımlarında 3 boyutlu hesap programı kullanılması da belirtilmiştir. Soğukta şekil verilmiş hafif çelik profillerden oluşturulacak yapı sisteminde taslak deprem yönetmeliğinin de belirttiği üzere 3 boyutlu hesap yapabilen SAP 2000 programıyla sistem tasarlanmış, kesit özellikleri ve tasarım bir kez de soğukta şekil verilmiş profillerin çözümünde kullanılan CFS programında irdelenmiştir. Kesit reaksiyonları Sap 2000 programından alınıp CFS programında ayrıca tasarlanacaktır.

4.2 Yapı Sistem Boyutları



Şekil 4.4 : 3D Yapı model resmi (SAP 2000).

Yapı modellemesi yapılırken X(açıklık doğrultusu) yönünde 20 metre serbest açıklık, Y(bina uzun doğrultusu) yönünde kolonlar arası aks mesafesi 2.50 metre olacak şekilde toplamda 20m yapı uzunluğu SAP 2000 model dosyasında oluşturulmuştur. Düşey yönde kolon yüksekliği 8.00 metre olarak tasarlanmış, mahya yüksekliği 10.50m olarak alınmıştır.

Çizelge 4.3 : SAP 2000’de tanımlanan sistem koordinatları

TABLE: Grid Lines							
CoordSys	AxisDir	GridID	XRYZCoord	LineType	LineColor	Visible	BubbleLoc
Text	Text	Text	m	Text	Text	Yes/No	Text
GLOBAL	X	A	0	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	X	B	4	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	X	C	8	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	X	D	12	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	X	E	16	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	X	F	20	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	1	0	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	2	2,5	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	3	5	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	4	7,5	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	5	10	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	6	12,5	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	7	15	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	8	17,5	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	9	20	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Z	+0,00m	0	Primary	Gray8Dark	Yes	End
GLOBAL	Z	+8,00m	8	Primary	Gray8Dark	Yes	End
GLOBAL	Z	+10,50m	10,5	Primary	Gray8Dark	Yes	End

4.3 Malzeme Tanımları

Soğukta şekil verilmiş yapı sistemi tasarım aşamasında sistem içerisinde kullanılan profillerin malzemeleri hesap modeli programında tanımlanmıştır. Tasarımda esas alınacak malzeme cinslerine göre gerilme değerleri çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Hafif çelik yapıda kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme Cinsi	Birim Hacim Ağırlık kN / m ³	Minumum Akma Dayanımı kN / m ²	Minumum Kopma Dayanımı kN / m ²
S355 JR (ST 52)	76.982	353	509
S235 JR (ST 37)	76.982	235	362

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: S355JR (ST52) ■

Material Type: Steel

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76.9822 Units: KN, m, C

Mass per Unit Volume: 7.85

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2.059E+08

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 79207559

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 353039.4

Minimum Tensile Stress, Fu: 509945.8

Effective Yield Stress, Fye: 353039.4

Effective Tensile Stress, Fue: 509945.8

☐ Switch To Advanced Property Display

[OK](#) [Cancel](#)

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: S235JR (ST37) ■

Material Type: Steel

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76.9822 Units: KN, m, C

Mass per Unit Volume: 7.85

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2.059E+08

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 79207559

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 235359.6

Minimum Tensile Stress, Fu: 362846.1

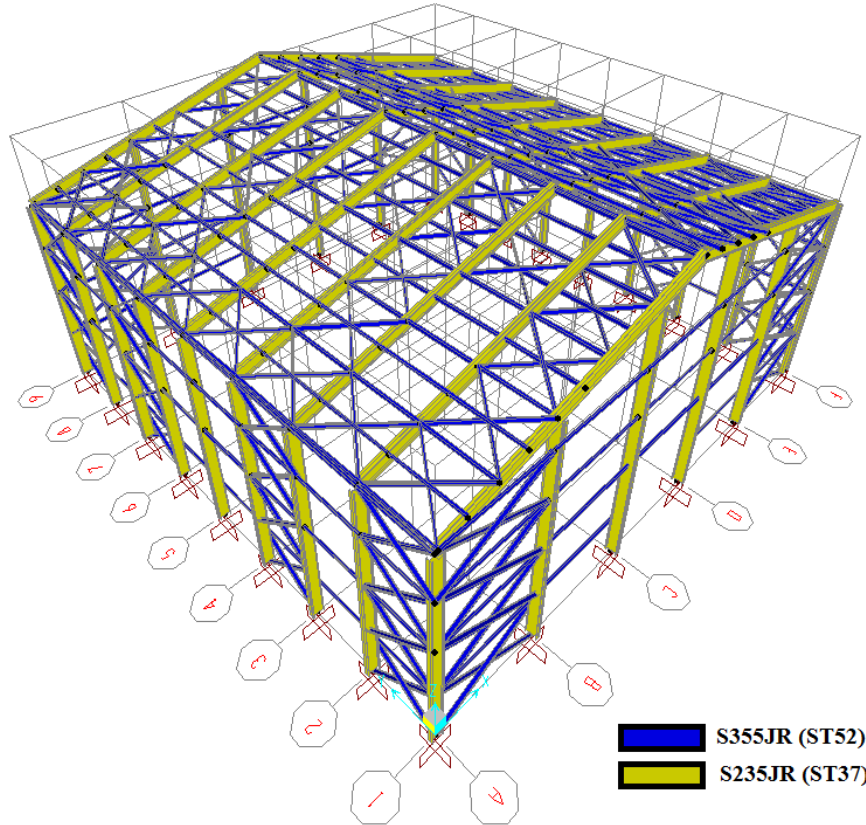
Effective Yield Stress, Fye: 235359.6

Effective Tensile Stress, Fue: 362846.1

☐ Switch To Advanced Property Display

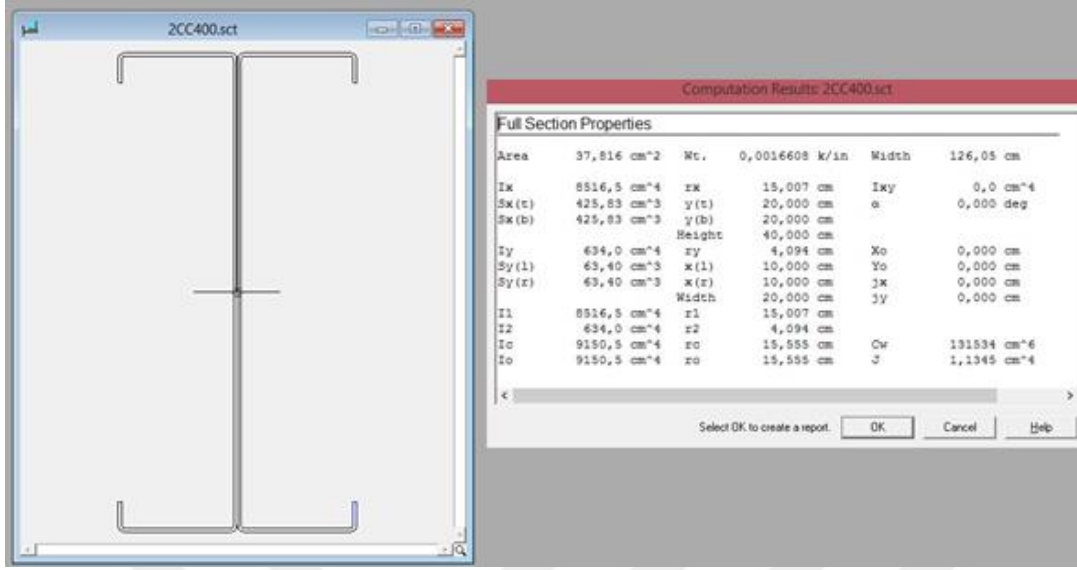
[OK](#) [Cancel](#)

Şekil 4.5 : Malzeme tanımı (SAP 2000).



Şekil 4.6 : Malzeme cinsine göre model resmi (SAP 2000)

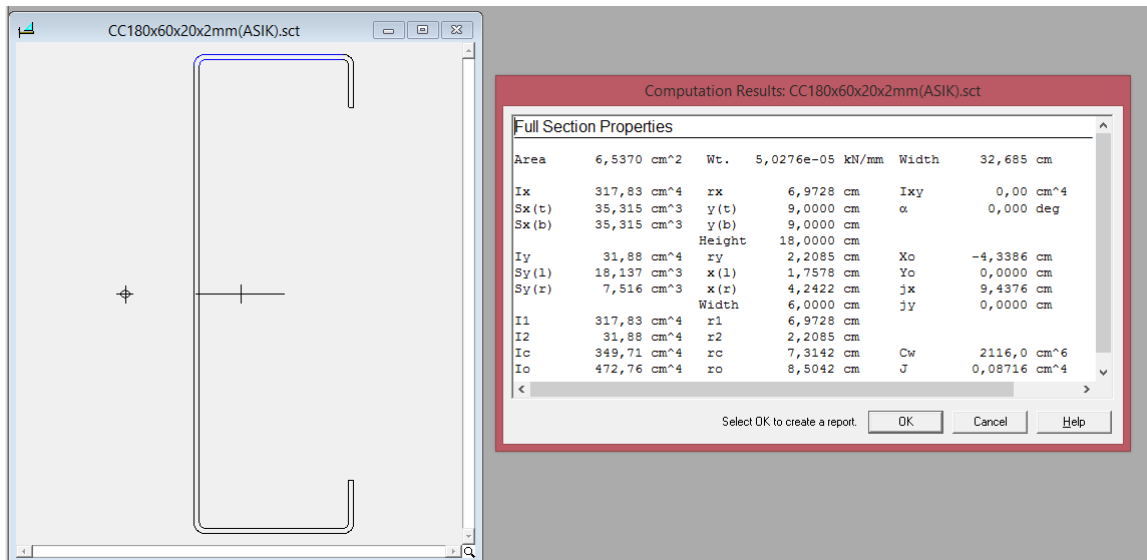
4.4 Malzeme Kesit Özellikleri



Şekil 4.7 : Kiriş profili 2xCC400-100-25-3,00mm (CFS)

Çizelge 4.5 : Kiriş profili 2xCC400-100-25-3,00mm

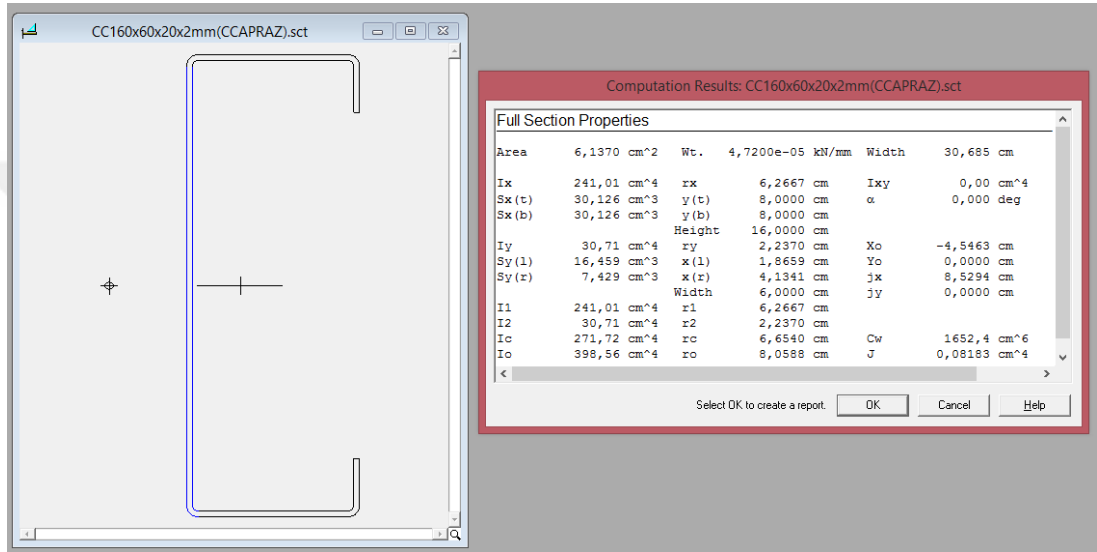
h_0 (kesit yüksekliği) = 40cm	S_x (mukavemet momenti) = 425,83cm ³
b_0 (başlık genişliği) = 10cm	S_y (mukavemet momenti) = 63,40cm ³
t (kalınlık) = 0,30cm	r_x (atalet yarıçapı) = 15,07cm
c (tırnak uzunluğu) = 2,50cm	r_y (atalet yarıçapı) = 4,094cm
J (burulma sabiti) = 1,1345cm ⁴	R (büküm yarıçapı) = 0,30cm
C_w (burulma sabiti) = 131534cm ⁶	A_g (kesit alanı) = 37,816cm ²
I_x (atalet momenti) = 8516,50cm ⁴	
I_y (atalet momenti) = 634cm ⁴	



Şekil 4.8 : Aşık profili CC180-60-20-2,00mm (CFS)

Çizelge 4.6 : Aşık profili CC180-60-20-2,00mm

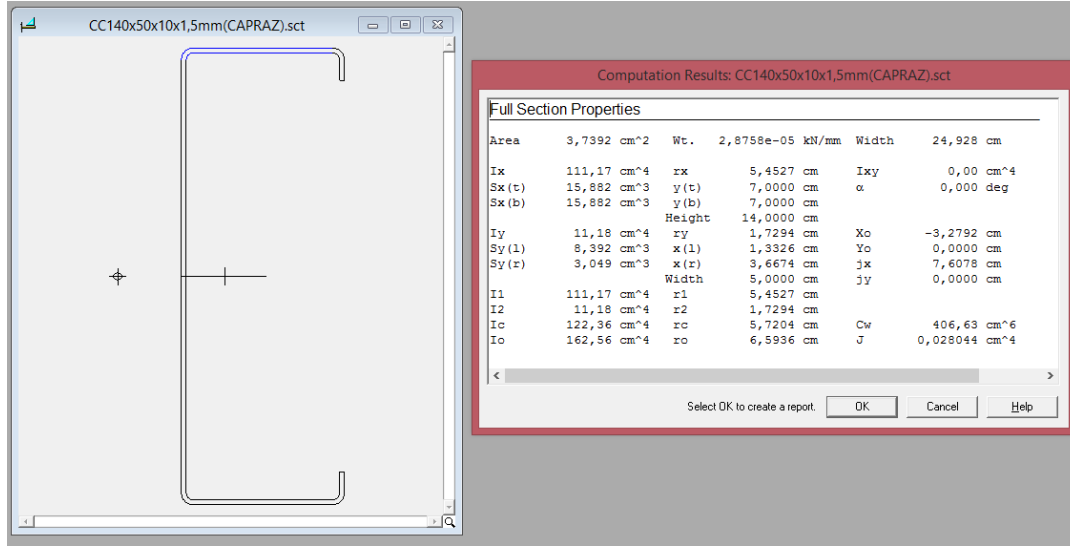
h_0 (kesit yüksekliği) = 18cm b_0 (başlık genişliği) = 6cm t (kalınlık) = 0,20cm c (tırnak uzunluğu) = 2,00cm J (burulma sabiti) = 0,08716cm ⁴ C_w (burulma sabiti) = 2116,00cm ⁶ I_x (atalet momenti) = 317,33cm ⁴ I_y (atalet momenti) = 31,88cm ⁴	S_x (mukavemet momenti) = 35,315cm ³ S_y (mukavemet momenti) = 18,137cm ³ r_x (atalet yarıçapı) = 6,9728cm r_y (atalet yarıçapı) = 2,2085cm R (büküm yarıçapı) = 0,20cm A_g (kesit alanı) = 6,5370cm ²
---	--



Şekil 4.9 : Çatı çapraz profili CC160-60-20-2,00mm (CFS)

Çizelge 4.7 : Çatı çapraz profili CC160-60-20-2,00mm

h_0 (kesit yüksekliği) = 16cm b_0 (başlık genişliği) = 6cm t (kalınlık) = 0,20cm c (tırnak uzunluğu) = 2,00cm J (burulma sabiti) = 0,08183cm ⁴ C_w (burulma sabiti) = 1652,40cm ⁶ I_x (atalet momenti) = 241,01cm ⁴ I_y (atalet momenti) = 30,71cm ⁴	S_x (mukavemet momenti) = 30,126cm ³ S_y (mukavemet momenti) = 16,459cm ³ r_x (atalet yarıçapı) = 6,2667cm r_y (atalet yarıçapı) = 2,2370cm R (büküm yarıçapı) = 0,20cm A_g (kesit alanı) = 6,1370cm ²
---	--



Şekil 4.10 : Cephe çapraz profili CC140-50-10-1,50mm (CFS)

Çizelge 4.8 : Cephe çapraz profili CC140-50-10-1,50mm

h_0 (kesit yüksekliği) = 14cm	S_x (mukavemet momenti) = 15,882cm ³
b_0 (başlık genişliği) = 5 cm	S_y (mukavemet momenti) = 8,392cm ³
t (kalınlık) = 0,15cm	r_x (atalet yarıçapı) = 5,4527cm
c (tırnak uzunluğu) = 1,00cm	r_y (atalet yarıçapı) = 1,7294cm
J (burulma sabiti) = 0,028044cm ⁴	R (büküm yarıçapı) = 0,15cm
C_w (burulma sabiti) = 406,63cm ⁶	A_g (kesit alanı) = 3,7392cm ²
I_x (atalet momenti) = 111,17cm ⁴	
I_y (atalet momenti) = 11,18cm ⁴	

4.5 Hafif Çelik Yapı Sisteminin Dinamik Analizi (Deprem Tasarımı)

Soğukta şekil verilmiş profillerden oluşturulan yapı sisteminde, deprem hesabında eş değer deprem yükü yöntemi kullanılacaktır. Eş değer deprem yükleri, iki veya üç boyutlu sistem analizi yapılarak taşıyıcı sistem elemanlarına yatay rijitliklerine göre dağıtılacaktır. Taslak yönetmelikte eş değer deprem yükünün uygulanabileceği binalar çizelge 4.9’da verilmiştir. Yapı deprem tasarım sınıfı (DTS) =1 olarak hesap edilecek, bina yükseklik sınıfı (BYS) olarakta $BYS \geq 7$ olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.9 ‘a göre yapıda kat olmadığından ve bina yükseklik sınıfı 7 olduğundan, yapı tasarımında eş değer deprem yükü hesabı yapılabilir.

Çizelge 4.9 : Bina yükseklik sınıfları (TBDY 2016)

Bina türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları	
	DTS =1, 1a, 2, 2a	DTS =3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının η_{bi} koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$BYS \geq 4$	$BYS \geq 5$
Diğer tüm binalar	$BYS \geq 5$	$BYS \geq 6$

Taslak deprem yönetmeliğinde toplam eş değer deprem yükü hesabı için (4.7) ifadesindeki denklem kullanılmaktadır.

$$V_{tE} = m_t S_{aR} (T_p) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (4.7)$$

(4.7) ifadesinde ki değerler,

V_{tE} : Deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eş değer deprem yükü (taban kesme kuvveti) $[kN]$

m_t : Binanın bodrum katlarının üstündeki toplam kütle,

S_{aR} : Azaltılmış tasarım spektral ivmesi $[g]$,

T_p : Deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu $[s]$,

I : Bina önem katsayısı,

S_{DS} : Kısa periyod bölgesi için tanımlanan tasarım spektral ivme katsayısı,

g : Yer çekimi ivmesi $[m/m^2]$.

(4.7) ifadesindeki m_t 'nin hesaplanabilmesi için yapının depreme katılan kütlelerinin hesaplanması gerekir. Depreme katılan kütlelerin hesaplanabilmesi için taslak deprem yönetmeliği bölüm 4'te hareketli yük katılım katsayısı tablosu verilmiştir. Çizelge 4.10'dan yararlanılarak yapıda ki hareketli yükler azaltılacaktır.

Çizelge 4.10 : Bina kullanım amacı (TBDY 2016)

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo,antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, hastane, otopark, vb	0.30

Çizelge 4.11 : Depreme katılan kütle hesabı

Taban Reaksiyonları		Depreme Katılım Katsayısı
Yük İsimleri	Global FZ	
	KN	
KONSTRUKSIYON	159,2	1
D	84,3	1
S	480	0,3
Toplam Kütle	m_t	$159,2+84,3+480 \times 0,30 = 387,50\text{kN}$

(4.7) ifadesinde ki S_{aR} değerini hesaplamak için (4.8) ifadesindeki denklem kullanılacaktır.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (4.8)$$

(4.7) ifadesindeki $S_{ae}(T)$ değerini hesaplayabilmek için, (4.9) ve (4.10) ifadelerinde ki yatay elastik tasarım ivme spektrumları hesaplanmalıdır.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (4.9)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (4.10)$$

(4.8), (4.9) ve (4.10) ifadelerinde ki değerler,

$R_a(T)$: Ön görülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı deprem yükü azaltma katsayısı

$S_{ae}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi $[g]$

T_A : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu $[s]$

T_B : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu $[s]$

(4.7) ifadesindeki denklemi hesaplayabilmek için önce (4.8) ve (4.9) ifadelerinde ki T_A ve T_B değerleri hesaplanacaktır. Bu denklemde ki S_{D1} ve S_{DS} değerleri bölüm 2’de irdelenmiş (2.4) ve (2.5) ifadelerinde hesap edilmiştir.

Çizelge 4.12 : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotları

T_A	T_B
$0.2 \frac{0,557}{1,071} = 0,10$	$\frac{0,557}{1,071} = 0,52$

(4.8) ifadesindeki denklemde $S_{ae}(T)$ ifadesini hesaplamak için (4.11), (4.12), (4.13) ve (4.14) ifadeleri kullanılacaktır.

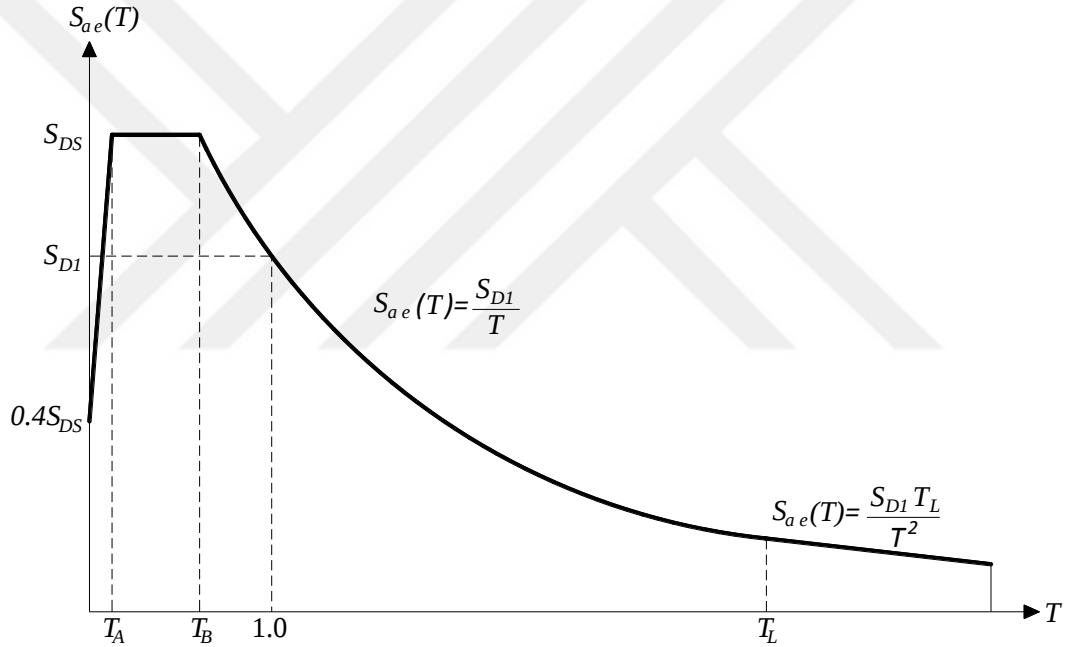
4.6 Deprem Taban Kesme Kuvveti Katsayısı Yatay Yük Analizi

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (4.11)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (4.12)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (4.13)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (4.14)$$



Şekil 4.11 : Yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumu (TBDY 2016)

(4.11), (4.12), (4.13) ve (4.14) ifadelerinde ki değerler,

T : Doğal titreşim periyodu [s]

T_L : Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değıştirme bölgesine geçiş periyodu [s]

Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6s$ alınacaktır.

$S_{ae}(T)$ değerini hesap edebilmek için yapının 3 boyutlu analizi sonucu doğal titreşim periyotları (T) hesap edilmiştir.

Modal Participating Mass Ratios									
File View Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted									
Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepTime	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
MODAL	Mode	1	0,251836	0,783295	0,000027	0,00001	0,783295	0,000027	
MODAL	Mode	3	0,19895	0,000018	0,797431	0,00000001962	0,783328	0,797457	
MODAL	Mode	4	0,174112	0,000036	0,000000431	0,00000003443	0,783423	0,797466	
MODAL	Mode	5	0,16748	0,000034	0,00000001032	0,00000008852	0,783459	0,797466	
MODAL	Mode	6	0,166919	0,00000003083	0,0000000119	0,00000001118	0,783459	0,797466	
MODAL	Mode	7	0,165724	0,00000002699	0,00000002259	0,00000001732	0,783459	0,797466	
MODAL	Mode	8	0,165629	0,000024	0,00000006989	6,001E-13	0,783483	0,797466	
MODAL	Mode	9	0,164336	0,00026	0,00000006223	0,00000004581	0,783743	0,797466	
MODAL	Mode	10	0,160827	0,00000001126	0,068694	0,00000000006	0,783743	0,86616	
MODAL	Mode	11	0,151842	0,125263	0,000002459	0,00000008198	0,909006	0,866163	
MODAL	Mode	12	0,128956	0,000001809	0,00000003106	0,042275	0,909007	0,866163	
MODAL	Mode	13	0,125791	0,000026	0,000003672	0,00000003407	0,909034	0,866166	
MODAL	Mode	14	0,125439	0,001168	0,000002597	0,00000001485	0,910201	0,866169	

Şekil 4.12 : Yatay doğrultuda doğal titreşim periyotları (SAP 2000)

Yatay doğrultuda doğal titreşim periyotları şekil 4.12’de verilmiştir. Periyot değerleri hesaplanan yapının X ve Y doğrultusuna göre spektral ivme katsayıları hesaplanacaktır. X ve Y doğrultusundaki periyot değerleri sırasıyla $T_x = 0.25$ ve $T_y = 0.19$ bu değerler (4.12) ifadesindeki denklemin sınır değerleri içerisinde kalmaktadır. Bu neden ile $S_{ae}(T) = S_{DS}$ koşulu geçerli olup her iki yön içinde, $S_{ae}(T) = 1,071$ alınacaktır.

