

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GENİŞ AÇIKLIKLI VE MAKAS KİRİŞLİ ÇELİK BİR ALIŞVERİŞ MERKEZİ
YAPISININ İLGİLİ TÜRK STANDARTLARI İLE AVRUPA STANDARTLARI
UYARINCA AYRI AYRI BOYUTLANDIRILIP KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali DEMİR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

OCAK 2012

**GENİŞ AÇIKLIKLI VE MAKAS KİRİŞLİ ÇELİK BİR ALIŞVERİŞ MERKEZİ
YAPISININ İLGİLİ TÜRK STANDARTLARI İLE AVRUPA STANDARTLARI
UYARINCA AYRI AYRI BOYUTLANDIRILIP KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ali DEMİR
(501091089)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

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

Teslim Tarihi: 27 Ocak 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091089 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi **Ali DEMİR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GENİŞ AÇIKLIKLI VE MAKAS KİRİŞLİ ÇELİK BİR ALIŞVERİŞ MERKEZİ YAPISININ İLGİLİ TÜRK STANDARTLARI İLE AVRUPA STANDARTLARI UYARINCA AYRI AYRI BOYUTLANDIRILIP KARŞILAŞTIRILMASI**” başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Y. Doç. Dr. Barlas Özden Çağlayan**
İstanbul Teknik Üniversitesi

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

Y. Doç. Dr. Meltem Şahin
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Teslim Tarihi : **22 Kasım 2011**
Savunma Tarihi : **27 Ocak 2012**

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında kıymetli bilgi ve tecrübeleri ile destek olarak her aşamada yön gösteren sayın hocam Yar. Doç. Dr. Barlas Özden Çağlayan'a, hiçbir konuda yardım ve desteklerini esirgemeyerek bu süreç boyunca yanımda olan iş arkadaşlarıma, çalışmamın sonuna kadar arkamda duran şirket yetkilim Syed Ateeq Ahmad'a, her anımda yanımda olan ve beni güçlü kılan sevdiklerim Elif Özdal'a, anneme, babama ve değerli kardeşlerime teşekkür ederim.

Şubat 2012

Ali Demir

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 İlgili Avrupa Standartları.....	4
1.2 İlgili Türk Standartları ve Yönetmelikleri	4
2. GENİŞ AÇIKLIKLI VE MAKAS KİRİŞLİ ÇELİK BİR ALIŞVERİŞ MERKEZİ YAPISININ İLGİLİ TÜRK STANDARTLARI İLE AVRUPA STANDARTLARI UYARINCA AYRI AYRI BOYUTLANDIRILIP KARŞILAŞTIRILMASI	7
2.1 Statik Sistem.....	7
2.2 Hesap Yöntemi	8
3. YAPININ İLGİLİ AVRUPA STANDARTLARI UYARINCA BOYUTLANDIRILMASI	9
3.1 Boyutlandırma Esasları	9
3.1.1 Genel prensipler	9
3.1.2 Tasarımda kullanılan katsayılar ve dayanım değerleri.....	10
3.2 Yükler.....	11
3.2.1 Zati yükler	11
3.2.1.1 Döşeme zati yükleri.....	11
3.2.1.2 Cephe zati yükleri	11
3.2.2 Hareketli yükler.....	11
3.2.2.1 Döşeme hareketli yükü.....	11
3.2.2.2 Kar yükü.....	12
3.2.2.3 Rüzgar yükü	12
3.2.2.4 Deprem ile ilgili parametreler	25
3.2.2.5 Isı değişiminden kaynaklanan etkiler	27
3.3 Kombinasyonlar	27
3.3.1 Taşıma gücü kombinasyonları	27
3.3.2 Servis durumu kombinasyonları	28
3.4 Yapısal Elemanların Boyutlandırılması	28
3.4.1 Ara kat döşeme kirişlerinin boyutlandırılması	29
3.4.1.1 Döşeme kirişinin basit kiriş olarak tasarlanması.....	29
3.4.1.2 Döşeme kirişinin sürekli kiriş olarak tasarlanması	32
3.4.1.3 Döşeme kirişinin kompozit kiriş olarak tasarlanması	34
3.4.1.4 Döşeme kirişlerinin karşılaştırılması.....	39
3.4.2 Çatı katı döşeme kirişlerinin boyutlandırılması	40
3.4.3 Kuşakların boyutlandırılması	42