(4.8) ifadesindeki denklemde $S_{aR}(T)$ değerini hesaplayabilmek için bilinmeyen olarak $R_a(T)$ değeri kalmaktadır. Bu değeri hesaplamak için taslak deprem yönetmeliği bölüm 4’te yer alan formüller kullanılacaktır. Bu formüller (4.15) ve (4.16) ifadelerinde gösterilmiştir.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (4.15)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \left(\frac{T}{T_B} \right) \quad T \leq T_B \quad (4.16)$$

(4.15) ve (4.16) ifadelerinde ki değerler,

D : Dayanım fazlalığı katsayısı

X ve Y doğrultusundaki doğal titreşim periyodu $T \leq T_B$ olduğundan (4.16) ifadesiyle deprem yükü azaltma katsayısı kullanılacaktır. (4.16) ifadesinde ki değer çizelge 4.13’den faydalanılarak bulunacak ve $R = 3$, $D = 2$ olarak alınacaktır.

Çizelge 4.13 : Doğrultulara göre R değerleri

$R_a(T_x)$	$R_a(T_y)$
$2 + \left(\frac{3}{1} - 2\right) \left(\frac{0.25}{0.52}\right) = 2,48$	$2 + \left(\frac{3}{1} - 2\right) \left(\frac{0.19}{0.52}\right) = 2,36$

Taslak deprem yönetmeliğine göre (4.8) ifadesindeki $S_{aR}(T)$ değeri her iki yön için hesap edildiğinde,

Çizelge 4.14 : Spektral ivme katsayıları

$S_{aR}(T_x)$	$S_{aR}(T_y)$
$\left(\frac{1,071}{2,48}\right) = 0,431$	$\left(\frac{1,071}{2,36}\right) = 0,453$

(4.7) ifadesindeki denklemde V_{tE} değerinin hesaplanabilmesi için koşulun sağlanması gerekmektedir.

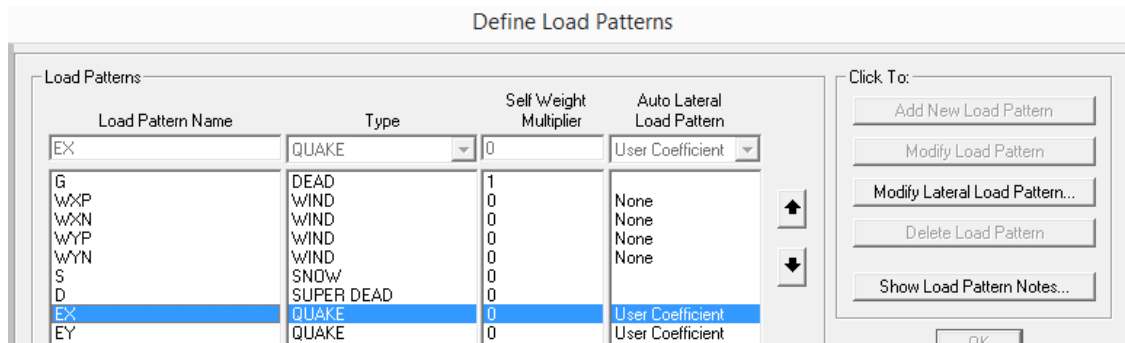
Bu kontrolü X doğrultusu için yaparsak, eşitliğin her iki tarafındaki m_t terimi sadeleşeceğinden ;

$$V_{tE}^{(x)} = 0,431 \geq (0.04 \times 1 \times 1,071) = 0.043$$

Bu kontrolü Y doğrultusu için yaparsak, eşitliğin her iki tarafındaki m_t terimi sadeleşeceğinden ;

$$V_{tE}^{(y)} = 0,453 \geq (0.04 \times 1 \times 1,071) = 0.043$$

Bu değerler SAP 2000 programında tanıtilan deprem yükleri için oluşturulmuş yüklerin base shear coefficient(taban kesme kuvveti katsayısı) kısmına tanıtılır.



Şekil 4.13 : Yatay deprem kuvvetinin tanıtılması (SAP 2000)

The image displays two screenshots of the 'User Defined Seismic Load Pattern' dialog box from SAP 2000. The top screenshot shows the 'Global X Direction' selected under 'Load Direction and Diaphragm Eccentricity'. The 'Ecc. Ratio (All Diaph.)' is set to 0.05. In the 'Other Factors' section, 'Base Shear Coefficient, C' is 0.431 and 'Building Height exp., K' is 1. The bottom screenshot shows the 'Global Y Direction' selected. The 'Ecc. Ratio (All Diaph.)' remains 0.05. In the 'Other Factors' section, 'Base Shear Coefficient, C' is 0.453 and 'Building Height exp., K' is 1. Both screenshots have a red box highlighting the 'Other Factors' section.

Şekil 4.14 : Deprem taban kesme kuvveti katsayıları (SAP 2000)

4.7 Deprem Taban Kesme Kuvveti Katsayısı Düşey Yük Analizi

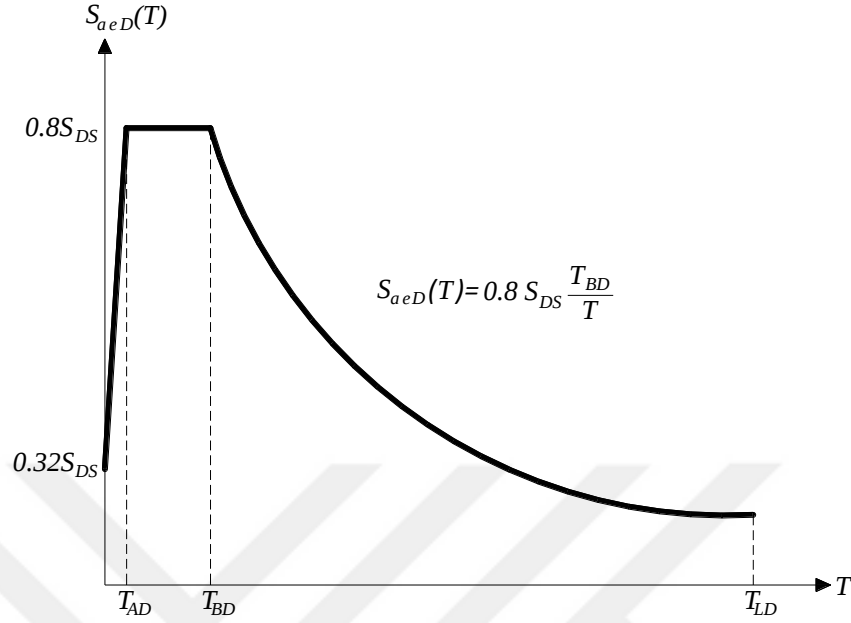
Taslak deprem yönetmeliğinde düşey yönde deprem etkisinin yapılara uygulanması gerekliliği anlatılmaktadır. Özellikle de konsol açıklıkları fazla olan yapılarda önemli bir etkiye sahip düşey doğrultuda ki deprem etkisi, taslak deprem yönetmeliği yayınlandıktan sonra hesaplanmaya ve uygulanmaya başlayacaktır. Açıklığı 20m ve üstü olan endüstriyel yapılarada da düşey deprem etkisinin hesaplara yansıtılması ve kombinasyonlarda taslak deprem yönetmeliğinde de belirtilen şekilde dahil edilmesi gerekmektedir. Deprem kombinasyonları ve kombinasyon tanımları bölüm 3'te gösterilmiştir.

Düşey deprem yükünü hesaplamak için (4.17), (4.18) ve (4.19) ifadeleri hesaplanacaktır. Bu ifadeleri hesaplamak için (4.20), (4.21) ve (4.22) ifadelerinin hesaplanması gerekmektedir.

$$S_{aeD}(T) = \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_{AD}) \quad (4.17)$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS} \quad (T_{AD} \leq T \leq T_{BD}) \quad (4.18)$$

$$S_{aeD}(T) = 0.5 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (T_{BD} \leq T \leq T_{LD}) \quad (4.19)$$



Şekil 4.15 : Düşey elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumu (TBDY 2016)

(4.16), (4.17) ve (4.18) ifadelerinde ki değerler,

$S_{aeD}(T)$: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi [g]

T_{AD} : Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

T_{BD} : Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

T_{LD} : Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]

$S_{aeD}(T)$ değerlerini hesaplayabilmek için,

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad (4.20)$$

$$T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad (4.21)$$

$$T_{LD} = \frac{T_L}{2} \quad (4.22)$$

Çizelge 4.15 : Düşey elastik ivme spektrumu

T_{AD} (4.20)	T_{BD} (4.21)	T_{LD} (4.22)
$\frac{0,10}{3} = 0,033$	$\frac{0,52}{3} = 0,17$	$\frac{6}{2} = 3$

Modal Participating Mass Ratios									
File View Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted					Modal Participating Mass Ratios				
	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0,261826	0,782295	0,000027	0,000001	0,782295	0,000027
	MODAL	Mode	2	0,222338	0,000016	0,00000004232	0,387534	0,78331	0,000027
	MODAL	Mode	3	0,19895	0,000018	0,797431	0,00000001962	0,783328	0,797431
	MODAL	Mode	4	0,174112	0,000096	0,000008431	0,00000009449	0,783425	0,797466
	MODAL	Mode	5	0,16748	0,000034	0,00000001032	0,00000008852	0,783459	0,797466
	MODAL	Mode	6	0,166919	0,00000003083	0,00000000119	0,000000001118	0,783459	0,797466
	MODAL	Mode	7	0,165724	0,00000002699	0,00000002259	0,00000001732	0,783459	0,797466

Şekil 4.16 : Düşey doğrultuda doğal titreşim periyodu (SAP 2000)

Düşey doğrultuda doğal titreşim periyodu şekil 4.16’da verilmiştir. Periyot değeri hesaplanan yapının Z doğrultusuna göre spektral ivme katsayısı hesaplanacaktır. Z doğrultusundaki periyot değeri $T_z = 0.222$, bu değer (4.19) ifadesindeki denklemin sınır değerleri içerisinde kalmaktadır. Taslak deprem yönetmeliğinde düşey deprem etkisi altındaki binalarda, düşey yükün deprem etkisi hesaplanırken tüm taşıyıcı sistemler için $R/I = 1$ ve $D=1$ alınacaktır. Taslak deprem yönetmeliğinde açıklıkları yataydaki izdüşümü 20m veya daha fazla olan kirişleri içeren binalarda, düşey doğrultuda $S_{aeD}(T)$ değeri (4.19) ifadesindeki denklemden yararlanılarak bulunacaktır,

$$S_{aeD}(T) = 0.5 \times 1,071 \times \frac{0,17}{0,222} = 0,410$$

Load Case Data - Linear Static											
Load Case Name EZ	Notes Modify/Show...	Load Case Type Static									
Stiffness to Use ☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State ☐ Stiffness at End of Nonlinear Case		Analysis Type ☒ Linear ☐ Nonlinear ☐ Nonlinear Staged Construction									
Loads Applied <table border="1"> <thead> <tr> <th>Load Type</th> <th>Load Name</th> <th>Scale Factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Load Pattern</td> <td>EZ</td> <td>0.41</td> </tr> <tr> <td>Load Pattern</td> <td>EZ</td> <td>0.41</td> </tr> </tbody> </table>			Load Type	Load Name	Scale Factor	Load Pattern	EZ	0.41	Load Pattern	EZ	0.41
Load Type	Load Name	Scale Factor									
Load Pattern	EZ	0.41									
Load Pattern	EZ	0.41									
Add Modify Delete OK Cancel											

Şekil 4.17 : Düşey deprem kuvvetinin tanıtılması (SAP 2000)

4.8 Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü:

Taslak deprem yönetmeliğinde etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü yapılırken herhangi bir kolon veya perde için, ardışık katlar arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden değeri (4.23) ifadesinde ki gibi elde edilecektir.

$$\Delta_i^{(x,y)} = u_i^{(x,y)} - u_{i-1}^{(x,y)} \quad (4.23)$$

(4.23) ifadesinde ki değeri,

$\Delta_i^{(x,y)}$: X veya Y doğrultusunda yer değiştirme.

$u_i^{(x,y)}$: i'inci katta azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri göstermektedir.

$u_{i-1}^{(x,y)}$: (i-1)'inci katta azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri göstermektedir.

Tipik deprem doğrultuları için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi (4.23) ifadesinde ki gibi elde edilecektir.

$$\delta_i^{(x,y)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(x,y)} \quad (4.24)$$

(4.23) ifadesinde ki değeri,

$\delta_i^{(x,y)}$: Etkin görelî kat ötelemesi.

Tipik deprem doğrultusu için, etkin görelî kat ötelemesi (4.25) ifadesinde ki koşulunu sağlamalıdır.

R : Yapı davranış katsayısı,

I : Bina önem katsayısı.

$$\lambda \frac{\delta_{imax}^{(x,y)}}{h_i} \leq 0.008 \quad (4.25)$$

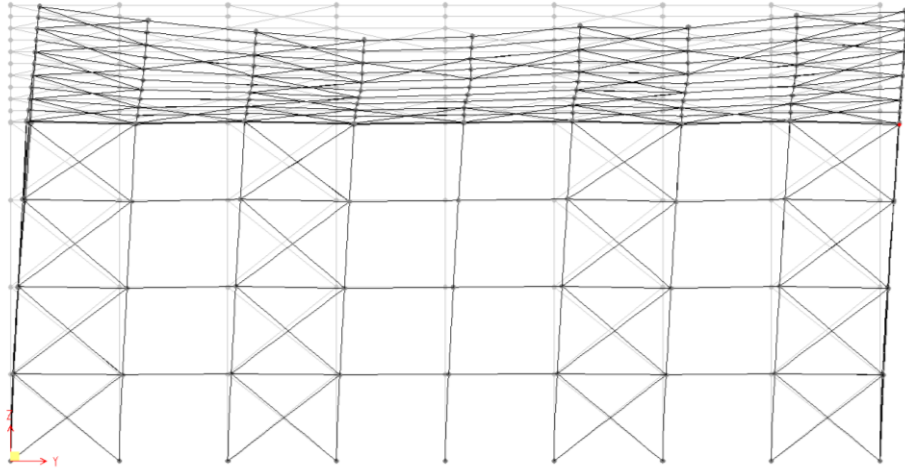
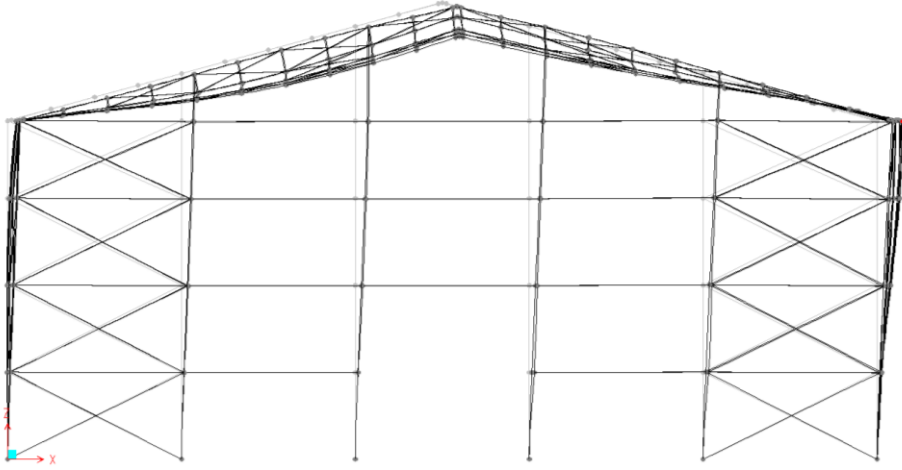
Bu ifadede,

λ : DD-3 depreminin elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 depreminin elastik spektral ivmesine oranıdır.

$\delta_{imax}^{(x,y)}$: Etkin görelî kat ötelemesi

h_i : Kat yüksekliği

λ katsayısının hesaplanması ile ilgili DD-3 deprem düzeyinin verileri henüz olmadığından bu katsayı güvenli tarafta kalmak için 1 olarak alınacaktır.



Şekil 4.18 : Göreli kat ötelemeri (SAP 2000)

X yönünde göreli kat ötelemesi kontrolü;

$$\Delta_i^{(x)} = 1,10 - 0 = 1,10 \text{ cm}$$

$$\delta_i^{(x)} = (3/1) \times 1,10 = 3,30 \text{ cm}$$

$$1 \times \frac{3,30}{800} \leq 0,008 \text{ göreli kat ötelemesi sınır değerleri altındadır.}$$

Y yönünde göreli kat ötelemesi kontrolü;

$$\Delta_i^{(y)} = 0,42 - 0 = 1,10 \text{ cm}$$

$$\delta_i^{(y)} = (3/1) \times 0,42 = 1,26 \text{ cm}$$

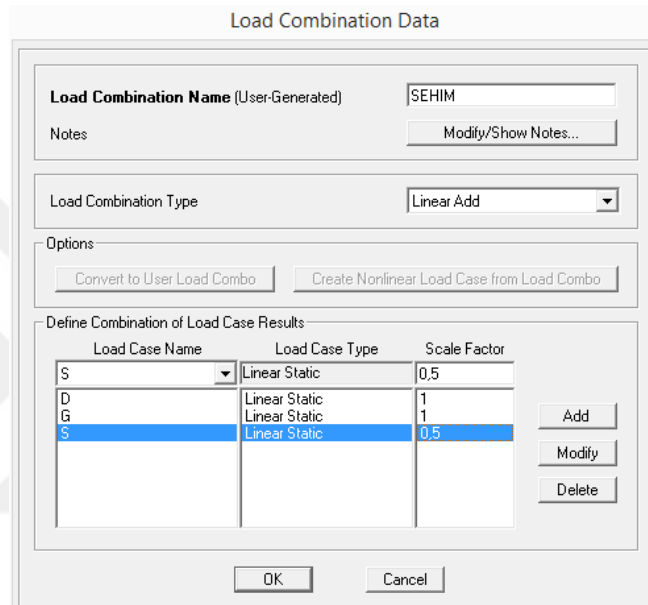
$$1 \times \frac{1,26}{800} \leq 0,008 \text{ göreli kat ötelemesi sınır değerleri altındadır.}$$

4.9 Sehim Deformasyonu Kontrolü

Kullanılabilirlik sınır durumları, ön görülen yük birleşimleri altında, yapı sisteminin yer değiştirme ve ivme gibi davranış büyüklüklerine ait sınırlar ile tanımlanır.

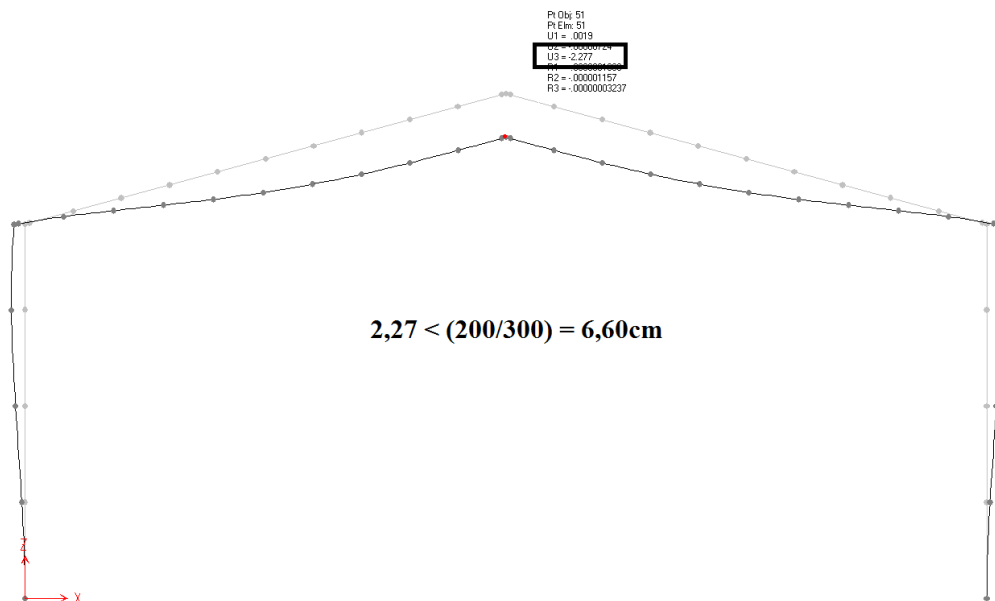
G taşıyıcı sistem ölü yükünü, D ölü yükü, S kar yükünü göstermek üzere sınır durumlarının kontrol edildiği yük birleşimi;

G + D + 0.5S birleşimi şeklinde yapılmıştır. Toplam düşey yer değiştirmenin 1/300(Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım esasları) sınır değerini aşmadığı görülmüştür.



Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
S	Linear Static	0.5
D	Linear Static	1
G	Linear Static	1

Şekil 4.19 : Sehim kombinasyonu (SAP 2000)



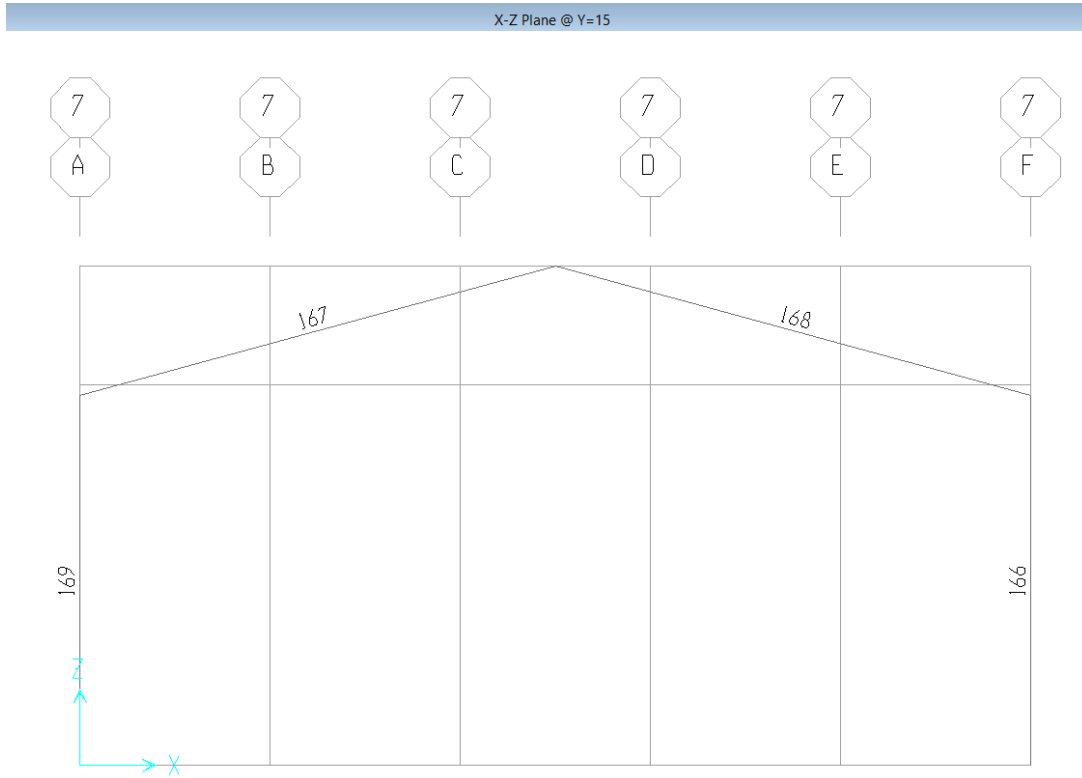
Şekil 4.20 : Sehim deformasyonu (SAP 2000)

4.10 Kesit Tasarımları

Kolon tasarım sonuçları ayrıntılı bir şekilde bölüm 5'te incelenmiştir. Bu bölümde sistemi oluşturan diğer taşıyıcı elemanların tasarımı CFS programı kullanılarak yapılacaktır. CFS programında hesap yapılırken kesitlerdeki gerilmeler, SAP 2000 programında hesap edilen kesit reaksiyonlarından alınacaktır. Sistem tasarımı yapılırken ASD ve LRFD standartları CFS programında irdelenecektir.