3.4.4	Makas kiriş elemanlarının boyutlandırılması	51
3.4.4.1	Makas kiriş dikmesinin boyutlandırılması	51
3.4.4.2	Makas kiriş diyagonalinin boyutlandırılması	52
3.4.4.3	Makas kirişi üst başlığının boyutlandırılması	52
3.4.4.4	Makas kirişi alt başlığının boyutlandırılması	56
3.4.4.5	Kolon boyutlandırılması.....	60
3.5	Kat Ötelenmelerinin Kontrolü	65
4.	YAPININ TÜRK STANDARTLARI UYARINCA	
BOYUTLANDIRILMASI	67	
4.1	Boyutlandırma Esasları	67
4.1.1	Genel prensipler	67
4.1.2	Tasarımda kullanılan katsayılar ve dayanım değerleri	67
4.2	Yükler.....	68
4.2.1	Zati Yükler	68
4.2.1.1	Döşeme zati yükleri.....	68
4.2.1.2	Cephe zati yükleri.....	68
4.2.2	Hareketli yükler.....	68
4.2.2.1	Döşeme hareketli yükü.....	68
4.2.2.2	Kar yükü	69
4.2.2.3	Rüzgar yükü	69
4.2.2.4	Deprem ile ilgili parametreler	70
4.2.2.5	Isı değişiminden kaynaklanan etkiler	71
4.3	Kombinasyonlar	71
4.4	Yapısal Elemanların Boyutlandırılması.....	72
4.4.1	Ara kat döşeme kirişlerinin boyutlandırılması	73
4.4.1.1	Döşeme kirişinin basit kiriş olarak tasarlanması.....	73
4.4.1.2	Döşeme kirişinin sürekli kiriş olarak tasarlanması	74
4.4.1.3	Döşeme kirişinin kompozit kiriş olarak tasarlanması	76
4.4.1.4	Döşeme kirişlerinin karşılaştırılması.....	81
4.4.2	Çatı katı döşeme kirişlerinin boyutlandırılması	81
4.4.3	Kuşakların boyutlandırılması	84
4.4.4	Makas kiriş elemanlarının boyutlandırılması	87
4.4.4.1	Makas kiriş dikmesinin boyutlandırılması	87
4.4.4.2	Makas kiriş diyagonalinin boyutlandırılması	87
4.4.4.3	Makas kirişi üst başlığının boyutlandırılması	87
4.4.4.4	Makas kirişi alt başlığının boyutlandırılması	89
4.4.4.5	Kolon boyutlandırılması.....	90
4.5	Kat Ötelenmelerinin Kontrolü	93
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
5.1	Deprem Sonuçlarının Değerlendirilmesi	95
5.1.1	Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması	95
5.2	Tasarım Sonuçlarının Değerlendirilmesi	96
5.3	Yapısal Çelik Elemanlarının Ağırlık Karşılaştırması	97
KAYNAKLAR.....	99	
ÖZGEÇMİŞ.....	101	

KISALTMALAR

DBYBHY	: Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
TS	: Türk Standartları
AS	: Avrupa Standartları
TEC	: Turkish Earthquake Code

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

ÇİZELGE 1.1: Kullanılan Avrupa standartları.....	4
ÇİZELGE 1.2: Kullanılan Türk standart ve yönetmelikleri.	5
ÇİZELGE 3.1: Malzeme akma ve kopma dayanımları.	10
ÇİZELGE 3.2: Enkesit sınıflarına göre dayanım hesaplama esasları.....	10
ÇİZELGE 3.3: Düşey cephe dış basınç katsayıları - $\pm x$ yönü.	14
ÇİZELGE 3.4: Düşey cephe dış basınç katsayıları - $\pm Y$ Yönü.	14
ÇİZELGE 3.5: Çatı dış basınç katsayıları - $\pm X$ Yönü.	15
ÇİZELGE 3.6: Çatı dış basınç katsayıları - $\pm Y$ Yönü.	17
ÇİZELGE 3.7: Cephe rüzgar kuvvetleri - $\pm X$ Yönü.....	20
ÇİZELGE 3.8: Cephe rüzgar kuvvetleri - $\pm Y$ Yönü.....	21
ÇİZELGE 3.9: Çatı rüzgar kuvvetleri - $\pm X$ Yönü.	21
ÇİZELGE 3.10: Çatı rüzgar kuvvetleri - $\pm Y$ yönü.	21
ÇİZELGE 3.11: $C_{pi} = + 0,2$ iken rüzgar kuvvetlerinin süperpozisyonu - $\pm X$ Yönü....	23
ÇİZELGE 3.12: $C_{pi} = - 0,3$ iken rüzgar kuvvetlerinin süperpozisyonu - $\pm X$ Yönü.....	23
ÇİZELGE 3.13: $C_{pi} = + 0,2$ iken rüzgar kuvvetlerinin süperpozisyonu - $\pm Y$ Yönü....	24
ÇİZELGE 3.14: $C_{pi} = - 0,3$ iken rüzgar kuvvetlerinin süperpozisyonu - $\pm Y$ Yönü.....	24
ÇİZELGE 3.15: Eurocode - spektrum grafiği parametreleri.	26
ÇİZELGE 3.16: Eurocode analiz modeli - Kat ötelenmelerinin kontrolü.....	65
ÇİZELGE 4.1: Yapısal çelik dayanım değerleri.....	67
ÇİZELGE 4.2: Yükseklikle değişen rüzgar basınç değerleri.....	69
ÇİZELGE 4.3: Türk standartları analiz modeli - Kat ötelenmelerinin kontrolü.....	93
ÇİZELGE 5.1: Yapı toplam kesme kuvvetleri.	95
ÇİZELGE 5.2: T.S. eşdeğer deprem yükü ile taban kesme kuvvetleri.	96
ÇİZELGE 5.3: A.S. eşdeğer deprem yükü ile taban kesme kuvvetleri.....	96
ÇİZELGE 5.4: Yapısal eleman gruplarının ortalama tasarım oranları.	96
ÇİZELGE 5.5 : Tasarım sonuçları - Ağırlık karşılaştırmaları.	97

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

ŞEKİL 1.1: Çelik üretimi - kimyasal bileşim aşaması.	2
ŞEKİL 1.2: Çelik üretimi - nihai hadde ürünü.	2
ŞEKİL 2.1: Yapının 3 boyutlu görünüşü.	7
ŞEKİL 3.1: Eurocode rüzgar yükleri standardı - Cephe rüzgar etki alanları.	13
ŞEKİL 3.2: Cepheye etkiyen rüzgarın etki alanları (x yönü).	14
ŞEKİL 3.3: Cepheye etkiyen rüzgarın etki alanları (Y yönü).	15
ŞEKİL 3.4: Eurocode rüzgar yükleri standardı - Çatı rüzgar etki alanları.	16
ŞEKİL 3.5: Çatıya etkiyen rüzgarın etki alanları (X yönü).	16
ŞEKİL 3.6: Çatıya etkiyen rüzgarın etki alanları (y yönü).	17
ŞEKİL 3.7: Rüzgar etkisi altında iç-dış basınç temsilleri.	18
ŞEKİL 3.8: Hız kaynaklı rüzgar basıncı profili.	19
ŞEKİL 3.9: Maruz kalma katsayısı.	20
ŞEKİL 3.10: İç basınç kuvvetleri - basınç.	22
ŞEKİL 3.11: İç basınç kuvvetleri - emme.	22
ŞEKİL 3.12: Eurocode spektrum katsayısı grafiği.	26
ŞEKİL 3.13: Profil enkesit sınıfı hesabı - gövde bölgesi.	30
ŞEKİL 3.14: Profil enkesit sınıfı hesabı - başlık bölgesi.	30
ŞEKİL 3.15: Sürekli kiriş için yükleme halleri.	32
ŞEKİL 3.16: Kompozit döşeme kirişi kesit görünüşü.	37
ŞEKİL 4.1: TS 498 uyarınca rüzgarın yapıya etkisi.	69
ŞEKİL 4.2: DBYBHY uyarınca elastik ivme spektrum grafiği.	70
ŞEKİL 4.3: Yükleme halleri.	75

SEMBOL LİSTESİ

A	: Enkesit alanı
A_{fr}	: Rüzgarın yaladığı alan
A_{ref}	: Referans alan
A_v	: Kesme bölgesi
A₀	: Etkin yer ivmesi katsayısı
a_g	: Etkin yer ivmesi
b	: Genişlik
b_{eff}	: Etkili Genişlik
C_e	: Maruz kalma katsayısı (Kar yükü ile ilgili)
C_t	: Isısal katsayı
C_{dir}	: Yön katsayısı
C_{season}	: Mevsim katsayısı
C_{e(z)}	: Maruz kalma katsayısı (Rüzgar etkileri ile ilgili)
C_p	: Basınç katsayısı
C_{fr}	: Sürtünme katsayısı
c	: Yerel burkulma sırasında etkili gövde veya başlık uzunluğu
C_{mi}	: Belirtilen yön için eşdeğer düzgün moment katsayısı
C_b	: Moment değişiminin burkulma üzerindeki etkisini belirleyen bir katsayı
E	: Elastisite modülü
F_w	: Toplam Rüzgar Kuvveti
f_y	: Çeliğin akma dayanımı
f_u	: Çeliğin kopma dayanımı
g	: Yerçekimi ivmesi
G	: Zati ağırlık
G	: Çeliğin kayma modülü
g	: Yayılı zati ağırlık
G_A	: Çerçevelerdeki kolonların burkulma hesabında kullanılan bir katsayı
G_B	: Çerçevelerdeki kolonların burkulma hesabında kullanılan bir katsayı
h	: Yükseklik
I	: Bina önem katsayısı
I_{i-i}	: Belirtilen eksen etrafında kesitin atalet momenti
I_T	: St. Venant burulma katsayısı
I_w	: Dönme katsayısı
i	: Atalet yarıçapı
i₀	: Minimum atalet yarıçapı
i_y	: Yanal burkulmaya maruz kesitin atalet yarıçapı
K_{i-i}	: Makas kirişine ait eşdeğer rijitlik
k_{y-y}	: Etkileşim faktörü
k_{y-z}	: Etkileşim faktörü
k_{z-y}	: Etkileşim faktörü
k_{z-z}	: Etkileşim faktörü
L	: Uzunluk
L_{cr}	: Tasarıma ilişkin kritik uzunluk