4.10.1 Kiriş Tasarımı (Eleman No:168)

AISI- LRFD standartına göre tasarım yapıldığında,



Şekil 4.21 : Kiriş kesit numarası (SAP 2000)

Çizelge 4.16 : Kiriş AISI-LRFD kesit reaksiyonları

Kesit Reaksiyonları									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
168	10,3633	LRFD5	Combination	-20,767	30,024	27,47	0,0053	-0,045	-57,023

Member Check - 1999 AISI Specification (LRFD)

Material Type: A283 Grade D, Fy=355 MPa

Design Parameters:

Lx	1036,0 cm	Ly	103,6 cm	Lt	103,6 cm
Kx	1,0000	Ky	1,0000	Kt	1,0000
Cbx	1,0000	Cby	1,0000	ex	0,0000 cm
Cmx	1,0000	Cmy	1,0000	ey	0,0000 cm
Braced Flange: None		k ϕ	0 kN		
Red. Factor, R: 0		Lm	103,6 cm		

Loads:	P	Mx	Vy	My	Vx
	(kN)	(kN-m)	(kN)	(kN-m)	(kN)
Entered	20,77	57,02	30,02	0,05	27,47
Applied	20,77	57,02	30,02	0,04	27,47
Strength	471,95	117,99	122,96	15,38	224,93

Effective section properties at applied loads:

Ae	37,816 cm ²	Ixe	8516,5 cm ⁴	Iye	634,0 cm ⁴
		Sxe(t)	425,83 cm ³	Sye(l)	63,40 cm ³
		Sxe(b)	425,83 cm ³	Sye(r)	63,40 cm ³

Interaction Equations

AISI Eq. C5.2.2-1 (P, Mx, My)	0,044 + 0,490 + 0,003 = 0,537 <= 1.0
AISI Eq. C5.2.2-2 (P, Mx, My)	0,037 + 0,483 + 0,003 = 0,523 <= 1.0
AISI Eq. C3.3.2-1 (Mx, Vy)	0,210 + 0,060 = 0,269 <= 1.0
AISI Eq. C3.3.2-1 (My, Vx)	0,000 + 0,015 = 0,015 <= 1.0

Şekil 4.22 : CFS programı kiriş tasarım sonuçları (AISI-LRFD)

AISI- ASD standartına göre tasarım yapıldığında,

Çizelge 4.17 : Kiriş AISI-ASD kesit reaksiyonları

Kesit Reaksiyonları									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
168	10,3633	ASD2	Combination	-14,227	20,555	19,604	0,0037	-0,0313	-39,075

Member Check - 1999 AISI Specification (ASD)

Material Type: A283 Grade D, Fy=355 MPa

Design Parameters:

Lx	1036,0 cm	Ly	103,6 cm	Lt	103,6 cm
Kx	1,0000	Ky	1,0000	Kt	1,0000
Cbx	1,0000	Cby	1,0000	ex	0,0000 cm
Cmx	1,0000	Cmy	1,0000	ey	0,0000 cm
Braced Flange: None		k ϕ	0 kN		
Red. Factor, R: 0		Lm	103,6 cm		

Loads:	P	Mx	Vy	My	Vx
	(kN)	(kN-m)	(kN)	(kN-m)	(kN)
Entered	14,23	39,075	20,56	0,031	19,60
Applied	14,23	39,075	20,56	0,031	19,60
Strength	308,46	78,504	81,81	10,234	149,95

Effective section properties at applied loads:

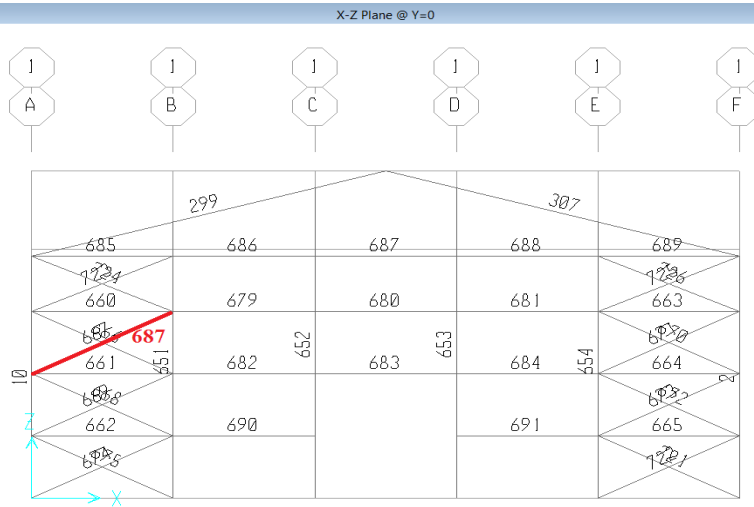
Ae	37,816 cm ²	Ixe	8516,5 cm ⁴	Iye	634,0 cm ⁴
		Sxe(t)	425,83 cm ³	Sye(l)	63,40 cm ³
		Sxe(b)	425,83 cm ³	Sye(r)	63,40 cm ³

Interaction Equations

AISI Eq. C5.2.1-1 (P, Mx, My)	0,046 + 0,506 + 0,003 = 0,555 <= 1.0
AISI Eq. C5.2.1-2 (P, Mx, My)	0,039 + 0,498 + 0,003 = 0,540 <= 1.0
AISI Eq. C3.3.1-1 (Mx, Vy)	0,248 + 0,063 = 0,311 <= 1.0
AISI Eq. C3.3.1-1 (My, Vx)	0,000 + 0,017 = 0,017 <= 1.0

Şekil 4.23 : CFS programı kiriş tasarım sonuçları (AISI-ASD)

4.10.2 Düşey Çapraz Tasarımı (Eleman No:687)



Şekil 4.24 : Düşey çapraz kesit numarası (SAP 2000)

Taslak deprem yönetmeliği kombinasyonu olumsuz bulunmuştur bu reaksiyonlara göre AISI-LRFD standartına göre tasarım yapıldığında,

Çizelge 4.18 : Düşey çapraz deprem kombinasyonu kesit reaksiyonları

Kesit Reaksiyonları									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
667	4,47214	DEPREM2	Combination	-22,568	4,752E-18	-0,078	0	0	0

Member Check - 1999 AISI Specification (LRFD)

Material Type: [ST-37], Fy=235 MPa

Design Parameters:

Lx	447,00 cm	Ly	223,50 cm	Lt	223,50 cm
Kx	1,0000	Ky	1,0000	Kt	1,0000
Cbx	1,0000	Cby	1,0000	ex	0,0000 cm
Cmx	1,0000	Cmy	1,0000	ey	0,0000 cm
Braced Flange: None		kφ	0 kN		
Red. Factor, R: 0		Lm	223,50 cm		

Loads:	P	Mx	Vy	My	Vx
	(kN)	(kN-m)	(kN)	(kN-m)	(kN)
Entered	22,568	0,0000	0,000	0,0000	0,000
Applied	22,568	0,0000	0,000	-0,0161	0,000
Strength	24,689	2,3090	20,532	0,6618	18,189

Effective section properties at applied loads:

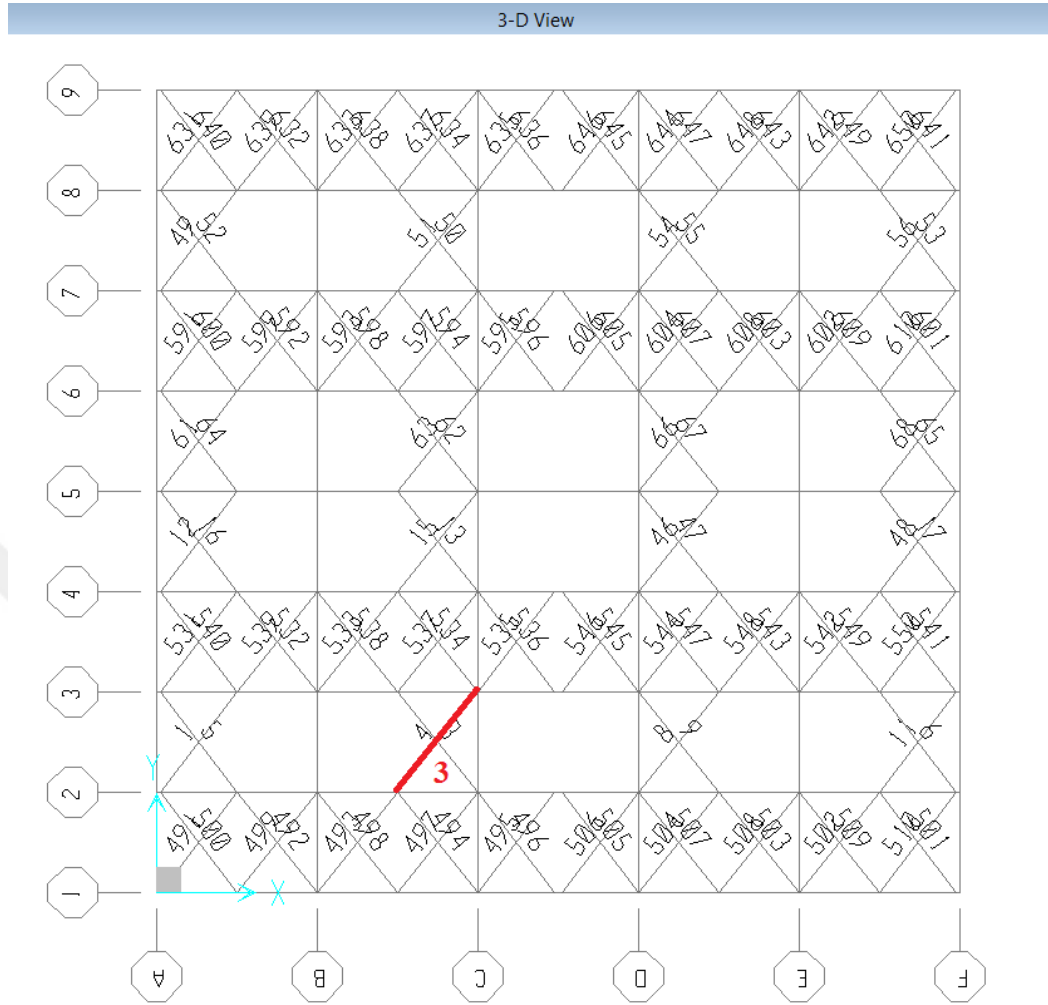
Ae	3,4801 cm ²	Ixe	111,11 cm ⁴	Iye	10,74 cm ⁴
		Sxe(t)	15,872 cm ³	Sye(l)	7,532 cm ³
		Sxe(b)	15,872 cm ³	Sye(r)	3,006 cm ³

Interaction Equations

AISI Eq. C5.2.2-1 (P, Mx, My)	0,914 + 0,000 + 0,050 = 0,964 <= 1.0
AISI Eq. C5.2.2-2 (P, Mx, My)	0,432 + 0,000 + 0,024 = 0,457 <= 1.0
AISI Eq. C3.3.2-1 (Mx, Vy)	0,000 + 0,000 = 0,000 <= 1.0
AISI Eq. C3.3.2-1 (My, Vx)	0,001 + 0,000 = 0,001 <= 1.0

Şekil 4.25 : CFS programı düşey çapraz tasarım sonuçları (AISI-LRFD)

4.10.3 Çatı Çapraz Tasarımı (Eleman No:3)



Şekil 4.26 : Çatı çaprazı kesit numarası (SAP 2000)

Taslak deprem yönetmeliği kombinasyonu olumsuz bulunmuştur bu reaksiyonlara göre AISI-LRFD standartına göre tasarım yapıldığında,

Çizelge 4.19 : Çatı çaprazı deprem kombinasyonu kesit reaksiyonları

Kesit Reaksiyonları									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
3	0	DEPREM5	Combination	-1,586	-4,817E-18	0,079	0	0	0

Member Check - 1999 AISI Specification (LRFD)

Material Type: [ST-37], $F_y=235$ MPa

Design Parameters:

Lx	324,00 cm	Ly	324,00 cm	Lt	324,00 cm
Kx	1,0000	Ky	1,0000	Kt	1,0000
Cbx	1,0000	Cby	1,0000	ex	0,0000 cm
Cmx	1,0000	Cmy	1,0000	ey	0,0000 cm

Braced Flange: None

Red. Factor, R: 0

$k\phi$ 0 kN

Lm 324,00 cm

Loads:	P (kN)	Mx (kN-m)	Vy (kN)	My (kN-m)	Vx (kN)
Entered	1,586	0,0000	0,000	0,0000	0,000
Applied	1,586	0,0000	0,000	0,0000	0,000
Strength	39,247	4,0814	36,501	1,3483	29,328

Effective section properties at applied loads:

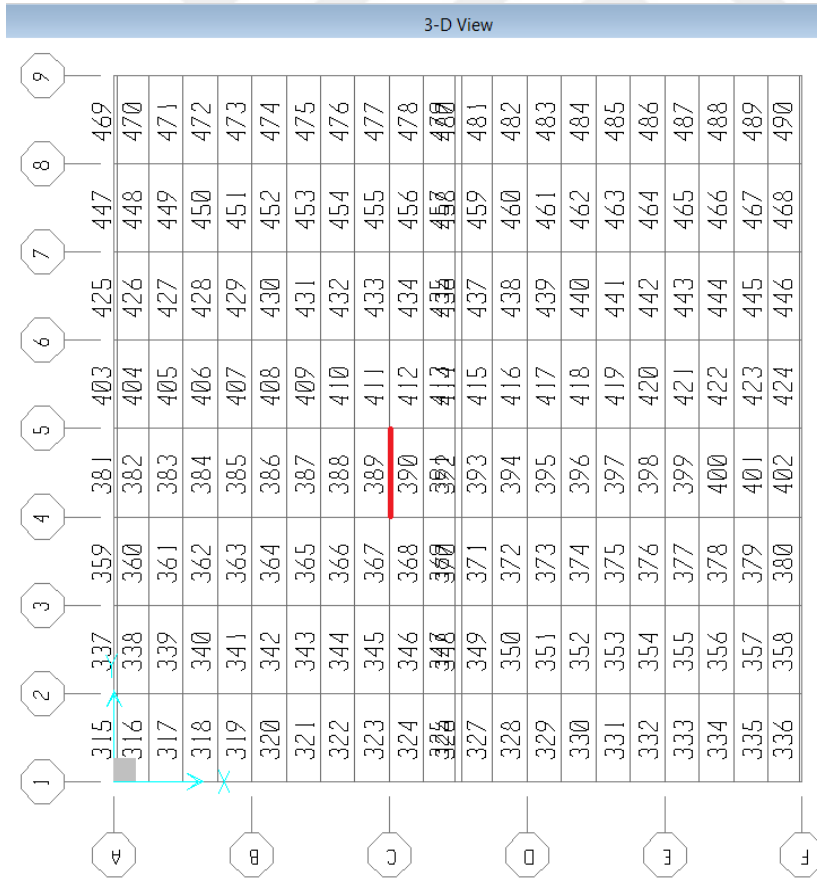
Ae	6,1370 cm ²	Ixe	241,01 cm ⁴	Iye	30,71 cm ⁴
		Sxe(t)	30,126 cm ³	Sye(l)	16,459 cm ³
		Sxe(b)	30,126 cm ³	Sye(r)	7,429 cm ³

Interaction Equations

AISI Eq. C5.2.2-1 (P, Mx, My)	0,040 + 0,000 + 0,000 = 0,040 ≤ 1.0
AISI Eq. C5.2.2-2 (P, Mx, My)	0,016 + 0,000 + 0,000 = 0,016 ≤ 1.0
AISI Eq. C3.3.2-1 (Mx, Vy)	0,000 + 0,000 = 0,000 ≤ 1.0
AISI Eq. C3.3.2-1 (My, Vx)	0,000 + 0,000 = 0,000 ≤ 1.0

Şekil 4.27 : CFS programı çatı çaprazı tasarım sonuçları (AISI-LRFD)

4.10.4 Aşık Tasarımı (Eleman No:3)



Şekil 4.28 : Aşık kesit numarası (SAP 2000)

AISI- LRFD standartına göre tasarım yapıldığında,

Çizelge 4.20 : Aşık AISI-LRFD kesit reaksiyonları

Kesit Reaksiyonları									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
389	1	LRFD4	Combination	-39,687	0,48	0,177	0,00001332	-0,1123	-1,4386
389	1,5	LRFD4	Combination	-39,687	-0,48	-0,08	0,00001332	-0,1368	-1,4386

Member Check - 1999 AISI Specification (LRFD)

Material Type: [ST-37], Fy=235 MPa

Design Parameters:

Lx	250,00 cm	Ly	250,00 cm	Lt	250,00 cm
Kx	1,0000	Ky	1,0000	Kt	1,0000
Cbx	1,0000	Cby	1,0000	ex	0,0000 cm
Cmx	1,0000	Cmy	1,0000	ey	0,0000 cm
Braced Flange:	None	kφ	0 kN		
Red. Factor, R:	0	Lm	250,00 cm		

Loads:	P	Mx	Vy	My	Vx
	(kN)	(kN-m)	(kN)	(kN-m)	(kN)
Entered	39,687	1,4386	0,480	0,1123	0,177
Applied	39,687	1,4386	0,480	0,0814	0,177
Strength	57,998	6,0752	36,501	1,5392	29,328

Effective section properties at applied loads:

Ae	6,2593 cm ²	Ixe	316,32 cm ⁴	Iye	31,08 cm ⁴
		Sxe(t)	34,762 cm ³	Sye(l)	16,973 cm ³
		Sxe(b)	35,541 cm ³	Sye(r)	7,457 cm ³

Interaction Equations

AISI Eq. C5.2.2-1 (P, Mx, My)	0,614 + 0,247 + 0,087 = 0,948 <= 1.0
AISI Eq. C5.2.2-2 (P, Mx, My)	0,397 + 0,237 + 0,053 = 0,687 <= 1.0
AISI Eq. C3.3.2-1 (Mx, Vy)	0,033 + 0,000 = 0,033 <= 1.0
AISI Eq. C3.3.2-1 (My, Vx)	0,003 + 0,000 = 0,003 <= 1.0

Şekil 4.29 : CFS programı aşık tasarım sonuçları (AISI-LRFD)

AISI- ASD standartına göre tasarım yapıldığında,

Çizelge 4.21 : Aşık AISI-ASD kesit reaksiyonları

Kesit Reaksiyonları									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
389	1	ASD2	Combination	-26,838	0,321	0,122	0,000009172	-0,0744	-0,9632

Member Check - 1999 AISI Specification (ASD)

Material Type: [ST-37], Fy=235 MPa

Design Parameters:

Lx	250,00 cm	Ly	250,00 cm	Lt	250,00 cm
Kx	1,0000	Ky	1,0000	Kt	1,0000
Cbx	1,0000	Cby	1,0000	ex	0,0000 cm
Cmx	1,0000	Cmy	1,0000	ey	0,0000 cm
Braced Flange:	None	kφ	0 kN		
Red. Factor, R:	0	Lm	250,00 cm		

Loads:	P	Mx	Vy	My	Vx
	(kN)	(kN-m)	(kN)	(kN-m)	(kN)
Entered	26,838	0,9630	0,000	0,0744	0,000
Applied	26,838	0,9630	0,000	0,0744	0,000
Strength	37,907	4,0421	24,285	1,0241	19,552

Effective section properties at applied loads:

Ae	6,5370 cm ²	Ixe	317,83 cm ⁴	Iye	31,88 cm ⁴
		Sxe(τ)	35,315 cm ³	Sye(l)	18,137 cm ³
		Sxe(b)	35,315 cm ³	Sye(r)	7,516 cm ³

Interaction Equations

AISI Eq. C5.2.1-1 (P, Mx, My)	0,608 + 0,214 + 0,140 = 0,962 ≤ 1.0
AISI Eq. C5.2.1-2 (P, Mx, My)	0,411 + 0,238 + 0,073 = 0,722 ≤ 1.0
AISI Eq. C3.3.1-1 (Mx, Vy)	0,038 + 0,000 = 0,038 ≤ 1.0
AISI Eq. C3.3.1-1 (My, Vx)	0,005 + 0,000 = 0,005 ≤ 1.0

Şekil 4.30 : CFS programı aşık tasarım sonuçları (AISI-ASD)

4.11 Yapı Taşıyıcı Konstrüksiyon Ağırlığı:

Yapıyı oluşturan sistemde ki eleman ağırlıkları çizelge 4.22’de verilmiştir. Sistem kurulumunda kullanılacak olan bağlantı plakaları, betonarme temel bağlantı plakaları sistem ağırlığı içerisinde verilmemiştir.

Çizelge 4.22 : Hafif çelik yapı konstrüksiyon ağırlığı

Malzeme Listesi			
Kesit İsimleri	Eleman Fonksiyonu	Toplam Uzunluk	Toplam Ağırlık
		(m)	(kg)
2CC400-100-25-3mm	Kolon-Kiriş	401,87576	11887
CC140-50-10-1,50mm	Çapraz	828,62433	2478,3
CC160-60-20-2,00mm	Çapraz	180,43392	883,8
CC180-60-20-2,00mm	Aşık	440	2293,5
Toplam Malzeme Ağırlığı (kg)			17542,6

5. HAFİF ÇELİK KOLON TASARIMI

Soğukta şekil verilmiş kolon elemanının tasarımı excel de yapılan program ile CFS programının karşılaştırılması şeklinde olacaktır. Tasarımda AISI 2007 standardı kullanılacak ve bu standart ile ASD ve LRFD metotları tasarımın sonunda kıyaslanacaktır. Yapılacak olan hesapta LRFD metodu ile hesap irdelenecek ancak tasarımın sonunda her iki metodun eksenel yüklerinin maksimum olma durumları kıyaslanacaktır. Tasarım olarak seçilen kombinasyonlar daha önce bölüm 3'te verilen kombinasyon değerleri olacaktır. Excel ile yapılan analizde hesabın gerekli kısımları CFS programının değerleri ile kıyaslanacaktır.

5.1 Tasarım Yapılan Kolon Elemanın Özellikleri

$$L(\text{tasarım yapılan elemanın boyu}) = 800\text{cm}$$

$$L_t(\text{yanal doğrultuda tutulmamış boy}) = 200\text{cm}$$

Çelik Malzeme Özellikleri (S355 JR) :

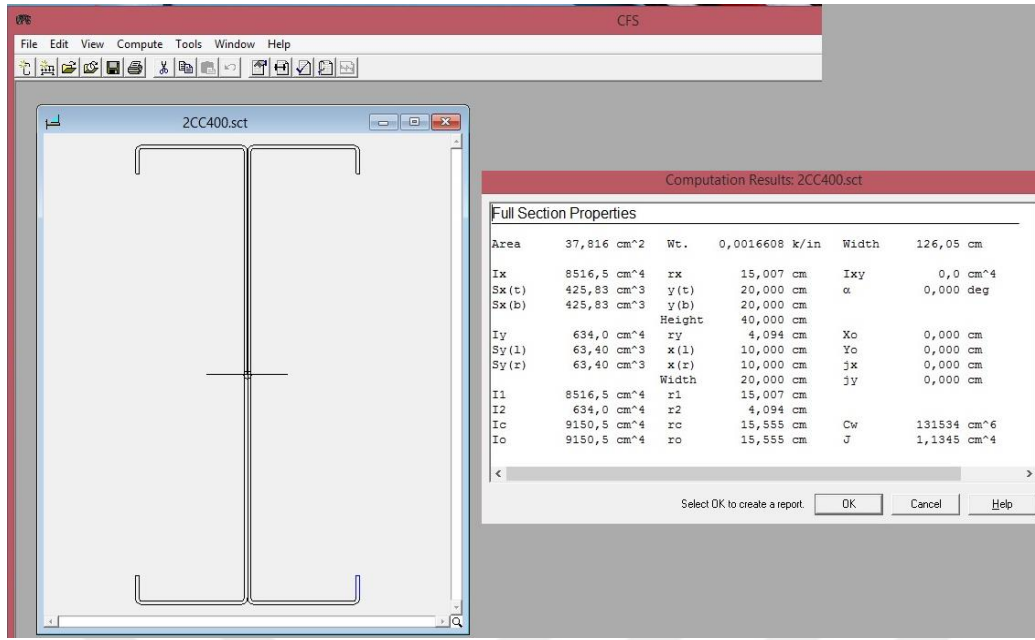
$$F_y(\text{karakteristik minimum akma dayanımı}) = 355000 \text{ kN/m}^2$$

$$E(\text{Elastisite Modülü}) = 2 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$$

$$G(\text{çelik kayma modülü}) = 76923077 \text{ kN/m}^2$$

Kesit Özellikleri

Kolon elemanının AISI 2007 standardında tasarımı yapılırken sırt sırta sabitlenmiş soğukta şekil verilmiş C profil olarak belirlenen denklemlerden yararlanılacaktır. Hafif çelik eleman tasarımlarında kesit şekil ve sayısının denklemlere direk katkısı olduğu bilinmektedir. Bu yüzden tasarım yapılırken sırt sırta bağlanmış C profilin özellikleri ve denklemleri göz önünde tutulacaktır. Aynı zamanda kesitin maruz kaldığı kesit tesirleri tasarıma direk etki etmektedir. Kolon elemanının tasarımı yapılırken eksenel yük ve moment etkisi altında olduğu göz önüne alınacaktır. AISI 2007 standartından denklemler seçilirken bu kriterler kabul edilmiş olup excel hesap programı bu şekilde yapılmıştır.



Şekil 5.1 : Kolon profili 2xCC400-100-25-3,00mm (CFS)

Çizelge 5.1 : Kolon elemanı özellikleri

h_0 (kesit yüksekliği) = 40cm b_0 (başlık genişliği) = 10cm t (kalınlık) = 0,30cm c (tırnak uzunluğu) = 2,50cm J (burulma sabiti) = 1,1345cm ⁴ C_w (burulma sabiti) = 131534cm ⁶ I_x (atalet momenti) = 8516,50cm ⁴ I_y (atalet momenti) = 634cm ⁴ S_x (mukavemet momenti) = 425,83cm ³ S_y (mukavemet momenti) = 63,40cm ³ r_o (kayma merkezine göre atalet yarıçapı) = 6,1242cm	r_x (atalet yarıçapı) = 15,07cm r_y (atalet yarıçapı) = 4,094cm r_i (C kesitlerde y doğrultusu atalet yarıçapı) = 1,3318cm R (büküm yarıçapı) = 0,30cm α (ara bağlantı eleman aralığı) = 60cm A_g (kesit alanı) = 37,816cm ² K_x (x yönü burkulma boyu katsayısı) = 1 K_y (y yönü burkulma boyu katsayısı) = 1 K_t (burulma boyu katsayısı) = 1
--	--

5.2 Karakteristik Eksenel Kuvvet Dayanımının Hesaplanması

5.2.1 Karakteristik Burkulma Gerilmesi

5.2.1.1 Eğilmeli Burkulma Sınır Durumu

Elastik burkulma gerilmesi hesaplanırken AISI 2007 standartında ki denklem (5.56) kullanılmıştır. Bu denklem (5.1), (5.2) ve (5.3) ifadeleri kullanılarak hesap edilecektir.

$$K_x L_x / r_x = 53,51 \left(K_x L_x / r_x \right) < 200 \text{ Kesit yeterli} \quad (5.1)$$

$$K_y L_y / r_y = 48,85 \left(K_y L_y / r_y \right) < 200 \text{ Kesit yeterli} \quad (5.2)$$

$$(KL/r) = K_y L_y / r_y = 53,51 \quad (5.3)$$

Narinlik oranı y doğrultusu için daha elverişsiz olduğundan, modifiye narinlik oranı kullanmamız gerekir,

$$\left((KL/r)_0 + (\alpha/r_i)^2 \right)^2 = 56,18 \quad (5.4)$$

$$F_e = \pi^2 E / (KL/r)_m^2 = 63,59 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.5)$$

5.2.1.2 Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

Burulmalı burkulma gerilmesi hesaplanırken AISI 2007 standartında ki denklem (5.22) kullanılır.

$$F_e = \sigma_t = \left(GJ + \pi^2 E C_w / (K_t L_t)^2 \right) / A r_0^2 = 73,10 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.6)$$

Karakteristik burkulma gerilmesi F_n , elastik burkulma gerilmesi ve burulmalı burkulma gerilmesinden küçük olan seçilerek hesaplanır,

$$\lambda_c (\text{narinlik parametresi}) = \left(F_y / F_e \right)^{0.5} \quad (5.7)$$

$$(\lambda_c \leq 1.5) \longrightarrow F_n = 0.658^{\lambda_c^2} F_y \quad (5.8)$$

$$(\lambda_c > 1.5) \longrightarrow F_n = \left(0.877 / \lambda_c^2 \right) F_y \quad (5.9)$$

$$\lambda_c = 0,75, F_n = 28,10 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.10)$$

5.3 Etkin Kesit Alanı

5.3.1 Rijitleştirici Tırnak Etkin Genişliği

Rijitleştirici kenar (tırnak), başlık ve gövde için etkin genişlik şu şekilde hesaplanır,

$$w_1 = c - (R + t) = 1,90\text{cm} \quad (5.11)$$

$$w_2 = b - 2(R + t) = 8,80\text{ cm} \quad (5.12)$$

$$w_3 = h - 2(R + t) = 38,80\text{ cm} \quad (5.13)$$

Sınır koşulları ,

$w_2 < 60 \longrightarrow$ ise kesit yeterli

$w_3 < 60 \longrightarrow$ ise kesit yeterli

$$w_1/t = 6,33$$

$$w_2/t = 29,33$$

$$w_3/t = 129,33$$

Kesit yeterlidir

Kesit yeterlidir

5.3.2 Basınç Başlığı Etkin Genişliği

$$S(\text{kesit modülü}) = 1.28 \left(E/f \right)^{0.5} = 34,44 \quad (5.14)$$

$$0.328 S = 11,29 \quad (5.15)$$

$$I_a \text{cm}^4 = 399t^4 \left[\left(w_2/t \right) / S - 0.328 \right]^3 \quad (5.16)$$

$w_2/t > 0.328 S \longrightarrow$ rijitleştirici kenar (tırnak) atalet momenti (5.15) ifadesi ile hesaplanacaktır.

$$I_a = 0,4646\text{cm}^4$$

(5.16) ifadesinde ki değerin (5.17) ifadesinde ki değerden fazla olmaması gerekir,

$$I_a \text{cm}^4 = t^4 \left[115 \left(\left(w_2/t \right) / S \right) + 5 \right] \quad (5.17)$$

$I_a = 0,4646\text{cm}^4$ (5.16) ifadesinde ki sonuç ile (5.17) ifadesinde ki sonuç aynıdır.

Rijitleştirici kenar için,

$$D(\text{cm})=c=2,50\text{cm}$$

$$d(\text{cm})=w_1=1,90\text{cm}$$

$$d/t=6,33$$

I_s (atalet momentinin hesaplanması) (5.18) ifadesi kullanılarak yapılacaktır.

$$I_s = d^3 t / 12 = 0,17148 \text{ cm}^4 \quad (5.18)$$

$$R_I = I_s / I_a = 0,369 < 1 \text{ olduğundan kesit yeterli} \quad (5.19)$$

Basınç başlığı etkin genişliği (b) (5.20) ifadesi ile hesaplanır.

$$n = \left[0.582 - (w_2/t) / 4S \right] \quad (5.20)$$

(5.20) ifadesi kullanılarak $n = 0,369$ cm bulunur. Plaka burkulma katsayısının hesaplanması (5.21) ifadesi ile (5.22) ifadelerinden uygun olanı ile hesaplanacaktır.

Çizelge 5.2 : Plak burkulma katsayısının hesaplanması (AISI 07-Denklem 5.2)

Rijitleştirici Tırnak Açısı ($140^\circ \geq \theta \geq 40^\circ$)	
$D/w \leq 0.25$	$0.25 < D/w \leq 0.8$
$3.57(R_I)^n + 0.43 \leq 4 \quad (5.21)$	$(4.82 - 5 D/w)(R_I)^n + 0.43 \leq 4 \quad (5.22)$

Narinlik parametrisinin hesaplanması (5.23) ifadesi ile hesaplanacaktır.

Çizelge 5.3 : Narinlik parametresi

$\lambda = \sqrt{\frac{f_{max}}{f_{cr}}} = \sqrt{\frac{f_{max}[12(1 - \mu^2)(W/t)^2]}{k\pi^2 E}}$	(5.23)
---	--------

Burkulma katsayısı hesaplanırken (5.21) ifadesi, narinlik parametresi hesaplanırken (5.23) ifadesi kullanılır.

Burkulma Katsayısı (k)

$$k=2,78$$

Narinlik Parametresi (λ)

$$\lambda=0,688$$

Azaltma katsayısı (ρ) (5.24) ifadesi ile (5.25) ifadelerinden uygun olanı ile hesaplanacaktır,

Çizelge 5.4 : Azaltma katsayısı

$\lambda < 0.673 \longrightarrow \rho = 1$	(5.24)
$\lambda > 0.673 \longrightarrow \rho = 1 - \left[\frac{(0.22/\lambda)}{\lambda} \right]$	(5.25)

(5.25) ifadesi kullanılarak, P (azaltma katsayısı) = 0,99 hesaplanır.

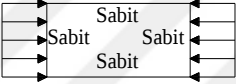
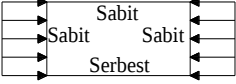
Basınç başlığının etkin genişliği (b) (5.26) ifadesi ile hesaplanacaktır.

$$b = \rho w_2 \quad (5.26)$$

(5.26) ifadesi ile hesaplanan basınç başlığının etkin genişliği, b= 8,70 cm'dir.

5.3.3 Rijitleştirici Kenar Etkin Genişliği

Çizelge 5.5 : k Burkulma değeri

Durum	Sınır Koşulları	Gerilme Türü	Uzun Levhalar için k Burkulma Değeri
Durum a		BASINÇ	4.00
Durum a		BASINÇ	0.425

Çizelge 5.5 kullanılarak , k (Burkulma katsayısı) = 0,43 değeri bulunur.

$$w_1/t = 6,33$$

(5.23) ifadesi kullanılarak, λ (narinlik parametresi) = 0,378 bulunur.

$$d_s' = w_1 = 1,90 \text{ cm}$$

Rijitleştirici kenar azaltılmış etkin genişliği (5.27) ifadesi kullanılarak hesaplanır ,

$$d_s(\text{cm}) = d_s' R_1 \quad (5.27)$$

$$d_s(\text{cm}) = d_s' R_1 = 0,70 < 1,90 \text{ olduğundan kesit yeterlidir}$$

5.3.4 Gövde Elemanının Etkin Genişliği :

Çizelge 5.5 kullanılarak , k(burkulma katsayısı) = 4 değeri bulunur.

$$w_3/t = 129,33$$

(5.23) ifadesi kullanılarak λ (narinlik parametresi) = 2,529 bulunur.

(5.25) ifadesi kullanarak, P (azaltma katsayısı) = 0,36 hesaplanır.

$$b = \rho w_3 \quad (5.28)$$

(5.28) ifadesi ile hesaplanan basınç başlığının etkin genişliği, $b = 14,01 \text{ cm}$ 'dir.

Etkin alan (5.29) ifadesi ile hesaplanır.

$$A_e = A - [4(w_1 - d_s) + 4(w_2 - b_i) + 2(w_3 - b_{(iii)})]t \quad (5.29)$$

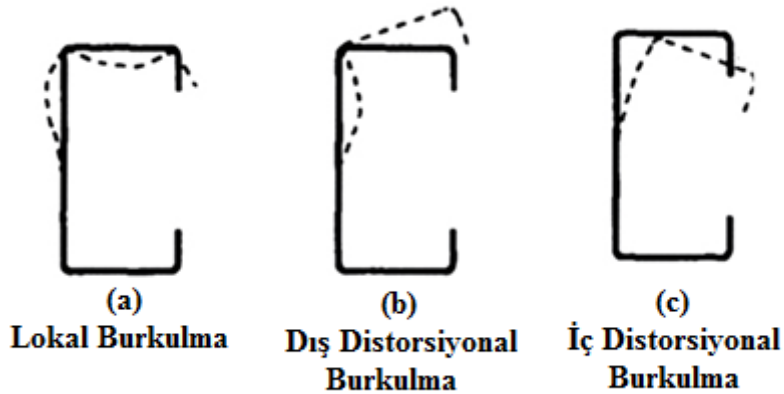
$$A_e = 21,39 \text{ cm}^2$$

Eğilmeli Burkulma Sınır Durumuna göre Eksenel Kuvvet Dayanımı (P_n) (5.30) ifadesi ile hesaplanır.

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

$$P_n = 601,01 \text{ kN}$$

5.4 Distorsiyonal Burkulma Dayanımına Göre Eksenel Kuvvet Dayanımı



Şekil 5.2 : Distorsiyonal burkulma şekilleri (AISI 2007)

5.4.1 AISI Standartı C4.2(a)'nin Uygulanması :

a) Akma Dayanımı (5.31) ifadesi kullanılarak (P_y) hesaplanır ,

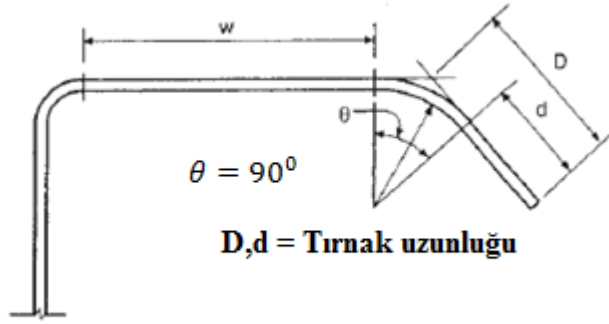
$$P_y = A_g F_y \quad (5.31)$$

$$P_y = 1342,33 \text{ kN}$$

b) Distorsiyonal burkulma dayanımı (5.32) ifadesi kullanılarak (P_{crd}) hesaplanır,

$$P_{crd} = A_g F_d \quad (5.32)$$

F_d : Elastik distorsiyonal burkulma gerilmesi, bu değerin hesaplanması için aşağıdaki koşulların yeterli olması gerekmektedir.



Şekil 5.3 : C profil köşe resmi (AISI 2007)

- a) $50 < \left(h_0/t \right) < 200 ; h_0/t = 133,33$
- b) $25 < \left(b_0/t \right) < 100 ; b_0/t = 33,33$
- c) $6.25 < \left(D/t \right) < 50 ; D/t = 8,33$
- d) $45^\circ < \theta ; \theta = 90,00$
- e) $2 < \left(h_0/b_0 \right) < 8 ; h_0/b_0 = 4,00$
- f) $0.04 < \left(D \sin \theta / b_0 \right) < 0.5 ; D \sin \theta / b_0 = 0,25$

Elastik distorsiyonal burkulma gerilmesi (5.33) ifadesinde ki gibi hesaplanır.

$$F_d = \frac{\alpha k_d \mu^2 E \left(t/b_0 \right)^2}{12(1 - \mu^2)} \quad (5.33)$$

Distorsiyonal burkulma boyu (5.34) ifadesinde ki gibi hesaplanır.

$$L_{cr} = 1.2 h_0 \left(b_0 D \sin \theta / h_0 t \right)^{0.6} < 10 h_0 \quad (5.34)$$

Bu ifadeler de,

L_m : distorsiyonal burkulmayı engelleyen berkitmeler arası uzaklık.

α : L_m nin L_{cr} 'den küçük olduğu durumlarda, F_d hesabında kullanılan katsayı

k_d : Distorsiyonal burkulma durumu için plak burkulma katsayısı

$$L_{cr} = 74,56 \text{ cm}$$

$\alpha = 1$ olarak alınacaktır.

$$\alpha = L_m \geq L_{cr} \text{ için } \alpha = 1 \quad (5.35)$$

$$\alpha = \left(\frac{L_m}{L_{cr}} \right)^{\ln(L_m/L_{cr})} \text{ için } L_m < L_{cr} \quad (5.36)$$

(5.35) ifadesi kullanılarak, $L_m = L_y = 200\text{cm}$ hesaplanır.

Distorsiyonal burkulma durumu için plak burkulma katsayısı (5.37) ifadesi kullanılarak hesaplanır, (5.38) ifadesinde ki aralıkta olması gerekir.

$$k_d = 0.1 \left(b_0 D \sin \theta / h_0 t \right)^{1.4} < 10 h_0 \quad (5.37)$$

$$0.05 \leq k_d \leq 8.0 ; k_d = 0.279 \quad (5.38)$$

(5.33) ifadesinde ki katsayılar belirlendikten sonra, $F_d = 4,62 \text{ kN/cm}^2$ olarak bulunur.

(5.32) ifadesinde ki distorsiyonal burkulma dayanımı hesaplanır,

$$P_{crd} = A_g F_d = 174,81 \text{ kN}$$

Distorsiyonal burkulma narinlik faktörü (5.39) ifadesindeki gibi hesaplanır.

$$\lambda_d = \left(P_y / P_{crd} \right) = 2,771 \quad (5.39)$$

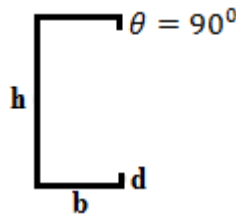
$$\lambda_d \leq 0.561 \text{ için } P_n = P_y \quad (5.40)$$

$$\lambda_d > 0.561 \text{ için } P_n = \left(1 - 0.25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0.6} \right) \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0.6} P_y \quad (5.41)$$

(5.39) ifadesinde distorsiyonal burkulma narinlik faktörü 0.561 den büyük olduğu için distorsiyonal burkulma dayanımı (5.41) ifadesinde olduğu gibi hesaplanır.

$$P_n = 366,01 \text{ kN}$$

5.4.2 AISI Standardı C4.2(b)'nin Uygulanması



Şekil 5.4 : C profil parametreleri (AISI 2007)

(5.46), (5.47) ifadelerinde $X_0 = X_{of}$, $Y_0 = Y_{of}$ olarak alınacaktır.

$$h = h_0 - t = 39,70cm$$

$$b = b_0 - t = 9,70cm$$

$$d = D - t/2 = 2,35cm$$

$$A_f = (b + d)t \quad (5.42)$$

(5.42) ifadesinde li başlık alanı, $A_f = 3,615cm^2$

$$I_{xf} = t[t^2b^2 + 4bd^3 + t^2bd + d^4]/12(b + d) \quad (5.43)$$

$$I_{yf} = t[b^4 + 4db^3]/12(b + d) \quad (5.44)$$

$$I_{xyf} = tb^2d^2/4(b + d) \quad (5.45)$$

$$X_{of} = b^2/2(b + d) \quad (5.46)$$

$$Y_{of} = -d^2/2(b + d) \quad (5.47)$$

$$h_x = -[b^2 + 2db]/2(b + d) \quad (5.48)$$

$$J_f = [bt^3 + dt^3]/3 \quad (5.49)$$

Bu ifadelerde ,

I_{xf} : X doğrultusu başlık atalet momenti,

I_{yf} : Y doğrultusu başlık atalet momenti,

I_{xyf} : Kuvvetli ve zayıf eksen kütle merkezleri ile ilgili başlık atalet momenti,

X_{of} :X doğrultusu başlığın kütle merkezinden başlığın kayma merkezine olan uzaklığı,

Y_{of} :Y doğrultusu başlığın kütle merkezinden başlığın kayma merkezine olan uzaklığı,

h_x :X doğrultusu başlığın kütle merkezinden başlık-gövde bağlantısına olan uzaklığı,

J_f :Basınç başlığı St.Venant burulma sabiti.

$$I_{xf} = 1,1297cm^4$$

$$I_{yf} = 36,166cm^4$$

$$I_{xyf} = 3,2341cm^4$$

$$X_{of} = 3,904cm$$

$$Y_{of} = -0,2291cm$$

$$h_x = -5,796cm$$

$$J_f = 0,1084cm^6$$

$$C_{wf} = 0,00cm^6$$

Distorsiyonal burkulma boyu **(5.50)** ifadesindeki gibi hesaplanır.

$$L_{cr} = \left[\left(\frac{6\pi^4 h_0 (1 - \mu^2)}{t^3} \right) x (I_{xf} (X_0 - h_x)^2 + C_{wf} - \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} (X_0 - h_x)^2) \right]^{1/4} \quad (5.50)$$

$$L_{cr} = 88,85cm$$

$$L_m = L_y > L_{cr}; L = L_{cr} = 88,85cm$$

Elastik distorsiyonal burkulma gerilmesi **(5.51)** ifadesindeki gibi hesaplanır.

$$F_d = \frac{(k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi})}{(\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg})} \quad (5.51)$$

Bu ifadelerde değerler sırasıyla,

$k_{\phi fe}$: Elastik dönme rijitliği,

$$k_{\phi fe} = \left(\frac{\pi}{L} \right)^4 \left(E I_{xf} (X_0 - h_x)^2 + E C_{wf} - E \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} (X_0 - h_x)^2 \right) + \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 G J_f$$

$$k_{\phi fe} = 3,570 \text{ kNcm/cm}$$

$k_{\phi we}$: Elastik dönme rijitliği,

$$k_{\phi we} = \frac{E t^3}{6 h_0 (1 - \mu^2)} = 2,514 \text{ kNcm/cm}$$

$\tilde{k}_{\phi fg}$: Başlık-gövde birleşim yerine başlık geometrik dönme rijitliği,

$$\tilde{k}_{\phi fg} = \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \left[A_f \left((X_0 - h_x)^2 \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}} \right)^2 - 2 y_0 (x_0 - h_x) \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}} \right)^2 + h_x^2 + y_0^2 \right) + I_{xf} + I_{yf} \right] = 0,2039 \text{ kNcm/cm}$$

$\tilde{k}_{\phi wg}$: Başlık-gövde birleşim yerine başlık geometrik dönme rijitliği,

$$\tilde{k}_{\phi wg} = \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \frac{t h_0^3}{60} = 0,400 \text{ kN/cm}^2$$

(5.51) ifadesi hesaplandığında, $F_d = 10,07 \text{ kN/cm}^2$

(5.32) ifadesinde ki distorsiyonal burkulma dayanımı $P_{crd} = 380,99kN$ olarak hesaplanmıştır.

(5.39) ifadesinde ki distorsiyonal narinlik burkulma faktörü, $\lambda_d = 1,877$

$$P_n = P_{crd} \lambda_d \quad (5.52)$$

Distorsiyonal burkulma dayanıma göre eksenel kuvvet dayanımı (5.52) ifadesinde ki gibi hesaplanır.

$$P_n = 556,47 kN$$

Eğilmeli burkulma ve burulmalı burkulma sınır durumuna göre bulunan (P_n) değeri ile, distorsiyonal burkulma dayanımına göre bulunan (P_n) değerlerinden küçük olanı seçilir. Buna göre,

$P_n = 556,47 kN$ eksenel burkulma dayanımı değer olarak alınır.

5.5 Tasarım Denkleminin Seçilmesi

ASD methoduna göre hesap ;

Analiz Sonucu Bulunan $P = 25,25kN$

$\Omega_c P / P_n > 0.15$ ise (5.53), (5.54) ifadelerinde ki gibi hesaplanacaktır.

$$\Omega_c = 1,80, \Omega_b = 1,67$$

$$\frac{\Omega_c P}{P_n} + \frac{\Omega_b C_{mx} M_x}{M_{nx} \alpha_x} + \frac{\Omega_b C_{my} M_y}{M_{ny} \alpha_y} \leq 1.0 \quad (5.53)$$

$$\frac{\Omega_c P}{P_{n0}} + \frac{\Omega_b M_x}{M_{nx}} + \frac{\Omega_b M_y}{M_{ny}} \leq 1.0 \quad (5.54)$$

$\Omega_c P / P_n \leq 0.15$ ise (5.55) ifadesinde ki gibi hesaplanacaktır.

$$\frac{\Omega_c P}{P_n} + \frac{\Omega_b M_x}{M_{nx}} + \frac{\Omega_b M_y}{M_{ny}} \leq 1.0 \quad (5.55)$$

$$\Omega_c P / P_n = 0,082$$

LRFD methoduna göre hesap

Analiz Sonucu Bulunan $P = 36,68kN$

$\Omega_c P / P_n > 0.15$ ise (5.56), (5.57) ifadelerinde ki gibi hesaplanacaktır.

$$\frac{\bar{P}}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} \bar{M}_x}{\phi_b M_{nx} \alpha_x} + \frac{C_{my} \bar{M}_y}{\phi_b M_{ny} \alpha_y} \leq 1.0 \quad (5.56)$$

$$\frac{\bar{P}}{\phi_c P_{no}} + \frac{\bar{M}_x}{\phi_b M_{nx}} + \frac{\bar{M}_y}{\phi_b M_{ny}} \leq 1.0 \quad (5.57)$$

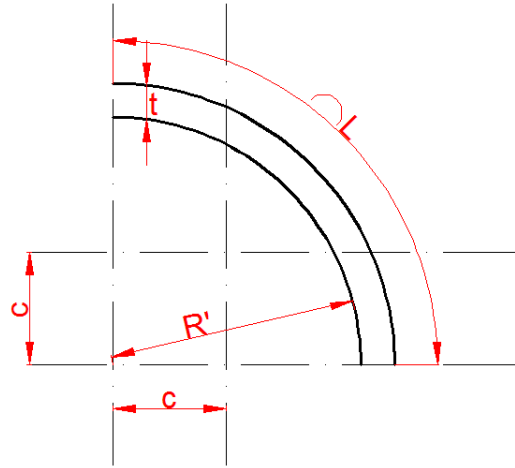
$\Omega_c P / P_n \leq 0.15$ ise (5.58) ifadesinde ki gibi hesaplanacaktır.

$$\frac{\Omega_c P}{P_{no}} + \frac{\Omega_b M_x}{M_{nx}} + \frac{\Omega_b M_y}{M_{ny}} \leq 1.0 \quad (5.58)$$

$$\Omega_c P / P_n = 0,078$$

5.6 Moment Değerinin Hesaplanması

5.6.1 Akmanın Başlamasına Dayanarak Dayanımın Bulunması :



Şekil 5.5 : Hafif çelik köşe büküm detayı (AISI 2007)

$$R' = R + (t/2)$$

$$R' = 0,45 \text{ cm}$$

$$L = 1.57 R' = 0,7065$$

$$c = 0.637 R' = 0,2866 \text{ cm}$$

Bu ifadelerde,

L : Yay uzunluğu.

c : Yay kütle merkezinin yay merkezine olan dik uzaklığı.

R' : Profil eksen yarıçapı.

t : Levha kalınlığı.

Basınç başlığı etkin genişliğinin hesaplanması ,

$$w_1 = c - (R + t) = 1,90\text{cm}$$

$$w_2 = b - 2(R + t) = 8,80\text{ cm}$$

$$w_3 = h - 2(R + t) = 38,80\text{cm}$$

$$w_1/t = 6,33$$

$$w_2/t = 29,33$$

$$w_3/t = 129,33$$

Kesit yeterlidir

Kesit yeterlidir

$$S(\text{kesit modülü}) = 1.28 \left(E/f \right)^{0.5} = 30,64$$

$$0.328 S = 10,05$$

$w_2/t > 0.328 S \longrightarrow$ rijitleştirici kenar (turnak) atalet momenti **(5.16)** ifadesi ile hesaplanacaktır.

$$I_a = 0,8058\text{cm}^4$$

(5.16) ifadesinde ki değerin **(5.17)** ifadesinde ki değerdan fazla olmaması gerekir,

$$I_a = 0,8058\text{cm}^4$$

Rijitleştirici kenar için,

$$D(\text{cm})=c=2,50\text{cm}$$

$$d(\text{cm})=w_1=1,90\text{cm}$$

$$d/t=6,33$$

I_s (atalet momentinin hesaplanması) **(5.18)** ifadesi kullanılarak yapılacaktır.

$$I_s = d^3 t / 12 = 0,17148\text{cm}^4$$

$$R_I = I_s / I_a = 0,213 < 1 \text{ olduğundan kesit yeterlidir}$$

Basınç başlığı etkin genişliği hesaplanır,

$$n = \left[0.582 - (w_2/t) / 4S \right]$$

$$n = 0,343$$

Çizelge 5.2 ve çizelge 5.3 kullanılarak,

Burkulma Katsayısı (k)

$$k=2,43$$

Narinlik Parametresi (λ)

$$\lambda=0,827$$

Azaltma katsayısı (ρ) (5.24) ifadesi ile (5.25) ifadelerinden uygun olanı ile hesaplanacaktır,

$$\rho \text{ (azaltma katsayısı)} = 0,89$$

Basınç başlığının etkin genişliği (b) (5.26) ifadesi ile hesaplanacaktır.

$$b= 7,81\text{cm}$$

Rijitleştirici Kenar Etkin Genişliği,

Çizelge 5.5 kullanılarak , k (Burkulma katsayısı) = 0,43 değeri bulunur.

$$w_1/t = 6,33$$

(5.23) ifadesi kullanılarak, λ (narinlik parametresi) = 0,424 bulunur.