M_{ed}	: Tasarım eğilme momenti değeri
$M_{b,RD}$	: Burkulmaya karşı tasarım moment dayanımı
M_{Rk}	: Karakteristik moment dayanımı
$M_{pl,Rd}$	: Kesitin plastik moment dayanımı
$M_{i,Rd}$	: Kesitin moment dayanımı
M_{cr}	: Yanal burkulmaya karşı kritik elastik moment değeri
$N_{cr,i}$	: Kritik elastik burkulma yükü
$N_{pl,Rd}$	: Kesitin aksenal yüke karşı plastik dayanımı
$N_{c,Rd}$	: Kesitin aksenal yüke karşı dayanımı
N_{ed}	: Tasarım aksenal yük değeri
N_{Rk}	: Aksenal yüke karşı karakteristik dayanım
P_k	: Kar yükü hesap değeri
Q	: Hareketli yük
q	: Yayılı hareketli yük
q	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
q_b	: Referans ortalama hız kaynaklı rüzgar basıncı
q_p	: Tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
S	: Zemin faktörü
$S(T)$	: Spektrum katsayısı
$S_{Ae}(T)$	: Elastik spektral ivme
s	: Çatı kar yükü
s_k	: Karakteristik kar yükü
T	: Periyot
T_A	: Spektrum Karakteristik Periyotları
T_B	: Spektrum Karakteristik Periyotları
T_C	: Spektrum Karakteristik Periyotları
T_D	: Spektrum Karakteristik Periyotları
t_g	: Gövde kalınlığı
t_f	: Başlık kalınlığı
v_b	: Esas rüzgar hızı
v_{b0}	: Esas rüzgar hızının temel değeri
V_{sd}	: Tasarım kesme kuvveti değeri
$V_{pl,Rd}$	: Plastik kesme kuvveti dayanımı
$W_{el,i-i}$	: Belirtilen yönde elastik mukavemet momenti değeri
W_{eff}	: Etkili mukavemet momenti
$W_{pl,i-i}$	: Plastik mukavemet momenti değeri
w	: Rüzgar basıncı
w_e	: Dış yüzeylere etkiyen rüzgar basıncı
w_i	: İç yüzeylere etkiyen rüzgar basıncı
z_e	: Dış rüzgar etkisi için referans yükseklik
σ_B	: Yalnız eğilme momenti etkisi altında müsaade edilecek basınç eğilme gerilmesi
σ_{bem}	: Yalnız basınç kuvveti altında müsaade edilecek basınç gerilmesi
σ_b	: Yalnız eğilme momenti etkisi altında hesaplanan basınç gerilmesi
σ_{eb}	: Yalnız basınç kuvveti altında hesaplanan gerilme
γ_{m0}	: Genel kısmi faktör
γ_{m1}	: Özel kısmi faktör
γ_1	: Bina önem katsayısı
η	: Sönüm düzeltme katsayısı

Ψ_2	: Hareketli yük katılım katsayısı
ε	: Çelik uzama değeri
χ	: Dayanım azaltma faktörü
χ_{LT}	: Burulmalı burkulma hesabında dayanım azaltma faktörü
λ	: Narinlik
λ_1	: Rölatif narinlik hesabında kullanılan narinlik değeri
λ_{LT}	: Yanal burkulma hesabında kullanılan narinlik değeri
β	: Yanal burkulma eğrisi düzeltme faktörü
α_{LT}	: Kusur faktörü
Φ	: χ_{LT} hesabında kullanılan bir değer
μ_y	: Eğilme ve basınç altında kesit tasarımında kullanılan bir katsayı
μ_z	: Eğilme ve basınç altında kesit tasarımında kullanılan bir katsayı
C_{y-y}	: Eğilme ve basınç altında kesit tasarımında kullanılan bir katsayı
C_{y-z}	: Eğilme ve basınç altında kesit tasarımında kullanılan bir katsayı
C_{z-y}	: Eğilme ve basınç altında kesit tasarımında kullanılan bir katsayı
C_{z-z}	: Eğilme ve basınç altında kesit tasarımında kullanılan bir katsayı
w_y	: Eğilme ve basınç altında kesit tasarımında kullanılan bir katsayı
w_z	: Eğilme ve basınç altında kesit tasarımında kullanılan bir katsayı

GENİŞ AÇIKLIKLI VE MAKAS KİRİŞLİ ÇELİK BİR ALIŞVERİŞ MERKEZİ YAPISININ İLGİLİ TÜRK STANDARTLARI İLE AVRUPA STANDARTLARI UYARINCA AYRI AYRI BOYUTLANDIRILIP KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışma lisansüstü tezi olarak hazırlanmış olup, geniş açıklıklara sahip çelik bir alışveriş merkezi yapısının hem ilgili Avrupa Standartlarına hem de ilgili Türk Standartlarına uyularak boyutlandırılmasını kapsamaktadır. Bu tez çalışmasının amacı, farklı tasarım prensiplerini benimsemiş olan standartlar ve yönetmelikler uyarınca statik ve dinamik analizleri yapılan yapının yine bu standart ve yönetmelikler uyarınca tasarımının yapılması ve tasarım sonu yapı ağırlıklarının karşılaştırılmasıdır.

Yapının boyutlandırılmasında kullanılan yönetmeliklere dair genel bakış birinci bölümde verilmiştir. Bunun yanında çeliğin yapısal malzeme olarak tarihteki gelişimi, buna bağlı olarak çelik yapıların giderek artan avantajları ile birlikte günümüzdeki tasarım gereksinimlerinden yine bu bölümde bahsedilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise ele alınan çelik yapının geometrisine ve statik sistemine ait detaylar verilmiştir. Bunun yanında genel hesap esaslarından ve kabullerinden, hesapta kullanılan analiz programından bu bölümde bahsedilmiştir.

Üçüncü ve dördüncü bölüm sırasıyla Avrupa Standartları ve Türk Standartları uyarınca yapılan boyutlandırma adımlarını içermektedir. Bu bölümlerde ilgili standartların genel tasarım prensipleri sunulmuştur. Yine yapı hesabında kullanılacak ölü ve hareketli yük değerleri ve bölge karakteristik değerleri üzerinden hesaplanan rüzgar ve deprem gibi hareketli etkiler bu bölümlerde detaylı olarak tanımlanmıştır. Betonarme döşeme mesnedi olarak teşkil edilen kat kirişleri tanımlanan yükler altında basit kiriş, sürekli kiriş ve kompozit kiriş olarak ayrı ayrı boyutlandırılmış ve bu üç teşkilin sonuçları ekonomi yönünden karşılaştırılmıştır. Kat kirişlerinin yanında kuşakların da düşey yükler ve rüzgar etkileri altında kesit tesirleri hesaplanmış ve tasarımları yapılmıştır.