Rijitleştirici kenar azaltılmış etkin genişliği (5.27) ifadesi kullanılarak hesaplanır ,

$$d_s' = w_1 = 1,90\text{cm}$$

Rijitleştirici kenar azaltılmış etkin genişliği hesaplanır ,

$$d_s(\text{cm}) = d_s' R_1 = 0,40 < 1,90\text{cm} \text{ olduğundan kesit yeterlidir.}$$

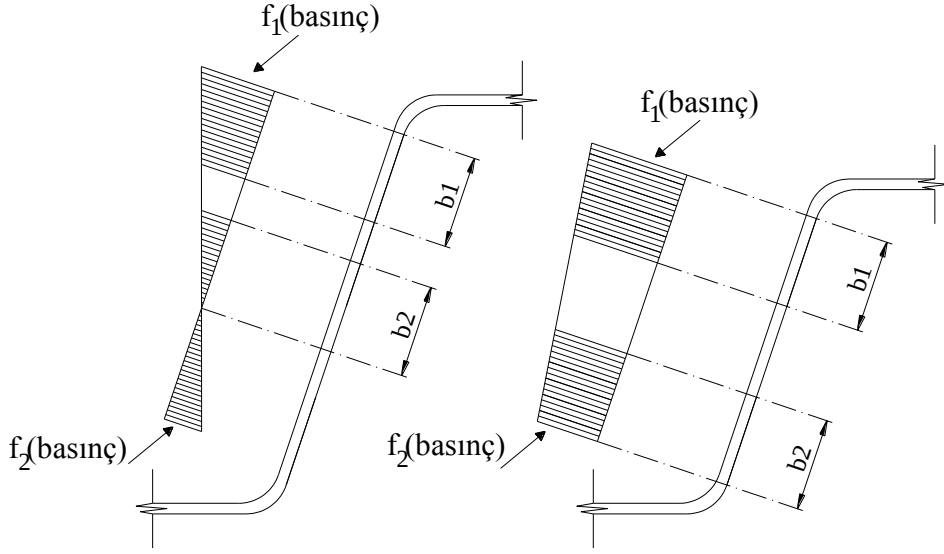
Gövdenin tamamen etkin olduğu kabulü ile, basınç başlığı ve rijitleştirici kenar etkin genişliklerini kullanarak tarafsız eksen yerini hesaplayabiliriz.

Çizelge 5.6 : Etkin kesit özellikleri, iterasyon-1

Eleman	Etkin Uzun.(cm)	Üst başlığa uzak.(y-cm)	$Ly(\text{cm}^2)$	$Ly^2(\text{cm}^3)$
1)Basınç başlığı	15,6212	0,1500	2,343	0,35
2)Köşe elemanı basınç tarafı	2,8258	0,3133	0,885	0,28
3)Rijitleştirici kenar basınç tarafı	0,8086	1,5500	1,253	1,94
4)Gövde	77,5999	20,0000	1551,996	31039,9
5)Rijitleştirici kenar çekme tarafı	3,8000	38,4499	146,111	5617,97
6)Köşe elemanı çekme tarafı	2,8258	39,6866	112,148	4450,76
7)Çekme başlığı	17,6001	39,8499	701,361	27949,2
Toplam	121,0816		2516,098	69060,3

$$y_{cg} = \frac{\sum Ly}{\sum L} = 20,780 \quad h_0/2 = 20,00$$

Basınç başlığı maksimum gerilme F_y , üst kısımda oluşur.



Şekil 5.6 : Hafif çelik etkin bölge ve etkin çalışan gerilme bölgeleri (AISI 2007)

$$t/2 + R' = 0,600cm$$

Basınç bölgesi : $y_{cg} - (t/2 + R') = 20,180cm$

Çekme bölgesi : $h_0 - y_{cg} - (t/2 + R') = 18,620cm$

$$f_1(basınç) = 34,47 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_2(çekme) = 31,81 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Psi = f_2/f_1 = 0,92$$

$$k = 4 + 2(1 + \Psi)^3 + 2(1 + \Psi) = 22,06$$

$$h/t = w_3/t = 129,33$$

(5.23) ifadesi kullanılarak, λ (narinlik parametresi) = 1,193 bulunur.

Azaltma katsayısı (ρ) (5.24) ifadesi ile (5.25) ifadelerinden uygun olanı ile hesaplanacaktır,

$$\rho \text{ (azaltma katsayısı)} = 0,684$$

Başlık etkin genişliği (5.59) ifadesi kullanılarak hesaplanacaktır.

$$b_e = \rho w_3 \quad (5.59)$$

$$b_e = 26,53cm$$

Çizelge 5.7 : Etkin kesit hesap değerleri

$h_0/b_0 \leq 4$ için	$h_0/b_0 > 4$ için
$b_1 = \frac{b_c}{3 + \psi}$	$b_1 = \frac{b_c}{3 + \psi}$
$b_2 = \frac{1}{2} b_e \quad \psi > 0.236$	$b_2 = \frac{b_c}{1 + \psi} - b_1$
$b_2 = b_e - b_1 \quad \psi > 0.236$	

Bu ifadelerde,

b_1 ve b_2 basınç bölgesi etkin genişliğidir.

$$h_0/b_0 = 4,00$$

$$b_1 = 6,76cm$$

$$b_2 = 7,04cm$$

$$b_1 + b_2 = 13,80cm$$

Gövde elemanı tamamen etkin değildir. Tarafsız eksen iterasyon yapılarak hesaplanacaktır.

Gövdenin etkin olmayan kısmı ile ilgili aşağıdaki yöntem izlenebilir,

Basınç bölgesi uzunluğu ($b_1 + b_2$) = 6,38 cm

Çizelge 5.8 : Etkin kesit özellikleri, iterasyon-2

Eleman	Etkin Uzun.(cm)	Üst başlığa uzak.(y-cm)	$L_y(cm^2)$	$L_y^2(cm^3)$
1)Basınç başlığı	15,6212	0,1500	2,3432	0,351
2)Köşe elemanı basınç tarafı	2,8258	0,3133	0,8854	0,277
3)Rijitleştirici kenar basınç tarafı	0,8086	1,5500	1,2534	1,943
4)Gövde	51,3111	26,5722	1363,448	36229,8
4') b_1 uzunluğu	13,5276	3,9819	53,8649	214,5
5)Rijitleştirici kenar çekme tarafı	3,8000	38,4499	146,1114	5618,0
6)Köşe elemanı çekme tarafı	2,8258	39,6866	112,1477	4450,8
7)Çekme başlığı	17,6001	39,8499	701,361	27949,2
Toplam	108,3203		2381,4	74464,7

$$y_{cg} = \frac{\sum L_y}{\sum L} = 21,985 \quad h_0/2 = 20,00$$

Basınç başlığı maksimum gerilme F_y , üst kısımda oluşur.

$$t/2 + R' = 0,600cm$$

$$\begin{aligned}
\text{Basınç bölgesi} \quad y_{cg} - (t/2 + R') &= 21,385 \text{ cm} \\
\text{Çekme bölgesi} \quad h_0 - y_{cg} - (t/2 + R') &= 17,415 \text{ cm} \\
f_1(\text{basınç}) &= 34,53 \text{ kN/cm}^2 \\
f_2(\text{çekme}) &= 28,12 \text{ kN/cm}^2 \\
\Psi &= f_2/f_1 = 0,81
\end{aligned}$$

$$k = 4 + 2(1 + \psi)^3 + 2(1 + \psi) = 19,57$$

$$h/t = w^3/t = 129,33$$

(5.23) ifadesi kullanılarak, λ (narinlik parametresi) = 1,267 bulunur.

Azaltma katsayısı (ρ) (5.24) ifadesi ile (5.25) ifadelerinden uygun olanı ile hesaplanacaktır,

$$\rho (\text{azaltma katsayısı}) = 0,650$$

Başlık etkin genişliği (5.59) ifadesi kullanılarak hesaplanacaktır.

$$b_e = 25,30 \text{ cm}$$

Çizelge (5.8) kullanılarak,

$$h_0/b_0 = 4,00$$

$$b_1 = 6,63 \text{ cm}$$

$$b_2 = 7,31 \text{ cm}$$

$$b_1 + b_2 = 13,95 \text{ cm}$$

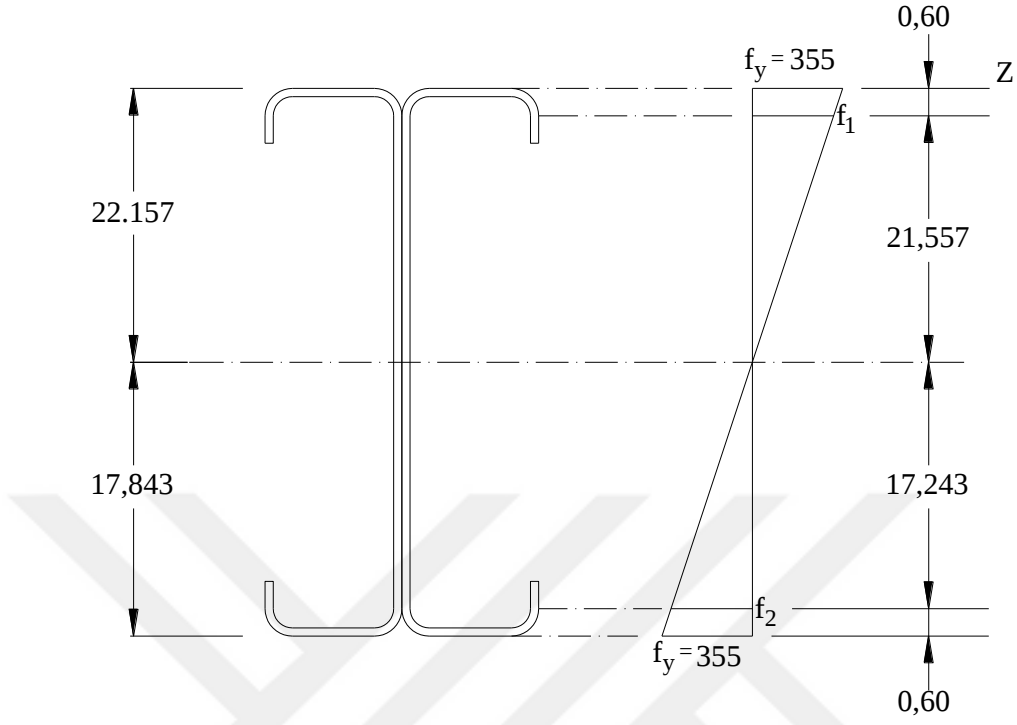
Tarafsız eksenini bulmak için bir iterasyon daha yapılacaktır.

Basınç bölgesi uzunluğu ($b_1 + b_2$) = 7,44 cm

Çizelge 5.9 : Etkin kesit özellikleri, iterasyon-3

Eleman	Etkin Uzun.(cm)	Üst başlığa uzak.(y-cm)	Ly(cm ²)	Ly ² (cm ³)
1)Basınç başlığı	15,6212	0,1500	2,3432	0,351
2)Köşe elemanı basınç tarafı	2,8258	0,3133	0,8854	0,277
3)Rijitleştirici kenar basınç tarafı	0,8086	1,5500	1,2534	1,943
4)Gövde	49,4554	27,0361	1337,081	36149,4
4')b ₁ uzunluğu	13,2678	3,9169	51,9690	203,6
5)Rijitleştirici kenar çekme tarafı	3,8000	38,4499	146,1114	5618,0
6)Köşe elemanı çekme tarafı	2,8258	39,6866	112,1477	4450,8
7)Çekme başlığı	17,6001	39,8499	701,361	27949,2
Toplam	106,2049		2353,2	74373,5

$$y_{cg} = \Sigma L_y / \Sigma L = 22,157 \quad h_0/2 = 20,00$$



Şekil 5.7 : Tarafsız eksen ve gerilme blokları

Basınç başlığı maksimum gerilme F_y , üst kısımda oluşur.

$$t/2 + R' = 0,600 \text{ cm}$$

Basınç bölgesi

$$y_{cg} - (t/2 + R') = 21,557 \text{ cm}$$

Çekme bölgesi

$$h_0 - y_{cg} - (t/2 + R') = 17,243 \text{ cm}$$

$$f_1(\text{basınç}) = 34,53 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_2(\text{çekme}) = 27,62 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Psi = f_2/f_1 = 0,80$$

$$k = 4 + 2(1 + \psi)^3 + 2(1 + \psi) = 19,26$$

$$h/t = w_3/t = 129,33$$

$$\lambda(\text{narinlik parametresi}) = 1,277$$

$$\rho(\text{azaltma katsayısı}) = 0,65$$

$$b_e = \rho w_3 = 25,14 \text{ cm}$$

Çizelge (5.9) kullanılarak,

$$h_0/b_0 = 4,00$$

$$b_1 = 6,62cm$$

$$b_2 = 7,35cm$$

$$b_1 + b_2 = 13,97cm$$

$b_1 + b_2$ değeri bir önceki iterasyona yakın olduğu için iterasyon işlemi tamamlanır.

Çizelge 5.10 : Eleman Atalet Momenti

Rijitleştirici kenar (basınç) $2I' =$	0,0110	
Rijitleştirici kenar (çekme) $2I' =$	1,1432	
Gövde $2I' =$	2519,994	
Basınç bölgesi etkin genişlik $2I' =$	48,6583	
$\sum (L_y^2)$	74373,50	
I_z'	76943,31	cm^3
$(-\sum L)(y_{cg}^2)$	-52138,15	cm^3
I_x'	24805,16	cm^3
$I_x I_x'(t)$	7441,53	cm^4
$S_{ex} = I_x/y_{cg}$	335,86	cm^3
$M_{nx} = S_{ex}F_y =$	11921,59	kNcm
M_{nx} : güçlü eksen moment dayanımı.		

$$K_y L_y = 200cm$$

Çizelge 5.11 : Yanal burkulma dayanımı (AISI 2007)

$F_e = \begin{cases} \frac{C_b \pi^2 E d I_{yc}}{S_f \left(K_y / L_y \right)^2} \\ \frac{C_b \pi^2 E d I_{yc}}{2 S_f \left(K_y / L_y \right)^2} \end{cases}$	I kesiti ve C kesiti için	$C_b = \frac{12.5 M_{max}}{2.5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C}$
--	--	--

Çizelge 5.11’de ki ifadeler,

F_e : Elastik burkulma gerilmesi,

d : Kesit derinliği,

I_{yc} : Basınç alanı atalet momenti, y eksenine atalet momentinin yarısı,

S_f : Güçlü eksen mukavemet momenti,

C_b : Momente bağlı eğilme katsayısı (Güvenli tarafta kalmak için 1 alınabilir.).

$$C_b = 1$$

C kesit için çizelge (5.11) kullanılarak, $F_e = 149,40 \text{ kN/cm}^2$

$$0.56 F_y = 19,88 \text{ kN/cm}^2$$

$$2.78 F_y = 98,68 \text{ kN/cm}^2$$

$2.78 F_y > F_e > 0,56 F_y$ için

$$F_c = \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10 F_y}{36 F_e} \right)$$

$F_e \leq 0.56 F_y$ için

$$F_c = F_y$$

$$F_c = F_y = 35,50 \text{ kN/cm}^2$$

Mukavemet momenti değeri $F_c = F_y$ değerine göre bulunduğu için, $S_c = S_{ex}$ alınabilir.

$$S_c = S_{ex} = 335,86 \text{ cm}^3$$

$$M_{nx} = S_{ex} = F_y = 11921,59 \text{ kNcm}$$

(5.46), (5.47) ifadelerinde $X_0 = X_{of}$, $Y_0 = Y_{of}$ olarak alınacaktır.

$$h = h_0 - t = 39,70 \text{ cm}$$

$$b = b_0 - t = 9,70 \text{ cm}$$

$$d = D - t/2 = 2,35 \text{ cm}$$

(5.42) ifadesinde ki başlık alanı, $A_f = 3,615 \text{ cm}^2$

$$A_f = 3,615 \text{ cm}^2$$

$I_{xf} = 1,129 \text{ cm}^4$, (5.43) ifadesinde ki gibi hesaplanmıştır.

$I_{yf} = 36,166 \text{ cm}^4$, (5.44) ifadesinde ki gibi hesaplanmıştır.

$I_{xyf} = 3,2341 \text{ cm}^4$, (5.45) ifadesinde ki gibi hesaplanmıştır.

$X_{of} = 3,904 \text{ cm}$, (5.46) ifadesinde ki gibi hesaplanmıştır.

$Y_{of} = -0,2291cm$, (5.47) ifadesinde ki gibi hesaplanmıştır. $h_x = -5,796cm$, (5.48)

ifadesinde ki gibi hesaplanmıştır.

$J_f = 0,1084cm^6$, (5.49) ifadesinde ki gibi hesaplanmıştır.

$C_{wf} = 0,00cm^6$

Distorsiyonal burkulma boyu (5.60) ifadesindeki gibi hesaplanır.

$$L_{cr} = \left(\frac{4\pi^4 h_0 (1 - \mu^2)}{t^3} \left(I_{xf} (x_0 - h_x)^2 + C_{wf} - \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} (x_0 - h_x)^2 \right) + \frac{\pi^4 h_0^4}{720} \right)^{1/4} \quad (5.60)$$

$$L_{cr} = 80,45cm$$

$$L_m = L_y > L_{cr}; L = L_{cr} = 80,45cm$$

Elastik distorsiyonal burkulma gerilmesi (5.61) ifadesindeki gibi hesaplanır.

$$F_d = \frac{\beta(k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi})}{(k_{\phi fg} + k_{\phi wg})} \quad (5.61)$$

$$F_d = 29,81 \text{ kN/cm}^2$$

$k_{\phi fe}$: Elastik dönme rijitliği,

$$k_{\phi fe} = \left(\frac{\pi}{L} \right)^4 \left(EI_{xf} (X_0 - h_x)^2 + EC_{wf} - E \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} (X_0 - h_x)^2 \right) + \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 GJ_f$$

$$k_{\phi fe} = 5,028 \text{ kNcm/cm}$$

$k_{\phi we}$: Elastik dönme rijitliği,

$$k_{\phi we} = \frac{Et^3}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{3}{h_0} + \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \frac{19h_0}{60} + \left(\frac{\pi}{L} \right)^4 \frac{h_0^3}{240} \right)$$

$$k_{\phi we} = 4,774 \text{ kNcm/cm}$$

k_{ϕ} : Dönme rijitliği (Başlık-gövde birleşim yerine; çapraz, kaplama gibi elemanlar tarafından sağlanan),

$$k_{\phi} = 0,00$$

$\bar{k}_{\phi fg}$: Geometrik dönme rijitliği,

$$\bar{k}_{\phi fg} = \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 + \left[A^f \left((x_0 - h_x)^2 \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}} \right)^2 - 2y_0 (x_0 - h_x) \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}} \right) + h_x^2 + y_0^2 \right) + I_{xf} + I_{yf} \right]$$

$$\bar{k}_{\phi fg} = 0,2487 \text{ kNcm/cm}$$

$\bar{k}_{\varphi wg}$: Geometrik dönme rijitliği,

$$\bar{k}_{\varphi wg} = \frac{h_0 t \pi^2}{13,440} \left(\frac{[45360(1 - \xi_{web}) + 62160] \left(\frac{L}{h_0} \right)^2 + 448\pi^2 + \left(\frac{h_0}{L} \right)^2 [53 + 3(1 - \xi_{web})\pi^4]}{\pi^4 + 28\pi^2 \left(\frac{L}{h_0} \right)^2 + 420 \left(\frac{L}{h_0} \right)^4} \right)$$

$$\bar{k}_{\varphi wg} = 0,08017 \text{ kNcm/cm}$$

β değeri güvenli tarafta kalınıp 1 alınabilir; $\beta = 1,00$

$$S_f = S_x = 425,83 \text{ cm}^3$$

$$M_{crd} = S_f F_d = 12693,26 \text{ kNcm}$$

$$M_y = S_{fy} F_y = 15115,34 \text{ kNcm}$$

Distorsiyonal burkulma narinlik faktörü (5.39) ifadesindeki gibi hesaplanır.

$$\lambda_d = \left(\frac{M_y}{M_{crd}} \right)^{0.5} = 1,091 \quad (5.62)$$

$$\lambda_d \leq 0.673 \text{ için} \quad (5.63)$$

$$M_n = M_y$$

$$\lambda_d > 0.673 \text{ için} \quad M_n = \left(1 - 0.22 \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0.5} \right) \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0.5} M_y \quad (5.64)$$

(5.39) ifadesinde distorsiyonal burkulma narinlik faktörü 0.673 den büyük olduğu için distorsiyonal burkulma dayanımı (5.64) ifadesinde olduğu gibi hesaplanır.

$$M_n = 11058,94 \text{ kNcm}$$

Yanal burulmalı burkulma ile distorsiyonal burulmalı burkulma durumlarından elde edilen karakteristik moment dayanımlarından küçük olan seçilir,

$$M_{nx} = 11058,94 \text{ kNcm}$$

Hesap sonucu bulunan moment değerleri;

ASD metodu ile analiz sonucu bulunan **$M_x = 4535,16 \text{ kNcm}$** .

LRFD metodu ile analiz sonucu bulunan **$M_x = 6590,58 \text{ kNcm}$** .

Bu değerler AISI-ASD ve AISI-LRFD yönetmelikleri ile tasarlanacak ve gerilme oranları bulunmasında kullanılacaktır.

Method olarak excel programının CFS programı ile kıyaslaması yapılırken, kolon elemanının gerilme değeri normal kuvvet (basınç) ve eğilme momenti değerine göre tasarım yapılacağına değinilmişti.

Çizelge 5.12 : α değerinin hesaplanması (AISI 2007)

ASD Method :	
$\alpha_x = 1 - \frac{\Omega_c P}{P_{Ex}}$	$P_{Ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$
$\alpha_x = 0,940$	$P_{Ex} = 2671 \text{ kN}$
LRFD Method :	
$\alpha_x = 1 - \frac{\bar{P}}{P_{Ex}} > 0$	
$\alpha_x = 0,986$	

Çizelge 5.13 : AISI-ASD ve AISI-LRFD kapasite oranlarının hesaplanması

$\frac{\Omega_c P}{P_n} + \frac{\Omega_b C_{mx} M_x}{M_{nx} \alpha_x} + \frac{\Omega_b C_{my} M_y}{M_{ny} \alpha_y} \leq 1.0$	(5.65)
$\frac{\Omega_c P}{P_n} + \frac{\Omega_b M_x}{M_{nx}} + \frac{\Omega_b M_y}{M_{ny}} \leq 1.0$	(5.66)
$\frac{\bar{P}}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} \bar{M}_x}{\phi_b M_{nx} \alpha_x} + \frac{C_{my} \bar{M}_y}{\phi_b M_{ny} \alpha_y} \leq 1.0$	(5.67)
$\frac{\bar{P}}{\phi_c P_{no}} + \frac{\bar{M}_x}{\phi_b M_{nx}} + \frac{\bar{M}_y}{\phi_b M_{ny}} \leq 1.0$	(5.68)

C_{mx} : Yanal ötelenmesi önlenmiş iki ucu mafsallı rijit olmayan eleman, $C_{mx} = 1,00$

5.6.2 Eksenel Kuvvet Değerinin Hesaplanması

P_{n0} : $F_n = F_y$ kabulüne göre bulunan karakteristik eksenel kuvvet dayanımı

$A_e(F_n = F_y)$ için bulunması gerekmektedir.

a. Basınç başlığının etkin genişliği

$b = 7,81 \text{ cm}$ (daha önce hesaplanmıştı)

b. Rijitleştirici kenar etkin genişliği

$d_s = 0,40 \text{ cm}$ (daha önce hesaplanmıştı)

c. Gövde elemanı etkin genişliği

Çizelge 5.5 kullanılarak , k (Burkulma katsayısı) = 4 değeri bulunur.

$$w_3/t = 129,33$$

(5.23) ifadesi kullanılarak, λ (narinlik parametresi) = 2,842 bulunur.

(5.23) ifadesi kullanılarak, ρ (azaltma katsayısı) = 0,32 bulunur.

$$b = \rho w_3 = 12,60 \text{ cm}$$

$$A_e = A - [4(w_1 - d_s) + 4(w_2 - b_i) + 2(w_3 - b_{(iii)})]t$$

$$A_e = 19,11 \text{ cm}^2$$

$$P_{n0} = A_e F_y = 678,39 \text{ kN}$$

5.7 Kapasite Oranlarının Kontrol Edilmesi

CFS programı ve excel sonuçlarının kıyaslanması yapıldığında CFS programının distorsiyonal burkulma hesabı yapmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca CFS programı b_1 ve b_2 etkin genişliğini eşit almaktadır.

Çizelge 5.14 : Distorsiyonal burkulma hesabı ihmal edilmemiş kapasiteler

ASD Metodu ile Kapasite Oran Kontrolü (5.65)		LRFD Metodu ile Kapasite Oran Kontrolü (5.66)	
Kapasite Oranı	0,752	Kapasite Oranı	0,726
ASD Metodu ile Kapasite Oran Kontrolü (5.67)		LRFD Metodu ile Kapasite Oran Kontrolü (5.67)	
Kapasite Oranı	0,767	Kapasite Oranı	0,740

Çizelge 5.15 : Distorsiyonal burkulma hesabı ihmal edilmiş kapasiteler

ASD Metodu ile Kapasite Oran Kontrolü (5.65)		LRFD Metodu ile Kapasite Oran Kontrolü (5.66)	
Kapasite Oranı	0,671	Kapasite Oranı	0,637
ASD Metodu ile Kapasite Oran Kontrolü (5.67)		LRFD Metodu ile Kapasite Oran Kontrolü (5.67)	
Kapasite Oranı	0,654	Kapasite Oranı	0,619

Member Check - 1999 AISI Specification (ASD)

Material Type: A283 Grade D, Fy=355 MPa

Design Parameters:

Lx	800,00 cm	Ly	200,00 cm	Lt	200,00 cm
Kx	1,0000	Ky	1,0000	Kt	1,0000
Cbx	1,0000	Cby	1,0000	ex	0,0000 cm
Cmx	1,0000	Cmy	1,0000	ey	0,0000 cm
Braced Flange:	None	k ϕ	0 kN		
Red. Factor, R:	0	Lm	200,00 cm		

Loads:	P	Mx	Vy	My	Vx
	(kN)	(kN-m)	(kN)	(kN-m)	(kN)
Entered	25,25	45,357	0,00	0,000	0,00
Applied	25,25	45,357	0,00	0,000	0,00
Strength	332,55	78,504	81,81	10,234	149,95

Effective section properties at applied loads:

Ae	37,816 cm ²	Ixe	8516,5 cm ⁴	Iye	634,0 cm ⁴
		Sxe (t)	425,83 cm ³	Sye (l)	63,40 cm ³
		Sxe (b)	425,83 cm ³	Sye (r)	63,40 cm ³

Interaction Equations

AISI Eq. C5.2.1-1 (P, Mx, My)	0,076 + 0,588 + 0,000 = 0,664 <= 1.0
AISI Eq. C5.2.1-2 (P, Mx, My)	0,069 + 0,578 + 0,000 = 0,647 <= 1.0
AISI Eq. C3.3.1-1 (Mx, Vy)	0,334 + 0,000 = 0,334 <= 1.0
AISI Eq. C3.3.1-1 (My, Vx)	0,000 + 0,000 = 0,000 <= 1.0

Şekil 5.8 : CFS programında kolon elemanı tasarım sonuçları (AISI 99 - ASD)

Member Check - 1999 AISI Specification (LRFD)

Material Type: A283 Grade D, Fy=355 MPa

Design Parameters:

Lx	800,00 cm	Ly	200,00 cm	Lt	200,00 cm
Kx	1,0000	Ky	1,0000	Kt	1,0000
Cbx	1,0000	Cby	1,0000	ex	0,0000 cm
Cmx	1,0000	Cmy	1,0000	ey	0,0000 cm
Braced Flange:	None	k ϕ	0 kN		
Red. Factor, R:	0	Lm	200,00 cm		

Loads:	P	Mx	Vy	My	Vx
	(kN)	(kN-m)	(kN)	(kN-m)	(kN)
Entered	36,69	65,91	0,00	0,00	0,00
Applied	36,69	65,91	0,00	0,00	0,00
Strength	508,81	117,99	122,96	15,38	224,93

Effective section properties at applied loads:

Ae	37,816 cm ²	Ixe	8516,5 cm ⁴	Iye	634,0 cm ⁴
		Sxe (t)	425,83 cm ³	Sye (l)	63,40 cm ³
		Sxe (b)	425,83 cm ³	Sye (r)	63,40 cm ³

Interaction Equations

AISI Eq. C5.2.2-1 (P, Mx, My)	0,072 + 0,566 + 0,000 = 0,638 <= 1.0
AISI Eq. C5.2.2-2 (P, Mx, My)	0,066 + 0,559 + 0,000 = 0,624 <= 1.0
AISI Eq. C3.3.2-1 (Mx, Vy)	0,280 + 0,000 = 0,280 <= 1.0
AISI Eq. C3.3.2-1 (My, Vx)	0,000 + 0,000 = 0,000 <= 1.0

Şekil 5.9 : CFS programında kolon elemanı tasarım sonuçları (AISI 99 - LRFD)

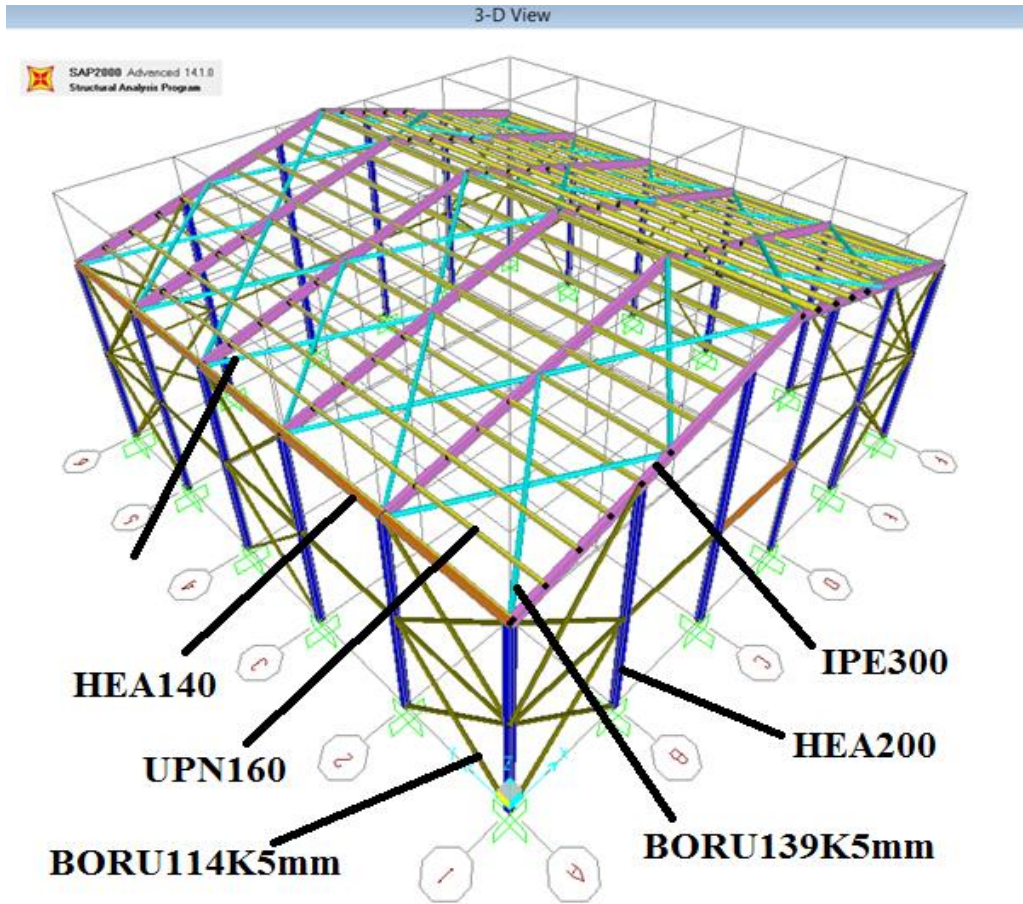
6. AĞIR ÇELİK SİSTEM TASARIMI

Ağır çelik tasarımı yapılmasındaki hedef, aynı geometri ve fonksiyonelliğe sahip yapının soğukta şekil verilmiş hafif çelik profillerden oluşan sistem ile hafiflik, imalat kolaylığı ve rahat montajının kıyaslamasından bahsetmek olacaktır. Her açıklık ve fonksiyonelliği soğukta şekil verilmiş hafif çelik yapı profilleriyle sağlamak elbette mümkün olmayacaktır. Ancak belirli açıklık ve deprem bölgesinde soğukta şekil verilmiş hafif çelik profiller kullanmanın avantajlarından sonuç bölümünde de ayrıca bahsedilecektir. Ağır çelik tasarımı yapılan bu bölümde ağır çelik profillerden kurgulanmış sistemlerin tarihçesi, yapım metotları, en kesit koşulları irdelenmeyecektir. Sistem mevcut ülkemiz koşullarında hazır halde üretici firmaların stoklarında bulunan profiller kullanılarak yapılacaktır. Ağır çelik hadde profillerden oluşturulan sistemler soğukta şekil verilmiş sisteme göre, ülkemiz koşullarında daha çok kullanılmıştır ve daha çok bilinmektedir.

6.1 Sistem Tasarımı

Sistem açıklık ve yükseklik koşullarını, soğukta şekil verilmiş yapı sistemleri için daha önce bölüm 2’de hesap edilmiş ve anlatılmıştı. Özellikle de taslak deprem yönetmeliğinde soğukta şekil verilmiş profiller ile kurgulanan yapılarda yükseklik sınırlamalarının olduğu bölüm 2 ifade edilmişti. Bu hususta yapının yapılacağı konum ve depremsellik kriterleri ile hesap yapılmış ve yapının maksimum yüksekliğinin 10.50m olması gerektiği hesaplanmıştı. Sistem tasarımı yapılırken, açıklık mertebesinde soğukta şekil verilmiş profillerden oluşturulmuş sistemde hesap zorluğu, kesit ve tasarım zorluğu yaşamamak adına da yapı açıklığı 20 m olarak seçilmişti. Yapı tasarımını soğukta şekil verilmiş profillerden yapmak için kolon aksları arasında mesafe de 2.50 m tutulmuş ve olası bir ağır çelik profilin kolon hesaplarında çıkmasının önüne geçilmişti. Ağır çelik sistem kurgulanırken kolon aksları arasındaki mesafe 4.00 m’ye çekilmiş ve sistemde fazla kolon elemanı kullanmanın önüne geçilmiştir.

6.2 Yapı Sistem Boyutları



Şekil 6.1 : Ağır çelik yapı model resmi (SAP 2000)

Yapı modellemesi yapılırken X yönünde 20 metre serbest açıklık, Y yönünde kolonlar arası aks mesafesi 4.00 metre toplamda 20m yapı uzunluğu SAP 2000 model dosyasında oluşturulmuştur. Düşey yönde kolon yüksekliği 8.00 metre olarak tasarlanmış, mahya yüksekliği 10.50m olarak alınmıştır.

Ağır çelik sistemde kullanılan yükler, bölüm 4'te hesaplanan hafif çelik yapı sistemi ile aynı alınmıştır. Bölüm 3'te hesaplanan bütün yükler ağır çelik sistemin de tasarımında kullanılmıştır. Ağır çelik yapı tasarımında kullanılan kombinasyonlar yine bölüm 3'te çizelge 3.9, çizelge 3.10 ve çizelge 3.11'de alınmıştır. Sistem tasarımı, AISC-LRFD yönetmeliği kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 6.1 : SAP 2000’de tanımlan sistem koordinatları

TABLE: Grid Lines							
CoordSys	AxisDir	GridID	XRYZCoord	LineType	LineColor	Visible	BubbleLoc
Text	Text	Text	m	Text	Text	Yes/No	Text
GLOBAL	X	A	0	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	X	B	4	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	X	C	8	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	X	D	12	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	X	E	16	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	X	F	20	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	1	0	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	2	4	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	3	8	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	4	12	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	5	16	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Y	6	20	Primary	Gray8Dark	Yes	Start
GLOBAL	Z	+0,00m	0	Primary	Gray8Dark	Yes	End
GLOBAL	Z	+8,00m	8	Primary	Gray8Dark	Yes	End
GLOBAL	Z	+10,50m	10,5	Primary	Gray8Dark	Yes	End

6.3 Ağır Çelik Malzeme Özellikleri

Ağır çelik profillerden oluşturulan yapı sisteminin tasarım aşamasında sistem içerisinde kullanılan profillerin malzemeleri, hesap modeli olarak kullanılan SAP 2000 programında tanımlanmıştır. Tasarımda esas alınacak malzeme cinslerine göre gerilme değerleri çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 : Ağır çelik yapıda kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme Cinsi	Birim Hacim Ağırlık kN / m ³	Minumum Akma Dayanımı kN / m ²	Minumum Kopma Dayanımı kN / m ²
S275 JR (ST 44)	76.98	275000	430000
S235 JR (ST 37)	76.98	235000	360000

Çizelge 6.3 : Yapıda kullanılan profil malzemeleri

BORU114K5mm	S235 JR (ST 37)
BORU139K8mm	S235 JR (ST 37)
HE140A	S275 JR (ST 44)
HE200A	S275 JR (ST 44)
IPE300	S235 JR (ST 37)
UPN160	S235 JR (ST 37)

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: S275JR (ST44) ■

Material Type: Steel

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76.9822 kN, m, C

Mass per Unit Volume: 7.85

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2.000E+08

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 76923077

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 275000

Minimum Tensile Stress, Fu: 430000

Effective Yield Stress, Fye: 275000

Effective Tensile Stress, Fue: 430000

☐ Switch To Advanced Property Display

[OK](#) [Cancel](#)

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: S235JR (ST37) ■

Material Type: Steel

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76.9822 kN, m, C

Mass per Unit Volume: 7.85

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2.000E+08

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 76923077

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 235000

Minimum Tensile Stress, Fu: 360000

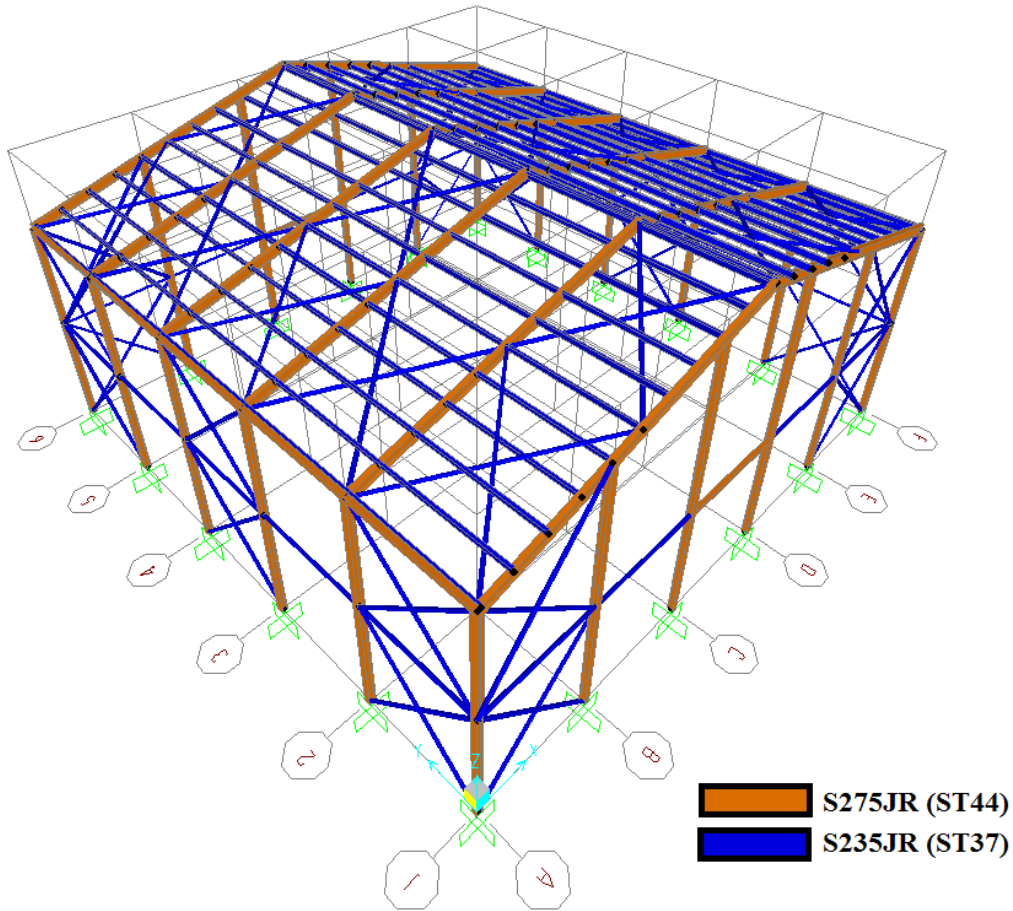
Effective Yield Stress, Fye: 235000

Effective Tensile Stress, Fue: 360000

☐ Switch To Advanced Property Display

[OK](#) [Cancel](#)

Şekil 6.2 : Malzeme tanımı (SAP 2000).



Şekil 6.3 : Malzeme cinsine göre model resmi (SAP 2000)

Çizelge 6.4 : Yapıda kullanılan profillerin karakteristik özellikleri.

Çubuk Elemanları Kesit Özellikleri								
Kesit İsmi	Alan	I_{zz}	I_{xx}	I_{yy}	S_{xx}	S_{yy}	R_{xx}	R_{yy}
	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm	cm
BORU114K5mm	17,12	509,63	254,81	254,81	44,7	44,7	3,8578	3,8578
BORU139K8mm	32,92	1417,79	708,89	708,89	102	102	4,6402	4,6402
HE140A	31,4	8,1	1033	389	155,34	55,57	5,7357	3,5197
HE200A	53,8	21	3692	1336	388,63	133,6	8,284	4,9832
IPE300	53,8	19,9	8356	604	557,07	80,53	12,4626	3,3506
UPN160	24,02	6,97	924,6	85,39	115,58	18,29	6,2043	1,8855

6.4 Ağır Çelik Yapı Sistemin Dinamik Analizi (Deprem Tasarımı)

Yapı ağır çelik olarak dinamik tasarımı yapılırken, soğukta şekil verilmiş yapı sisteminde olduğu gibi bölüm 4'te yapılan eş değer deprem yükü hesabı ile yapılacaktır. Taslak deprem yönetmeliği bölüm 9'da ağır çelik yapı sistemleriyle ilgili olan kurallar kullanılarak hesap yapılacaktır.

Bölüm 2'de (2.4) ve (2.5) ifadelerinde ki, S_{DS} (kısa periyod bölgesi için tasarım spektral ivme katsayısı) ve S_{D1} (1.0 saniye periyod için tasarım spektral ivme katsayısı) değerleri yeniden hesap edilmeyecektir. Bu değerler aşağıdaki gibi bölüm 2'de ki (2.4) ve (2.5) ifadelerinden alınmıştır,

$$S_{DS} = 1,071$$

$$S_{D1} = 0,557$$

Bölüm 4'te hesaplanan (4.8) ifadesinin, sistem taşıyıcı elemanlarının malzeme cinsi değiştiğinden tekrar hesaplanması gerekecektir.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (4.8)$$

Yatay elastik köşe periyotlarının yeniden hesaplanmasına gerek yoktur. Bu değerler bölüm 4'te yer alan (4.9) ifadesinde $T_A = 0,10 \text{ sn}$, (4.10) ifadesinde $T_B = 0,52 \text{ sn}$ olarak alınacaktır.

Modal Participating Mass Ratios										
File View Format-Filter-Sort Select Options										
Units: As Noted										
Modal Participating Mass Ratios										
	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	
►	MODAL	Mode	1	0,268556	0,072189	2,323E-16	5,972E-16	0,072189	2,323E-16	
	MODAL	Mode	2	0,263558	0,00000001123	1,737E-17	2,228E-17	0,072189	2,496E-16	
	MODAL	Mode	3	0,262614	0,00038	5,383E-20	1,996E-16	0,072568	2,497E-16	
	MODAL	Mode	4	0,261287	1,415E-13	7,587E-17	6,97E-17	0,072568	3,255E-16	
	MODAL	Mode	5	0,232271	1,149E-17	0,00000003778	0,439979	0,072568	0,00000003778	
	MODAL	Mode	6	0,192238	3,849E-16	0,002919	0,00000001825	0,072568	0,002919	
	MODAL	Mode	7	0,18868	8,824E-16	0,00000006212	0,021545	0,072568	0,002919	
	MODAL	Mode	8	0,186335	5,08E-16	0,051071	0,00000003483	0,072568	0,053991	
	MODAL	Mode	9	0,176028	4,587E-16	0,344124	0,00000006221	0,072568	0,353114	
	MODAL	Mode	10	0,167438	0,00000007038	1,421E-15	1,863E-15	0,072568	0,353114	
	MODAL	Mode	11	0,152724	0,871934	1,33E-15	4,406E-15	0,944502	0,353114	
	MODAL	Mode	12	0,152121	1,885E-15	0,12220	0,00000001313	0,944502	0,350794	

Şekil 6.4 : Yatay doğrultuda doğal titreşim periyotları

Yatay doğrultuda doğal titreşim periyotları şekil 6.2’de verilmiştir. Periyot değerleri hesaplanan yapının X ve Y doğrultusuna göre spektral ivme katsayıları hesaplanacaktır. X ve Y doğrultusundaki periyot değerleri sırasıyla $T_x = 0.15$ ve $T_y = 0.17$ bu değerler (4.12) ifadesindeki denklemin sınır değerleri içerisinde kalmaktadır. Bu neden ile $S_{ae}(T) = S_{DS}$ koşulu geçerli olup her iki yön içinde, $S_{ae}(T) = 1,071$ alınacaktır. (4.8) ifadesini hesaplamak için ön görülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ değerleri hesap edilecektir.

Çizelge 6.5 : Yapı davranış katsayısı ve Dayanım fazlalığı katsayısı (TBDY 2016)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
C. ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
C1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
C13. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	5	2	$BYS \geq 4$

(4.15) ve (4.16) ifadesinde X ve Y doğrultusundaki doğal titreşim periyodu $T \leq T_B$ olduğundan (4.16) ifadesiyle deprem yükü azaltma katsayısı kullanılacaktır. (4.16) ifadesinde ki değer çizelge 6.7’den $R = 5$, $D = 2$ olarak alınacaktır.

$R_a(T_x)$	$R_a(T_y)$
$2 + \left(\frac{5}{1} - 2\right) \left(\frac{0.15}{0.52}\right) = 2,86$	$2 + \left(\frac{5}{1} - 2\right) \left(\frac{0.17}{0.52}\right) = 2,98$

Taslak deprem yönetmeliğine göre **(4.8)** ifadesindeki $S_{aR}(T)$ değeri her iki yön için hesap edildiğinde,

$S_{aR}(T_x)$	$S_{aR}(T_y)$
$\left(\frac{1,071}{2,86}\right) = 0,374$	$\left(\frac{1,071}{2,98}\right) = 0,359$

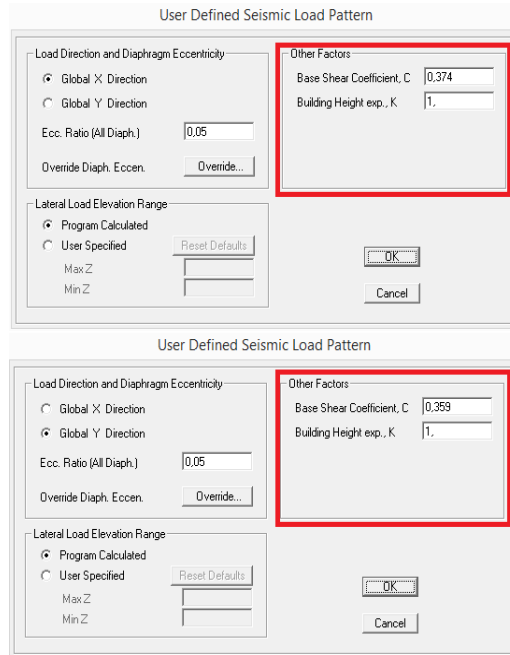
(4.7) ifadesindeki denklemde V_{tE} değerinin hesaplanabilmesi için koşulun sağlanması gerekmektedir.

Bu kontrolü X doğrultusu için yaparsak, eşitliğin her iki tarafındaki m_t terimi sadeleşeceğinden,

$$V_{tE}^{(x)} = 0,374 \geq (0.04 \times 1 \times 1,071) = 0.043$$

Bu kontrolü Y doğrultusu için yaparsak, eşitliğin her iki tarafındaki m_t terimi sadeleşeceğinden ;

$$V_{tE}^{(y)} = 0,359 \geq (0.04 \times 1 \times 1,071) = 0.043$$



Şekil 6.5 : Deprem taban kesme kuvveti katsayısı (SAP 2000)

6.5 Deprem Taban Kesme Kuvveti Katsayısı Düşey Yük Analizi

(4.20), (4.21) ve (4.22) ifadelerinden hesaplanan düşey elastik ivme spektrumları değerleri daha önce hesaplandığı gibi bölüm 4 çizelge 4.15'ten alınmıştır.