Yine üçüncü ve dördüncü bölümlerin devamında yapısal analizi ComoSYS adlı analiz ve tasarım programı ile yapılan yapının makas kirişlerinden ve kolonlarından örnek elemanlar seçilmiştir. Seçilen elemanlar her iki standart çözümü için aynı elemanlar olup, tasarımda esas alınacak kesit tesirleri analiz modelinden alınmış ve seçilen kesitler elle tahkik edilmiştir. Elle yapılan tahkik sonucu bulunan gerilme oranları, program tarafından bulunan gerilme oranları ile karşılaştırılmış ve sonuçların neredeyse aynı oldukları gösterilmiştir. Burada hem taşıyıcı eleman sınıflarından seçilen örneklerin detaylı tasarım hesaplarının gösterilmesi hem de tüm yapının boyutlandırılmasında kullanılan analiz ve tasarım programının doğru sonuçlar verdiğinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

Sonuç bölümü kapsamında ise farklı standartlar altında ayrı ayrı boyutlandırılan yapının iki duruma ait bir takım sonuç verileri sunulmuş, yapılar ağırlık yönünden karşılaştırılmış ve bu sonuçlar yorumlanmıştır.

DESIGNING AND COMPARING OF A LONG SPAN AND TRUSS GIRDER STEEL SHOPPING CENTER STRUCTURE ACCORDING TO RELATED TURKISH CODES AND RELATED EUROPEAN CODES

SUMMARY

Scope of this master degree thesis is designing of a steel structure according to related European and Turkish codes individually. This steel structure is designed as a shopping center which have long spans and moment resisting truss girders as a static system. Turkish codes belong to design of steel structures are based on allowable stress design. General principle of allowable stress design is obtaining a factor by reducing structural material resistance and increase actions on structures. By multiplying yield strength with this factor, allowable stress for design criteria can be determined. Subsequently structures are designed under concerned actions with allowable stress. On the other hand European codes, called Eurocode series, belong to design of steel structures are based on plastic design principles. According to these principles, yield strength of materials is used for design but actions on structures are multiplied by factors given in the related code. Detailed design steps of the building according to these codes and differences between the results can be find in this study. Aim of this study can be defined that comparing weight of structural elements and total weight of the structure as a result of two analysis and design process according to European and Turkish codes which have different principles, methods and rules. Besides European codes had been accepted and issued by Turkish Standards Institution as a reference codes. Thus, differences between national standards and newly issued standards are wanted to be shown by this study.

In the first chapter, general information is given about development of steel production and steel structures in the history. Advantages of steel structures and useful properties of steel as a structural material are also mentioned in this part of the study. Besides, general information about usages and scopes of European codes and Turkish codes is given and evaluated in this chapter. For the design of the structure according to European codes, EN 1990, TS EN 1991-1-1, TS EN 1991-1-4, EN 1991-1-3, TS EN 1993-1-1 and TS EN 1998-1 standards are used. Scope of these standards are respectively "Basis of structural design", "Actions on structures - General actions", "Wind actions", "Snow actions", "Design of steel structures", "Design of structures for earthquake resistance". And Turkish standards used in the design are TS 498, TS 648, TEC 2007, İMO-02. Scope of these standards are respectively "Design values of loads for designing structural elements", "Design Rules of Steel Structures", "Turkish Earthquake Code", "Design Rules of Steel Structures by Civil Engineers Chamber".

In the second chapter, geometric and static data of the structure, designed in this study, are presented. Structural type of the building is moment frames which are formed as truss girders in each two direction. Column bases are designed as pinned support in order not to transfer bending moment effects to reinforcement concrete columns. Plan dimensions of the building is 119 m x 92.3 m. In the long direction

spans are equal to each other and lengths of these 7 spans are 17 meters. In the short direction 5 spans exist and lengths of the spans are variable from 14.3 meters to 21 meters. Concrete deck is provided at each three elevations of the building as a floor. Horizontal stability of the floors are also provided by these concrete decks. In the analysis model horizontal bracings are used instead of defining shell elements so as to obtain axial loads of the structural elements in plane. Besides, considered design principles and acceptances in order to provide fair and true comparison between two design model, are given in this part of the study.

In the third chapter, detailed design process of the structure is presented according to the related European codes. As mentioned before, European codes belong to design of steel structures are based on plastic design principles and allow to use yield strength of the material for section design. However sections will be used in design, should be compact enough to reach yield strength without any local failures such as lateral buckling, torsional buckling and corrugation. So as to provide these conditions in general, related code (EN 1991-1, "Design of Steel Structures) restricts flange and web dimensions and gives classifications of sections. According to these classification, 4 class is defined for sections. Whenever designers prefer sections in class 1 and class 2, yield strength of the material can be used for the design, otherwise code reduces the limit strength and plastic design principle lose its advantage against allowable stress design. While designing a structure with the principles of Eurocode, another advantage is using plastic section modulus for design under bending moment effects.

And also dead and live loads are defined so as to apply to floors of the building in the third chapter. And other loads and actions such as wind, temperature, snow and earthquake are defined by using characteristic parameters of the region. According to related code (EN 1990 - Basis of structural design) two types of combinations called ULS and SLS are required. ULS combinations are defined for ultimate limit state design. SLS combinations are defined for serviceability limit state design. As a part of design process, detailed calculations and section designs of floor beams and girts are given. Loads on these frames are combined according to uls and sls combination types and section forces are calculated. Floor beams are designed as simple beam, continuous beam and composite beam individually and a weight comparison is shown between these three situation. Calculations and designs of main structural elements are done by ComoSYS analysis and design software. Typical section design calculations are made and shown in this part for columns, truss top chord, truss bottom chord and truss diagonal elements in order to provide design examples in this study. Frame forces of these elements are taken from the analysis model. Design results are compared with ComoSYS design results and similarities between the results are shown. Finally inter-storey drift check, according to TS EN 1998-1, is given in a table.

In the fourth chapter, detailed design process of the structure is presented according to the related Turkish codes and Turkish Earthquake Code. Designing of the structure is based on allowable stress design according to TS 648. While designing sections, static and dynamic loads are combined without any amplification factor and these combinations are also used for serviceability criteria. Inconvenient stresses in the sections can be compared with allowable stress in order to design the section. Allowable stress value is obtained by multiplying yield strength of the material with the factor 0,6. In TEC 2007 flange and web dimensions of the sections are restricted for normal ductility and high ductility situations. Dead loads, live loads wind loads

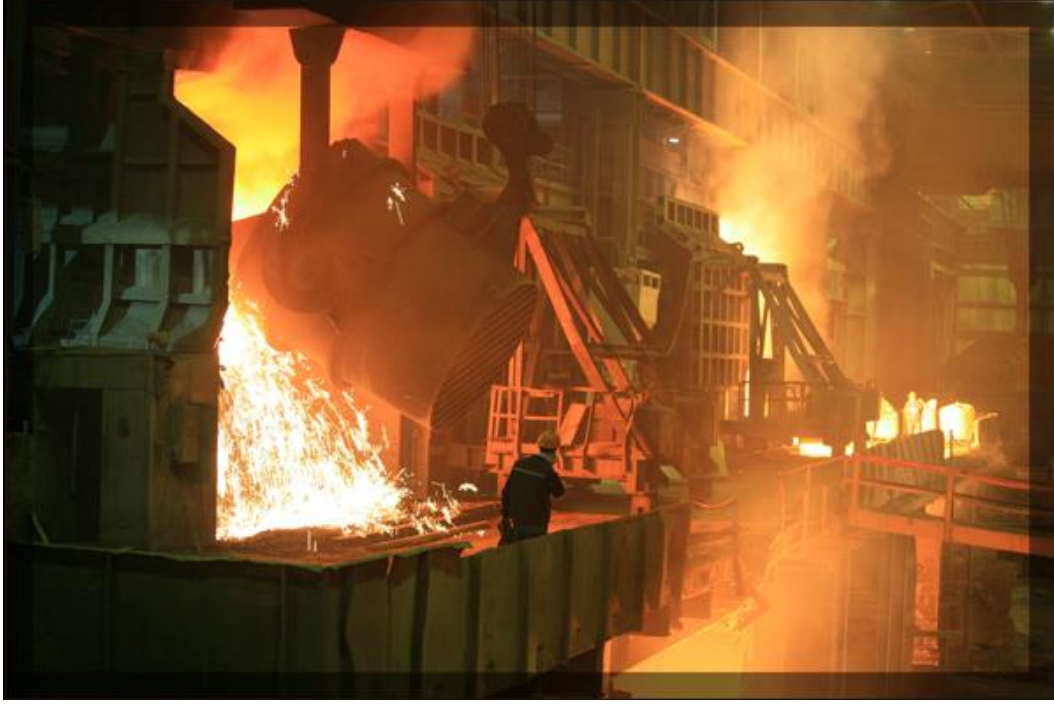
and snow loads are obtained from TS 498. For dynamic analysis of the structure, elastic response spectrum graphic defined belong to region of the building is taken from Turkish Earthquake Code. Floor beams are designed as a simple beam, continuous beam and composite beam individually and a weight comparison is shown between these three situation. Calculations and designs of main structural elements are done by ComoSYS analysis and design software. Typical section design calculations are also made and shown in this part for columns, truss top chord, truss bottom chord and truss diagonal elements in order to provide design examples in this study. Frame forces of these elements are taken from the analysis model. Design results are compared with ComoSYS design results and similarities between the results are shown. Finally inter-storey drift check according to TEC is given in a table.

As a result, dynamic analysis results of the structure, concerned in this study, are shown as total shear forces and periods of the structures which are calculated by using different elastic response spectrum graphics belong to different earthquake codes. As mentioned before, main idea of this study is to compare total weights of the buildings which are designed according to two different design standards. In order to provide fair and true comparison, design ratios of structural elements are limited. Average design ratios of all type structural elements are kept between 0.9 and 1 for each two design models. Average design ratios of structural elements for two design models are given in a table in this chapter. In the final part of the study, total weight of the primary elements and total weight of the structure are given in a table with a comparison between buildings designed under Turkish codes and European codes. As shown in the table, the structure which is designed according to Turkish standards is %27 heavier than the structure which is designed according to European codes. This value is variable for structural element types and % 20 for columns, % 21 for truss diagonal elements, % 35 for truss bottom chords and % 40 for truss top chords. According to the European codes design rules, defining actions on structures, load combinations and designing steps are more complex than Turkish Standards, but design according to the European codes gives more economical results.