T_{AD} (4.20)	T_{BD} (4.21)	T_{LD} (4.22)
$\frac{0,10}{3} = 0,033$	$\frac{0,52}{3} = 0,17$	$\frac{6}{2} = 3$

Modal Participating Mass Ratios

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Modal Participating Mass Ratios

	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless
	Mode	1	0,268556	0,072189	2,323E-16	5,972E-16	0,072189	2,323E-16	5,972E-16
	Mode	2	0,263558	0,00000001123	1,737E-17	2,228E-17	0,072189	2,496E-16	6,195E-16
	Mode	3	0,262614	0,00038	5,383E-20	1,996E-16	0,072568	2,497E-16	8,191E-16
	Mode	4	0,232271	1,149E-17	0,00000003778	0,439979	0,072568	0,00000003778	0,439979
	Mode	5	0,232271	1,149E-17	0,00000003778	0,439979	0,072568	0,00000003778	0,439979
	Mode	6	0,18868	8,824E-16	0,00000006312	0,021545	0,072568	0,002919	0,461524
	Mode	7	0,186335	5,08E-16	0,051071	0,00000003483	0,072568	0,053991	0,461524
	Mode	8	0,176028	4,587E-16	0,344124	0,00000006221	0,072568	0,398114	0,461524
	Mode	9	0,167438	0,00000007038	1,421E-15	1,863E-15	0,072568	0,398114	0,461524
	Mode	10	0,152724	0,871934	1,33E-15	4,406E-15	0,944502	0,398114	0,461524
	Mode	11	0,152421	1,805E-16	0,42268	0,00000001913	0,944502	0,820794	0,461524
	Mode	12							

Şekil 6.6 : Düşey doğrultuda doğal titreşim periyodu (SAP 2000)

Düşey doğrultuda doğal titreşim periyodu şekil 6.4'te verilmiştir. Periyot değeri hesaplanan yapının Z doğrultusuna göre spektral ivme katsayısı hesaplanacaktır. Z doğrultusundaki periyot değeri $T_z = 0.232$ bu değer (4.19) ifadesindeki denklemin sınır değerleri içerisinde kalmaktadır. Taslak deprem yönetmeliğinde düşey deprem etkisi altındaki binalarda, düşey yükün deprem etkisi hesaplanırken tüm taşıyıcı sistemler için $R/I = 1$ ve $D=1$ alınacaktır. Taslak deprem yönetmeliğinde açıklıkları yataydaki izdüşümü 20m veya daha fazla olan kirişleri içeren binalarda, düşey doğrultuda $S_{aeD}(T)$ değeri (4.19) ifadesindeki denklemden yararlanılarak bulunacaktır,

$$S_{aeD}(T) = 0.5 \times 1,071 \times \frac{0,17}{0,232} = 0,392$$

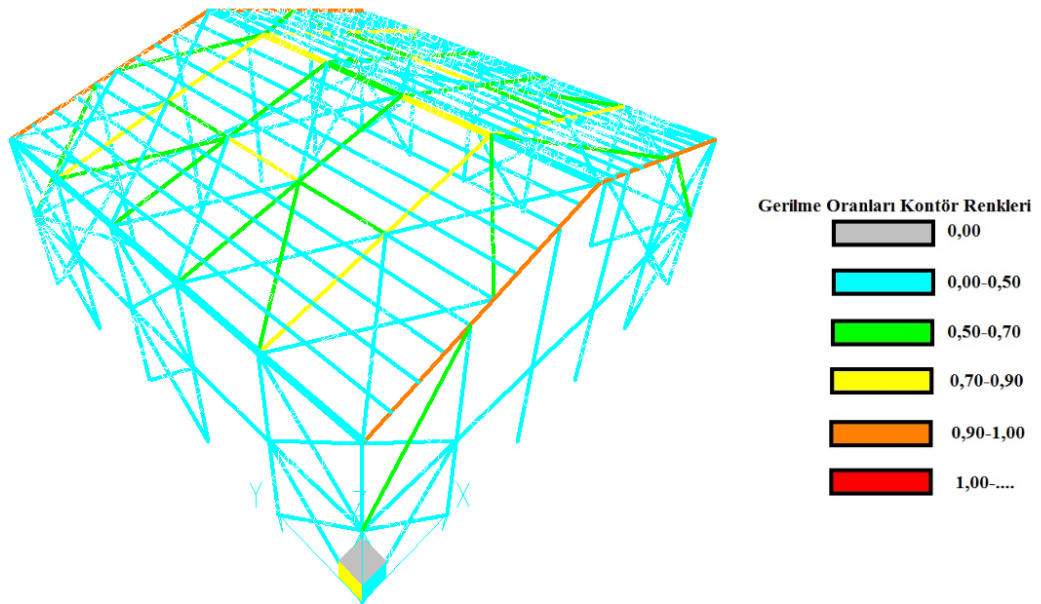
Load Case Data - Linear Static

Load Case Name EZ	Set Def Name	Notes Modify/Show...	Load Case Type Static									
Stiffness to Use ☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State ☐ Stiffness at End of Nonlinear Case		Analysis Type ☒ Linear ☐ Nonlinear ☐ Nonlinear Staged Construction										
Loads Applied												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Load Type</th> <th>Load Name</th> <th>Scale Factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Load Pattern</td> <td>EZ</td> <td>0,392</td> </tr> <tr> <td>Load Pattern</td> <td>EZ</td> <td>0,392</td> </tr> </tbody> </table>	Load Type	Load Name	Scale Factor	Load Pattern	EZ	0,392	Load Pattern	EZ	0,392	Add Modify Delete		
Load Type	Load Name	Scale Factor										
Load Pattern	EZ	0,392										
Load Pattern	EZ	0,392										
OK Cancel												

Şekil 6.7 : Düşey deprem kuvvetinin tanıtılması (SAP 2000)

6.6 Tasarım Sonuçları :

AISC-LRFD standartı kullanılarak hesaplanan ağır çelik yapı sisteminin detaylı sonuçları ayrıntılı bir şekilde bu bölümde incelenmemiştir. Ancak ek kısmında gerilme sonuçları ayrıntı bir şekilde verilmiştir. Tasarım sonucu olarak şekil 6.8’de görülen gerilme oranları verilmiştir. Ağır çelik sistem tasarımı yapmakta ki amaç hafif çelik ile çözülen sistem ile ağırlık kıyaslaması şeklinde olmuştur.



Şekil 6.8 : Gerilme kontör resmi (SAP 2000)

6.7 Yapı Taşıyıcı Konstrüksiyon Ağırlığı

Yapıyı oluşturan sistemde ki eleman ağırlıkları çizelge 6.6’da verilmiştir. Sistem kurulumunda kullanılacak olan bağlantı plakaları, betonarme temel bağlantı plakaları sistem ağırlığı içerisinde verilmemiştir.

Çizelge 6.6 : Ağır çelik yapı konstrüksiyon ağırlığı

Malzeme Listesi			
Kesit İsimleri	Eleman Fonksiyonu	Toplam Uzunluk	Toplam Ağırlık
		(m)	(kg)
HE200A	Kolon	168,656	7122,8
IPE300	Kiriş	124,35984	5252,1
HE140A	Stabilite Kirişi	48	1183,2
BORU114K5mm	Cephe Çaprazı	298,39528	4010,6
BORU139K8mm	Çatı Çaprazı	209,47074	5413,8
UPN160	Aşıklar	440	8296,5
Toplam Malzeme Ağırlığı (kg)			31279

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Taslak deprem yönetmeliği ile birlikte hafif çelik yapılar ile ilgili tanımlanan önemli hususlar tez kapasamında incelenmiştir. DBYBHY-2007’de hafif çelik yapılar ile ilgili yapı davranış katsayıları ve yapım kuralları tanımlanmamıştı, taslak deprem yönetmeliğinde yapım kuralları ve yapı davranış kuralları gibi birçok tanım hafif çelik yapılar ile ilgili tanımlanmıştır. Taslak deprem yönetmeliğinde ayrıca depremsellik kriterleri yerel koşullara bağlı olarak daha detaylı bir şekilde hazırlanmıştır.

Özellikle taslak deprem yönetmeliğinde hafif çelik yapıların kat yükseklikleri ile ilgili sınırlamaların olduğu, yapının inşaa edileceği konumun depremsellik kriterlerinin yapı yüksekliğini etkilediği gözlemlenmiştir. Bölüm 2’de hafif çelik yapılması planlanan her yapının önce kat yüksekliğinin belirlenmesi gerektiği ilkesi anlatılmıştır. Taslak deprem yönetmeliği kapsamında, depremsellik kriterleri bakımından olumsuzluk teşkil eden İstanbul iline göre hesap yapılmış ve yapı yüksekliği maksimum 10.50m hesaplanmıştır. Ayrıca yapı kullanım amacına bağlı olarak I. ve II. deprem bölgelerinde bazı hafif çelik yapılara müsaade olmadığı gözlemlenmiştir. Özellikle hastane, yurt, okul gibi yapıların süneklilik düzeyi sınırlı olarak tarif edilen hafif çelik profiller ile yapılamayacağı anlaşılmıştır.

Bu çalışma kapsamında ayrıca TS 498 yük yönetmeliği ile hesap yapılmamış, kar yükü için TS EN 1991-1-3 yönetmeliği, rüzgar yükü için TS EN 1991-1-4 yönetmeliği kullanılmıştır. TS 498 yönetmeliği ile aralarında ki farklılıklar kıyaslanmış ve anlatılmıştır. 1987 yılında yayımlanan TS 498 yük yönetmeliliğinin çift eğimli çatılar için daha olumsuz yük değeri aldığı anlaşılmıştır.

Hafif çelik yapı elemanları ile tasarlanan sistemlerin hesap metodolojisi bu çalışmada ayrıntılı olarak incelenmiştir. AISI standardı, bölüm 5’te ayrıntılı olarak incelenmiş, basınç ve moment etkisi altındaki kolon elemanının tasarımı AISI-ASD ve AISI-LRFD standartlarına göre kıyaslanmış ve sonuçlar ayrıntılı şekilde verilmiştir. Ayrıca bölüm 5’te günümüzde hafif çelik profil tasarımı için kullanılan CFS (Cold Formed Steel) programının sonuçları, excel de AISI standartları kullanılarak yapılan

hesap programı ile kıyaslanmıştır. CFS programının distorsiyonal (burkulmalı burkulma) burkulma analizi yapmadığı anlaşılmıştır.

AISI-ASD ve AISI-LRFD tasarımında kullanılan yük ve yükleme kombinasyonları bölüm 3'te irdelenmiş ve yapıda kullanılan düşey çaprazların kontrolü de taslak deprem yönetmeliği kullanılarak ayrıca hesaplanmıştır.

Bölüm 6'da aynı yapı boyutları ve koordinatlarında bu kez ağır çelik olarak tasarlanmış ve yapıyı oluşturmak için kullanılan elemanların ağırlığı hesaplanmıştır. Ağır çelik profiller ile tasarlanmış olan sistemde yine taslak deprem yönetmeliği kullanılmıştır. Yapı ağırlığı olarak aynı kullanım amacı olan iki tip sistemde ağır çelik sistem ile oluşturulan yapının, hafif çelik profiller ile oluşturulan sistemden 1.78 kat daha ağır olduğu hesaplanmıştır. Bu sonuç ile görülen, açıklıklar ve yapı depremsellik koşulları uygun ise hafif çelik sistemlerin ağır çelik sistemlerden ağırlık olarak daha ekonomik olduğu anlaşılmıştır.

Genel olarak, sonuçlar AISI yönetmeliği kullanılarak hesaplanmış ve hafif çelik yapı tasarımı yapılırken, ASD ile LRFD yönetmeliği arasında oran olarak fazla farklar olmadığı anlaşılmıştır. LRFD yönetmeliğinin yük kombinasyonlarında daha çok veri ve katsayının olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden hafif çelik yapı tasarımında azaltma faktörleri ile birlikte LRFD yönteminin yapı analizi için daha uygun ve güncel olduğu söylenebilir. Bulunan sonuçlar ve kıyaslamalardan, TS 498 yük yönetmeliğinin tekrar gözden geçirilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Coğrafi koşullarda ki değişimler kar yükü hesaplarını, yapı boyutları ve konumu ile ilgili faktörlerin de rüzgar yüklerini etkilediği gözlemlenmiştir. Bu nedenlerden dolayı yapı yükleme hesaplarında TS EN 1991-1-3 ve TS EN 1991-1-4 yönetmeliklerinin daha doğru sonuç verdiği anlaşılmıştır. Taslak deprem yönetmeliği ile birlikte ülkemizde yapılacak olan hafif çelik yapılara bir takım hesap kuralları ve sınırlamaların geldiğini sonuç olarak söylenebilir.

KAYNAKLAR

- AISC Committee**, (2011). Design Examples V14.1, American Institute of Steel Construction, USA
- AISI** , (2007). (AISI) is an association of North American steel producers. Its predecessor organizations date back to 1855 making it one of the oldest trade associations in the United States. USA
- DBYBHY-2007**, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- DLH** , (2007). Kıyı ve liman yapıları, demiryolları deprem teknik yönetmeliği, Ankara
- TBDY 2016** , (2016).Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Ankara (TASLAK)
- TS EN 1991-1-3**, (2007). Kar yüklerinin yapılar üzerinde ki etkisi, Ankara
- TS EN 1991-1-4**, (2007). Rüzgar yüklerinin yapılar üzerinde ki etkisi, Ankara
- TS-498** , (1987). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 11372** , (1994). Çelik yapılar hafif soğukta şekil verilmiş profillerle oluşturulan hesap kuralları, Ankara
- Wei-Wen Yu and Roger A. LaBoube**, (2010). Missouri University of Science and Technology, USA

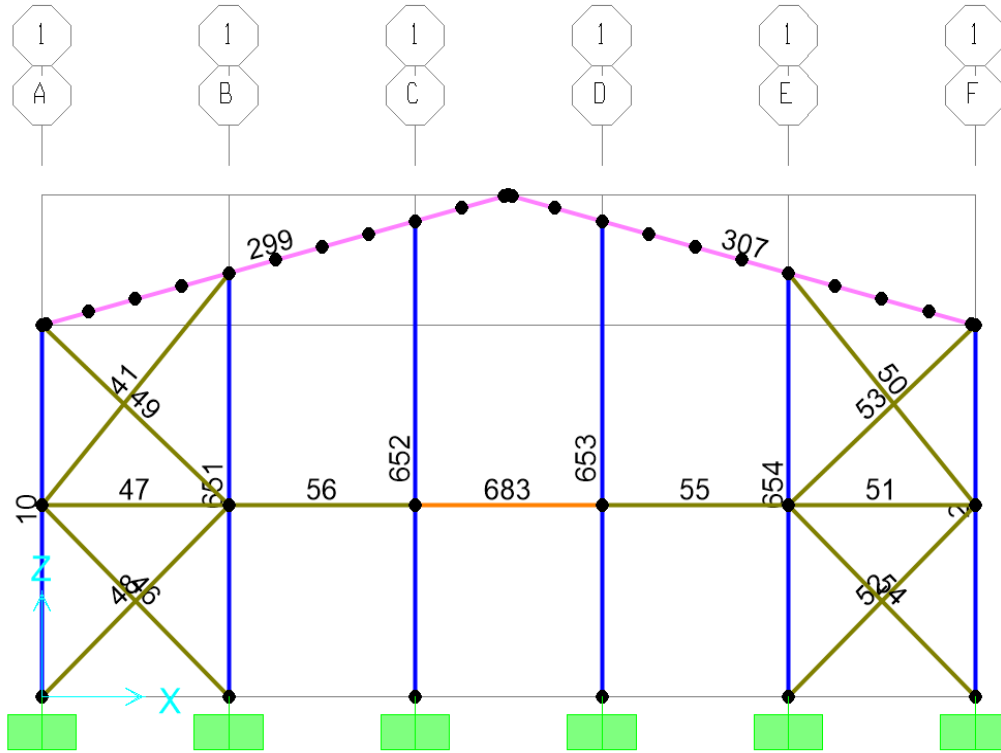


EKLER

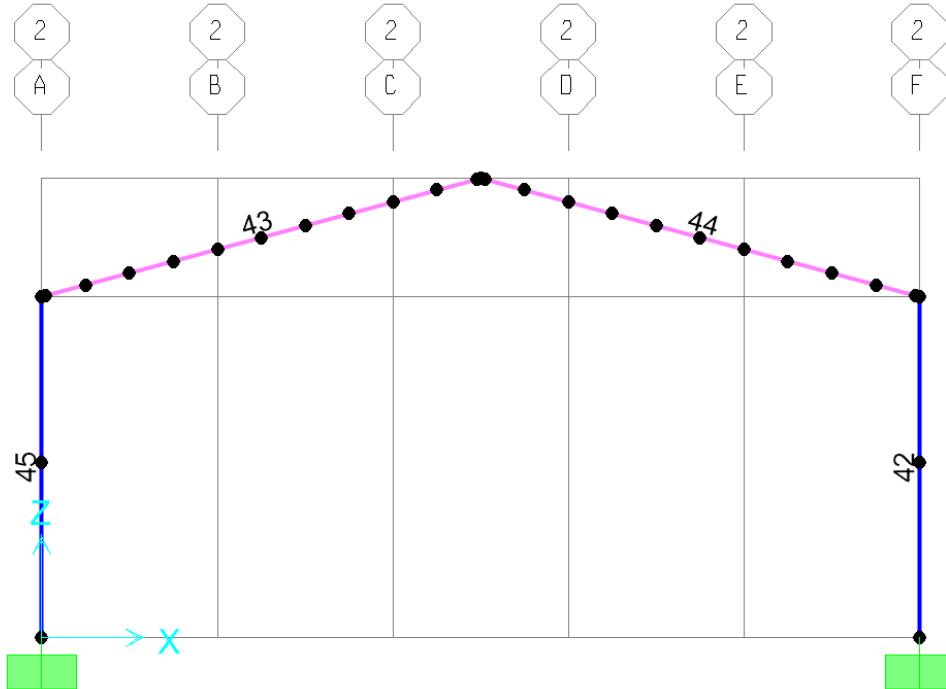
EK A: SAP 2000 Ağır Çelik Yapı Düğüm Noktaları Numaraları ve Tasarım Sonuçları.



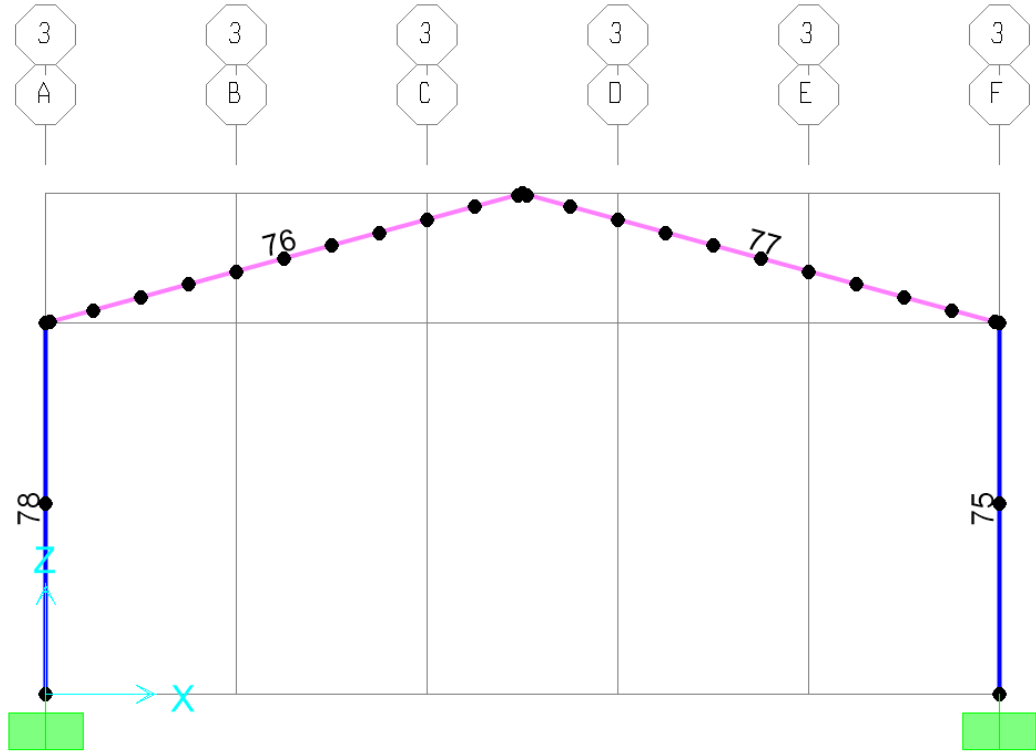
EK A: SAP 2000 Ağır Çelik Yapı Düğüm Noktaları Numaraları ve Tasarım Sonuçları