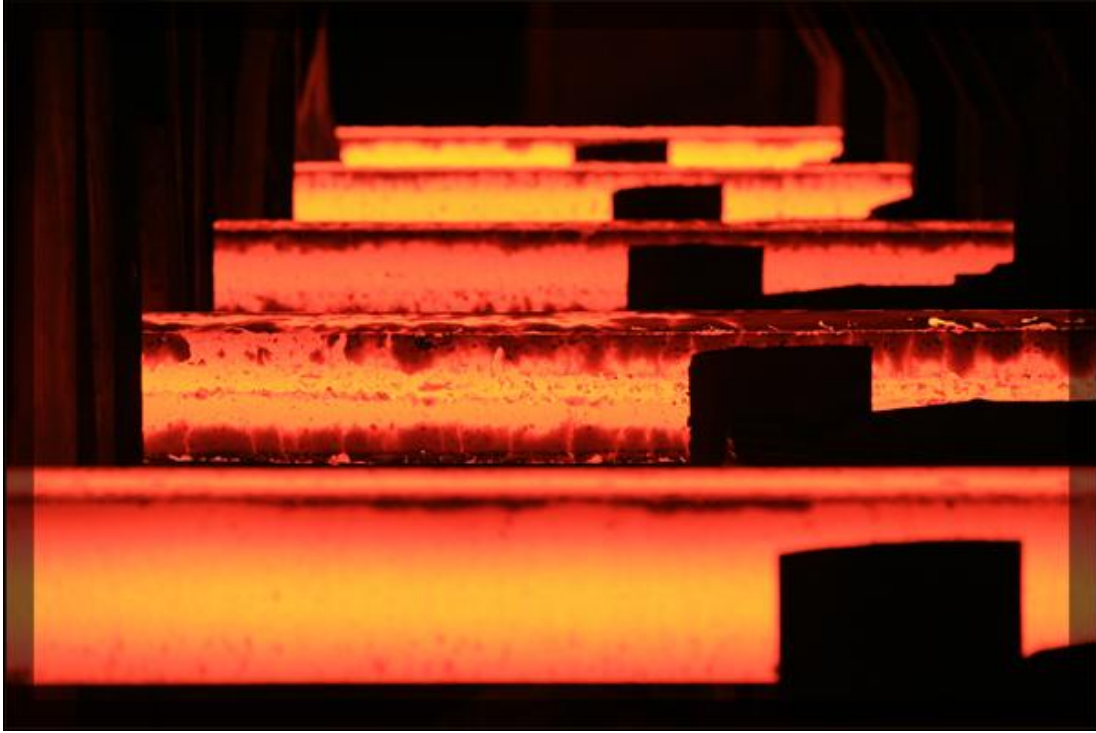
1. GİRİŞ

Yapı malzemesi olarak demirin ve verimli olmayan yollarla alaşımlanarak üretilen çeliğin kullanımı tarihte çok öncelere dayanmaktadır. Ancak 19. yüzyıldan itibaren çelik üretim hızının ve kalitesinin büyük bir hızla artması çeliği hem daha ucuz hem de kalitesi kontrol edilebilir bir yapı malzemesine dönüştürmüştür. Günümüzde dünya yıllık çelik üretimleri milyar tonlarla ifade edilen değerlere kavuşmuş ve bütün dünyanın en büyük ortak sektörlerinden birini oluşturmuştur.

Etkin imalat yollarının gelişmesi, çeliğin sertlik, süneklik, dayanım gibi özelliklerinin ileri düzey araçlarla kontrol edilebilmesi ve istenilen karakterde malzemenin üretilmesi bütün yapı alanlarında çeliği kullanılabilir ve cazip kılmaktadır. Çelik üretiminde en önemli aşamalardan olan kimyasal bileşim aşaması ve nihai hadde ürünü hattı Şekil 1.1 ve Şekil 1.2' de görülmektedir. İşçilik maliyetlerinin nispeten yüksek olmasına karşın atmosfer koşullarından etkilenmeden imalat yapılabilmesi ve yapının montaj süresinin oldukça kısa olması kaliteyi çok yüksek seviyede tutarken proje sürecini kısaltması sayesinde hem operasyon maliyetlerini düşürmekte hem de işletme başlangıcına daha erken müsaade ederek yatırımın daha çabuk geri dönmesine imkan vermektedir. Çeliğin yapısal kullanımı, hafif bir yapı malzemesi olduğu için hem yapıya gelen deprem etkilerini azaltmakta hem de uygun olmayan zemin koşullarında temel ve zemin iyileştirme maliyetlerini düşürmektedir. Öte yandan uygun kesit kullanımında kat yükseklik ve genişliklerinde ciddi anlamda fayda sağlamakta, özellikle büyük yapılarda kullanılabilir hacimde önemli bir artış sağlamaktadır. Yapıya ait diğer tesisat elemanlarının betonarmeye hapsedilmeksizin çelik elemanlara monte edilen kanallardan geçirilmesi, mimari açıdan bu kanalların sökülebilir asma tavanlarla kolaylıkla gizlenebilmesi hem tesisat bakımını hem de yapısal takviyeleri kolaylaştıran etkenlerdir.