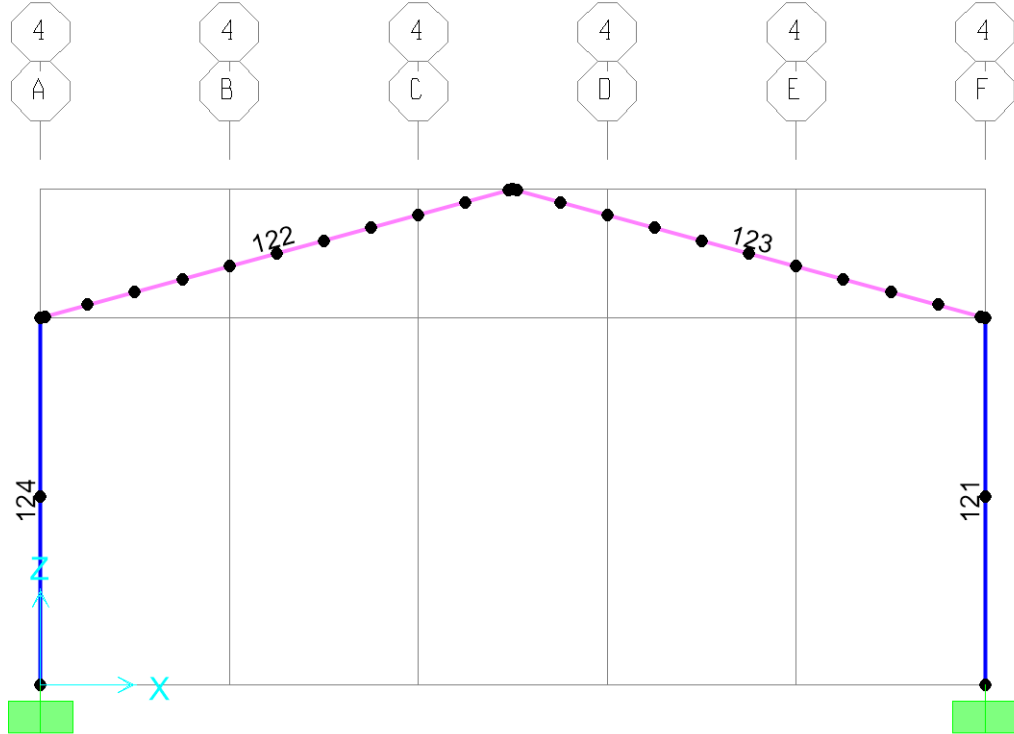
Şekil A.1 : SAP 2000 aks-1 görünüşü



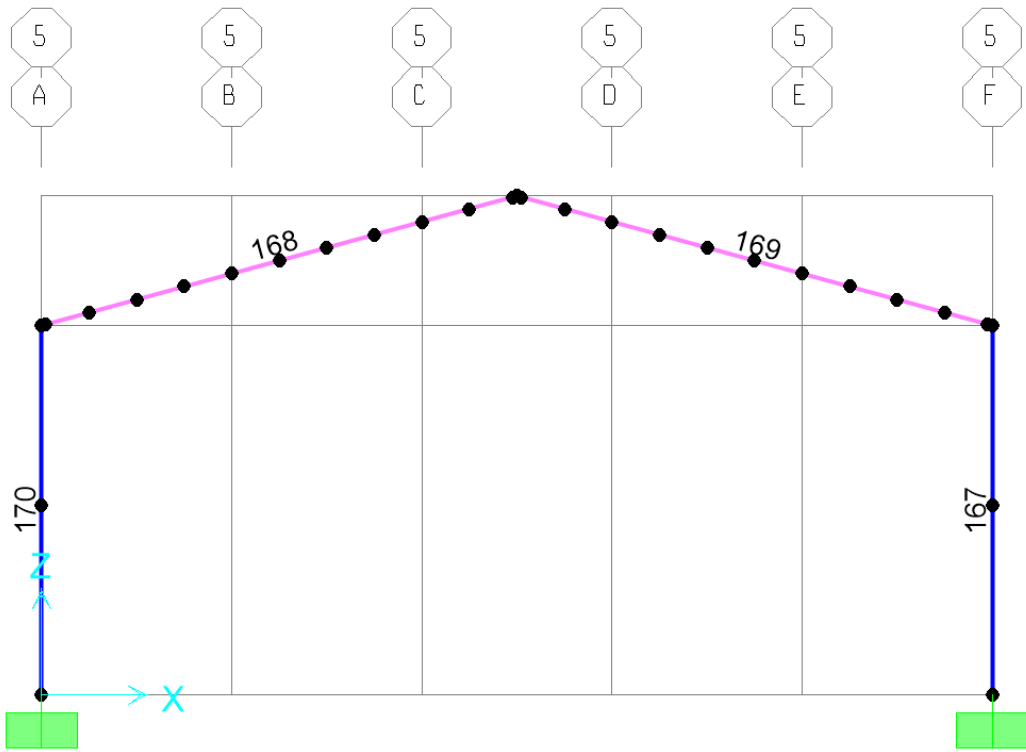
Şekil A.2 : SAP 2000 aks-2 görünüşü



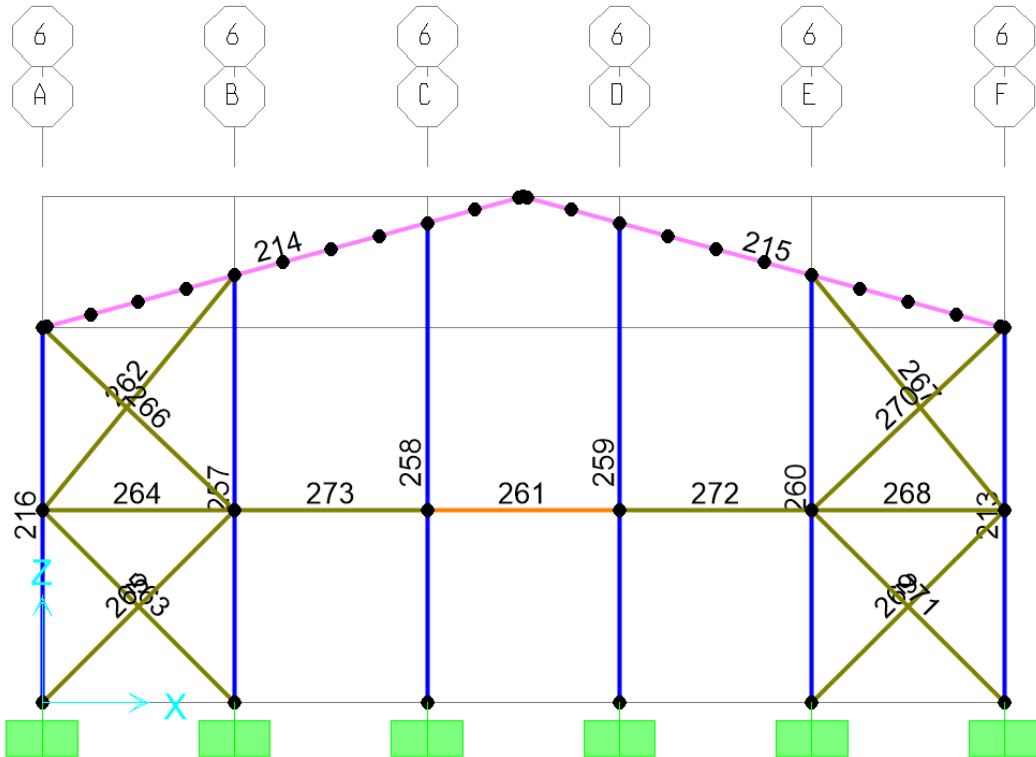
Şekil A.3 : SAP 2000 aks-3 görünüşü



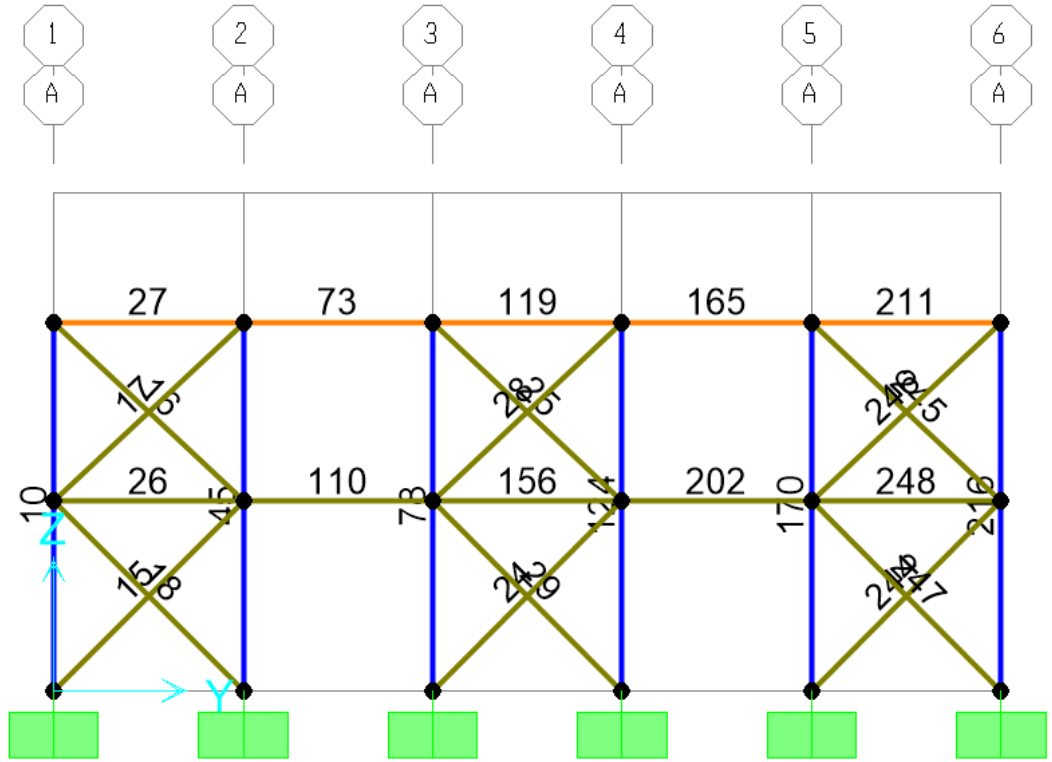
Şekil A.4 : SAP 2000 aks-4 görünüşü



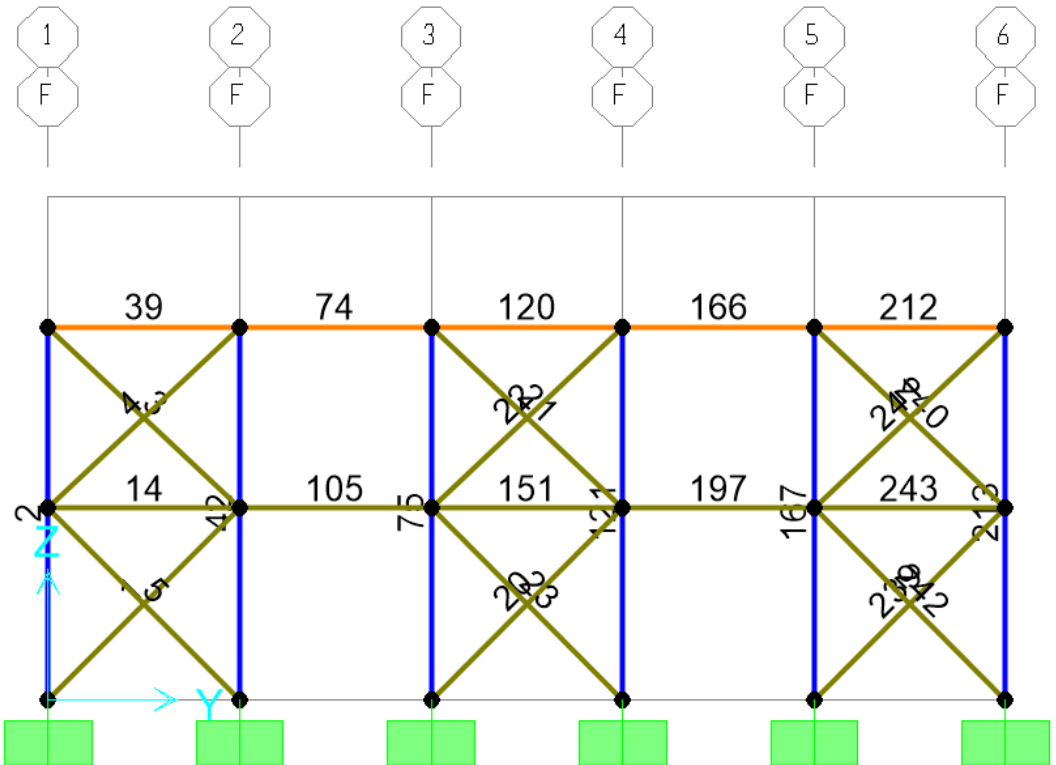
Şekil A.5 : SAP 2000 aks-5 görünüşü



Şekil A.6 : SAP 2000 aks-6 görünüşü



Şekil A.7 : SAP 2000 aks-A görünüşü



Şekil A.8 : SAP 2000 aks-F görünüşü

Çizelge A.1 : Sap2000 gerilme sonuçları (AISC-LRFD 99)

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD99						
Frame	DesignSect	DesignType	Ratio	RatioType	Combo	Location
Text	Text	Text	Unitless	Text	Text	m
2	HE200A	Column	0,115176	PMM	LRFD2	4
10	HE200A	Column	0,115431	PMM	LRFD5	4
27	HE140A	Beam	0,077179	PMM	LRFD4	0
39	HE140A	Beam	0,074686	PMM	LRFD4	0
42	HE200A	Column	0,443598	PMM	LRFD3	7,78
43	IPE300	Brace	0,805796	PMM	LRFD5	10,26911
44	IPE300	Brace	0,80575	PMM	LRFD5	0,09421
45	HE200A	Column	0,443598	PMM	LRFD2	7,78
299	IPE300	Brace	0,953145	PMM	LRFD5	10,26911
307	IPE300	Brace	0,953099	PMM	LRFD5	0,09421
315	UPN160	Beam	0,151175	PMM	LRFD3	2
316	UPN160	Beam	0,239466	PMM	LRFD5	2
317	UPN160	Beam	0,245274	PMM	LRFD5	2
318	UPN160	Beam	0,238935	PMM	LRFD2	2
319	UPN160	Beam	0,255024	PMM	LRFD4	2
320	UPN160	Beam	0,249699	PMM	LRFD2	2
321	UPN160	Beam	0,251746	PMM	LRFD2	2
322	UPN160	Beam	0,238614	PMM	LRFD2	2
323	UPN160	Beam	0,241735	PMM	LRFD2	2
324	UPN160	Beam	0,245632	PMM	LRFD2	2
325	UPN160	Beam	0,496835	PMM	LRFD5	4
326	UPN160	Beam	0,497446	PMM	LRFD5	4
327	UPN160	Beam	0,245632	PMM	LRFD3	2
328	UPN160	Beam	0,241735	PMM	LRFD3	2
329	UPN160	Beam	0,238614	PMM	LRFD3	2
330	UPN160	Beam	0,251746	PMM	LRFD3	2
331	UPN160	Beam	0,249699	PMM	LRFD3	2
332	UPN160	Beam	0,250019	PMM	LRFD4	2
333	UPN160	Beam	0,238935	PMM	LRFD3	2
334	UPN160	Beam	0,245229	PMM	LRFD5	2
335	UPN160	Beam	0,239465	PMM	LRFD5	2
336	UPN160	Beam	0,151175	PMM	LRFD2	2
651	HE200A	Column	0,450505	PMM	DEPREM5	8,868
652	HE200A	Column	0,305614	PMM	LRFD4	9,956
653	HE200A	Column	0,305774	PMM	LRFD4	9,956
654	HE200A	Column	0,450505	PMM	DEPREM6	8,868
683	HE140A	Beam	0,047676	PMM	LRFD5	2
1	BORU114K5mm	Brace	0,269331	PMM	DEPREM4	2,82843
3	BORU114K5mm	Brace	0,100295	PMM	DEPREM7	2,75174
4	BORU114K5mm	Brace	0,254074	PMM	DEPREM4	2,75174

5	BORU114K5mm	Brace	0,200777	PMM	DEPREM3	5,65685
14	BORU114K5mm	Beam	0,108712	PMM	ASD6	2
15	BORU114K5mm	Brace	0,269331	PMM	DEPREM4	2,82843
16	BORU114K5mm	Brace	0,100295	PMM	DEPREM7	2,75174
17	BORU114K5mm	Brace	0,254074	PMM	DEPREM4	2,75174
18	BORU114K5mm	Brace	0,200777	PMM	DEPREM3	5,65685
26	BORU114K5mm	Beam	0,2785	PMM	ASD6	2
41	BORU114K5mm	Brace	0,598171	PMM	LRFD3	3,15029
46	BORU114K5mm	Brace	0,285914	PMM	DEPREM5	2,82843
47	BORU114K5mm	Beam	0,051891	PMM	LRFD5	2
48	BORU114K5mm	Brace	0,405235	PMM	DEPREM2	2,82843
49	BORU114K5mm	Brace	0,130912	PMM	LRFD3	2,75174
50	BORU114K5mm	Brace	0,598171	PMM	LRFD2	3,15029
51	BORU114K5mm	Beam	0,051863	PMM	LRFD5	2
52	BORU114K5mm	Brace	0,285914	PMM	DEPREM6	2,82843
53	BORU114K5mm	Brace	0,130912	PMM	LRFD2	2,75174
54	BORU114K5mm	Brace	0,405235	PMM	DEPREM1	2,82843
55	BORU114K5mm	Beam	0,095862	PMM	LRFD5	2
56	BORU114K5mm	Beam	0,095862	PMM	LRFD5	2
57	BORU139K8mm	Brace	0,46114	PMM	LRFD5	3,27298
58	BORU139K8mm	Brace	0,147382	PMM	LRFD5	3,27298
59	BORU139K8mm	Brace	0,608027	PMM	LRFD3	3,27298
60	BORU139K8mm	Brace	0,139945	PMM	LRFD5	3,27298
61	BORU139K8mm	Brace	0,460698	PMM	LRFD5	3,27298
62	BORU139K8mm	Brace	0,147532	PMM	LRFD5	3,27298
63	BORU139K8mm	Brace	0,608082	PMM	LRFD5	3,27298
64	BORU139K8mm	Brace	0,139857	PMM	LRFD5	3,27298
73	HE140A	Beam	0,118761	PMM	LRFD3	0
74	HE140A	Beam	0,118761	PMM	LRFD2	0
75	HE200A	Column	0,491825	PMM	LRFD3	7,78
76	IPE300	Brace	0,694424	PMM	LRFD5	10,26911
77	IPE300	Brace	0,694733	PMM	LRFD5	0,09421
78	HE200A	Column	0,491825	PMM	LRFD2	7,78
79	UPN160	Beam	0,207581	PMM	LRFD3	2
80	UPN160	Beam	0,24058	PMM	LRFD3	2
81	UPN160	Beam	0,252592	PMM	LRFD5	2
82	UPN160	Beam	0,238858	PMM	LRFD2	2
83	UPN160	Beam	0,271312	PMM	LRFD2	2
84	UPN160	Beam	0,619592	PMM	LRFD5	2
85	UPN160	Beam	0,270636	PMM	LRFD2	2
86	UPN160	Beam	0,238805	PMM	LRFD2	2
87	UPN160	Beam	0,243256	PMM	LRFD2	2
88	UPN160	Beam	0,239838	PMM	LRFD2	2
89	UPN160	Beam	0,772126	PMM	LRFD5	1,5
90	UPN160	Beam	0,77226	PMM	LRFD5	1,5

91	UPN160	Beam	0,239838	PMM	LRFD3	2
92	UPN160	Beam	0,243256	PMM	LRFD3	2
93	UPN160	Beam	0,238805	PMM	LRFD3	2
94	UPN160	Beam	0,270636	PMM	LRFD3	2
95	UPN160	Beam	0,619793	PMM	LRFD5	2
96	UPN160	Beam	0,271312	PMM	LRFD3	2
97	UPN160	Beam	0,238858	PMM	LRFD3	2
98	UPN160	Beam	0,25255	PMM	LRFD2	2
99	UPN160	Beam	0,24058	PMM	LRFD2	2
100	UPN160	Beam	0,207581	PMM	LRFD2	2
105	BORU114K5mm	Beam	0,091288	PMM	ASD6	2
110	BORU114K5mm	Beam	0,213061	PMM	ASD6	2
119	HE140A	Beam	0,125182	PMM	LRFD3	2
120	HE140A	Beam	0,125182	PMM	LRFD2	2
121	HE200A	Column	0,491904	PMM	LRFD3	7,78
122	IPE300	Brace	0,691217	PMM	LRFD5	10,26911
123	IPE300	Brace	0,691155	PMM	LRFD5	0,09421
124	HE200A	Column	0,491904	PMM	LRFD2	7,78
125	UPN160	Beam	0,236026	PMM	LRFD3	2
126	UPN160	Beam	0,24088	PMM	LRFD3	2
127	UPN160	Beam	0,255605	PMM	LRFD3	2
128	UPN160	Beam	0,2394	PMM	LRFD2	2
129	UPN160	Beam	0,280697	PMM	LRFD2	2
130	UPN160	Beam	0,805683	PMM	LRFD3	2
131	UPN160	Beam	0,279136	PMM	LRFD2	2
132	UPN160	Beam	0,239726	PMM	LRFD2	2
133	UPN160	Beam	0,244598	PMM	LRFD2	2
134	UPN160	Beam	0,292987	PMM	LRFD2	2
135	UPN160	Beam	0,505166	PMM	LRFD5	2
136	UPN160	Beam	0,505166	PMM	LRFD5	2
137	UPN160	Beam	0,292987	PMM	LRFD3	2
138	UPN160	Beam	0,244598	PMM	LRFD3	2
139	UPN160	Beam	0,239726	PMM	LRFD3	2
140	UPN160	Beam	0,279136	PMM	LRFD3	2
141	UPN160	Beam	0,805683	PMM	LRFD2	2
142	UPN160	Beam	0,280697	PMM	LRFD3	2
143	UPN160	Beam	0,2394	PMM	LRFD3	2
144	UPN160	Beam	0,255605	PMM	LRFD2	2
145	UPN160	Beam	0,24088	PMM	LRFD2	2
146	UPN160	Beam	0,236026	PMM	LRFD2	2
151	BORU114K5mm	Beam	0,048217	PMM	ASD4	2
156	BORU114K5mm	Beam	0,048217	PMM	ASD5	2
165	HE140A	Beam	0,119959	PMM	LRFD5	4
166	HE140A	Beam	0,119179	PMM	LRFD5	4
167	HE200A	Column	0,443268	PMM	LRFD3	7,78

168	IPE300	Brace	0,805939	PMM	LRFD5	10,26911
169	IPE300	Brace	0,805992	PMM	LRFD5	0,09421
170	HE200A	Column	0,443268	PMM	LRFD2	7,78
171	UPN160	Beam	0,207624	PMM	LRFD3	2
172	UPN160	Beam	0,240581	PMM	LRFD3	2
173	UPN160	Beam	0,252555	PMM	LRFD3	2
174	UPN160	Beam	0,238857	PMM	LRFD2	2
175	UPN160	Beam	0,273137	PMM	LRFD5	2
176	UPN160	Beam	0,625217	PMM	LRFD5	2
177	UPN160	Beam	0,270606	PMM	LRFD2	2
178	UPN160	Beam	0,238804	PMM	LRFD2	2
179	UPN160	Beam	0,243256	PMM	LRFD2	2
180	UPN160	Beam	0,239836	PMM	LRFD2	2
181	UPN160	Beam	0,770518	PMM	LRFD5	2
182	UPN160	Beam	0,77052	PMM	LRFD5	2
183	UPN160	Beam	0,239836	PMM	LRFD3	2
184	UPN160	Beam	0,243256	PMM	LRFD3	2
185	UPN160	Beam	0,238804	PMM	LRFD3	2
186	UPN160	Beam	0,270606	PMM	LRFD3	2
187	UPN160	Beam	0,625334	PMM	LRFD5	2
188	UPN160	Beam	0,27206	PMM	LRFD5	2
189	UPN160	Beam	0,238857	PMM	LRFD3	2
190	UPN160	Beam	0,252555	PMM	LRFD2	2
191	UPN160	Beam	0,240581	PMM	LRFD2	2
192	UPN160	Beam	0,207624	PMM	LRFD2	2
197	BORU114K5mm	Beam	0,074706	PMM	ASD6	2
202	BORU114K5mm	Beam	0,07887	PMM	ASD6	2
211	HE140A	Beam	0,07511	PMM	LRFD5	0
212	HE140A	Beam	0,074222	PMM	LRFD5	0
213	HE200A	Column	0,118961	PMM	LRFD2	4
214	IPE300	Brace	0,942906	PMM	LRFD5	10,26911
215	IPE300	Brace	0,942958	PMM	LRFD5	0,09421
216	HE200A	Column	0,118961	PMM	LRFD3	4
217	UPN160	Beam	0,151258	PMM	LRFD3	2
218	UPN160	Beam	0,239448	PMM	LRFD3	2
219	UPN160	Beam	0,245172	PMM	LRFD3	2
220	UPN160	Beam	0,238933	PMM	LRFD2	2
221	UPN160	Beam	0,253837	PMM	LRFD5	2
222	UPN160	Beam	0,24989	PMM	LRFD2	2
223	UPN160	Beam	0,251689	PMM	LRFD2	2
224	UPN160	Beam	0,238608	PMM	LRFD2	2
225	UPN160	Beam	0,241735	PMM	LRFD2	2
226	UPN160	Beam	0,245657	PMM	LRFD2	2
227	UPN160	Beam	0,494335	PMM	LRFD4	0
228	UPN160	Beam	0,495648	PMM	LRFD4	0

229	UPN160	Beam	0,245657	PMM	LRFD3	2
230	UPN160	Beam	0,241735	PMM	LRFD3	2
231	UPN160	Beam	0,238608	PMM	LRFD3	2
232	UPN160	Beam	0,251689	PMM	LRFD3	2
233	UPN160	Beam	0,24989	PMM	LRFD3	2
234	UPN160	Beam	0,251539	PMM	LRFD5	2
235	UPN160	Beam	0,238933	PMM	LRFD3	2
236	UPN160	Beam	0,245172	PMM	LRFD2	2
237	UPN160	Beam	0,239448	PMM	LRFD2	2
238	UPN160	Beam	0,151258	PMM	LRFD2	2
239	BORU114K5mm	Brace	0,200396	PMM	DEPREM4	0
240	BORU114K5mm	Brace	0,254235	PMM	DEPREM3	2,75174
241	BORU114K5mm	Brace	0,10028	PMM	DEPREM8	2,75174
242	BORU114K5mm	Brace	0,269118	PMM	DEPREM3	2,82843
243	BORU114K5mm	Beam	0,097786	PMM	ASD5	4
244	BORU114K5mm	Brace	0,200396	PMM	DEPREM4	0
245	BORU114K5mm	Brace	0,254235	PMM	DEPREM3	2,75174
246	BORU114K5mm	Brace	0,10028	PMM	DEPREM8	2,75174
247	BORU114K5mm	Brace	0,269118	PMM	DEPREM3	2,82843
248	BORU114K5mm	Beam	0,097786	PMM	ASD4	4
249	BORU139K8mm	Brace	0,138944	PMM	LRFD4	3,27298
250	BORU139K8mm	Brace	0,606974	PMM	LRFD5	3,27298
251	BORU139K8mm	Brace	0,146832	PMM	LRFD3	3,27298
252	BORU139K8mm	Brace	0,456706	PMM	LRFD3	3,27298
253	BORU139K8mm	Brace	0,138781	PMM	LRFD2	3,27298
254	BORU139K8mm	Brace	0,60656	PMM	LRFD2	3,27298
255	BORU139K8mm	Brace	0,146832	PMM	LRFD2	3,27298
256	BORU139K8mm	Brace	0,456706	PMM	LRFD2	3,27298
257	HE200A	Column	0,450201	PMM	DEPREM5	8,868
258	HE200A	Column	0,312438	PMM	LRFD4	9,956
259	HE200A	Column	0,312494	PMM	LRFD4	9,956
260	HE200A	Column	0,450201	PMM	DEPREM6	8,868
261	HE140A	Beam	0,047423	PMM	LRFD5	2
262	BORU114K5mm	Brace	0,598379	PMM	LRFD3	3,15029
263	BORU114K5mm	Brace	0,285515	PMM	DEPREM5	2,82843
264	BORU114K5mm	Beam	0,051721	PMM	LRFD4	2
265	BORU114K5mm	Brace	0,404928	PMM	DEPREM2	2,82843
266	BORU114K5mm	Brace	0,13131	PMM	LRFD3	2,75174
267	BORU114K5mm	Brace	0,598379	PMM	LRFD2	3,15029
268	BORU114K5mm	Beam	0,051666	PMM	LRFD4	2
269	BORU114K5mm	Brace	0,285515	PMM	DEPREM6	2,82843
270	BORU114K5mm	Brace	0,13131	PMM	LRFD2	2,75174
271	BORU114K5mm	Brace	0,404928	PMM	DEPREM1	2,82843
272	BORU114K5mm	Beam	0,095429	PMM	LRFD5	2
273	BORU114K5mm	Beam	0,095429	PMM	LRFD5	2

6	BORU139K8mm	Brace	0,091495	PMM	DEPREM4	3,27298
7	BORU139K8mm	Brace	0,389511	PMM	LRFD5	3,27298
8	BORU139K8mm	Brace	0,391621	PMM	LRFD5	3,27298
9	BORU139K8mm	Brace	0,092667	PMM	LRFD4	3,27298
11	BORU139K8mm	Brace	0,091495	PMM	DEPREM4	3,27298
12	BORU139K8mm	Brace	0,388575	PMM	LRFD5	3,27298
13	BORU139K8mm	Brace	0,392577	PMM	LRFD5	3,27298
19	BORU139K8mm	Brace	0,092016	PMM	LRFD4	3,27298
20	BORU114K5mm	Brace	0,201796	PMM	DEPREM4	0
21	BORU114K5mm	Brace	0,105207	PMM	DEPREM7	2,75174
22	BORU114K5mm	Brace	0,105185	PMM	DEPREM8	2,75174
23	BORU114K5mm	Brace	0,201719	PMM	DEPREM3	5,65685
24	BORU114K5mm	Brace	0,201796	PMM	DEPREM4	0
25	BORU114K5mm	Brace	0,105207	PMM	DEPREM7	2,75174
28	BORU114K5mm	Brace	0,105185	PMM	DEPREM8	2,75174
29	BORU114K5mm	Brace	0,201719	PMM	DEPREM3	5,65685
30	BORU139K8mm	Brace	0,572004	PMM	LRFD5	3,27298
31	BORU139K8mm	Brace	0,135555	PMM	LRFD5	3,27298
32	BORU139K8mm	Brace	0,572462	PMM	LRFD5	3,27298
33	BORU139K8mm	Brace	0,13561	PMM	LRFD5	3,27298
34	BORU139K8mm	Brace	0,135044	PMM	LRFD3	3,27298
35	BORU139K8mm	Brace	0,566252	PMM	LRFD4	3,27298
36	BORU139K8mm	Brace	0,135044	PMM	LRFD2	3,27298
37	BORU139K8mm	Brace	0,567038	PMM	LRFD4	3,27298



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : İlkem Dönmez
Doğum Yeri ve Tarihi : Kırşehir, 1981
E-Posta : ilkemdonmez@gmail.com,
ilkemdonmez@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2006, CBÜ (Manisa) İnşaat Mühendisliği