Şekil 1.1: Çelik üretimi - Kimyasal bileşim aşaması.



Şekil 1.2: Çelik üretimi - Nihai hadde ürünü.

Günümüzde çelik kullanımını daha avantajlı hale getiren bir diğer sistem ise kompozit yapı sistemleridir. Çelik ile betonarmenin avantajlarını bir araya getirilmesi esasıyla, hafif betonarme takviyelerle çelik kesitlerin oldukça küçültülmesine olanak sağlayan ve ekonomik çözümler sunan kompozit sistemlere bu tez kapsamında da yer

verilmiş, döşemelerin çelik veya kompozit olarak tasarlandığında ne ölçüde ekonomik sağlandığı gösterilmeye çalışılmıştır.

Çelik yapı tek başına bu avantajları sunarken çelik yapı tasarımı ise üst düzey mühendislik gerektiren bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Çelik yapıların tasarımında kullanılan çelik profiller tüm dünyada belli standartlarla belirlenmiş I,U,L geometrisinde kesitlerin yanında kare,dikdörtgen ve dairesel geometride boru kesitler ve dolu kesitli çelik çubuklar yapı mühendislerinin kullanımına sunulmuştur. Oldukça geniş mimari tasarımlara imkan sunan çelik malzemesi, özel mimari tasarımlar gereği veya kesit kapasitesi gereği belirlenmiş özel kesitlere sahip profiller yassı mamul adı verilen levhaların soğuk şekillendirilmesi ile kullanıma sunulabilir.

Çelik yapılar, göze alınan yükler, ısı, rüzgar gibi çevresel etkiler altında servis verebilirlik özelliğini kaybetmeyecek, deprem, tsunami gibi büyük şiddette gerçekleşen doğa olaylarına karşı ayakta kalabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Öte yandan çelik yapı tasarımında en az kesit tasarımı kadar önemli olan birleşim tasarımı çok dikkatli bir şekilde yapılmalı, mevcut etkiler altında en az birleştirilmesi amaçlanan kesitler kadar dayanıklı olmalıdır. Bu amaçla ülkeler, yapı tasarımı yapan mühendisler yön göstermesi ve tüm yapılar için ortak bir kalite ve dayanıklılık çitası sağlanabilmesi için üst düzey komisyonlar oluşturmuşlar yapı tasarımına ilişkin yönetmelikler ve standartlar ortaya koymuşlardır.Bu standart ve yönetmeliklerin kapsam düzeyi, güvenilirliği ve ekonomik çözümler sunabiliyor olması hem ülkelerin tasarım alanındaki tecrübelerine hem de bilim ve teknoloji alanındaki gelişmişliğine doğrudan bağlıdır. Çünkü oluşturulan bu standartlar yoğun bilimsel çalışmalar ve deneyler ile beraber yapılan bazı gerçekçi kabullerle ortaya çıkmakta ve mühendisler yorum mecburiyeti bırakmaksızın tasarım yaptırmayı hedeflemektedirler. Tasarım yapan bütün mühendislerin tasarım kabiliyetlerinin kontrolünü sağlamaktansa, ortaya konulan standartlara uyulup uyulmadığının kontrolünü sağlamak çok daha kolay ve etkin bir yöntemdir.

Bu tez kapsamında ele alınan bir çelik yapı, ilgili Türk standartları ve deprem yönetmeliği ile ilgili Avrupa standartları ele alınarak tasarlanmış, verilen örneklerle çelik eleman tasarım yöntemleri gösterilmiş, sonuç olarak ise ortak kabuller altında farklı standartlar ile tasarlanan binanın ağırlık karşılaştırması yapılmıştır.

1.1 İlgili Avrupa Standartları

Avrupa ülkelerinde yapı tasarımı için ortak bir yol çizmeyi amaçlayan bu standartlar serisi, çelik yapıların tasarımı içinde oldukça geniş ve detaylı bir kaynak sunmaktadır. Bu standartlara ek olarak, tasarımlarda kullanılmak üzere Avrupa ülkeleri için ayrı ayrı deprem, rüzgar, kar ve meteorolojik veriler içeren haritalar çıkarılmıştır. Genel tasarım yöntemlerine kolaylıkla adapte edilebilecek olan bu verilerin yanında tasarımda önemli rol oynayan emniyet katsayıları ülkeden ülkeye değişiklik gösterebilmektedir. Tez kapsamında yapılan çalışmalarda özel ülke standartlarına bakılmaksızın, genel standartlarda önerilen değerler kullanılmıştır. Boyutlandırma esasları ile ilgili bilgi Bölüm 3.1'de verilecektir. Bu çalışma kapsamında kullanılan Avrupa standartları Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1: Kullanılan Avrupa standartları.

Standart	Kapsamı
EN 1990	Yapısal Tasarım Temel Esasları
TS EN 1991-1-1	Genel Etkiler, Binaların Zati Ağırlıkları ve Binaların Maruz Kaldığı Diğer Yükler
TS EN 1991-1-4	Rüzgar Etkileri
EN 1991-1-3	Kar Yükleri
TS EN 1993-1-1	Çelik Yapıların Tasarımı - Genel Kurallar
TS EN 1998-1	Depreme Dayanıklı Yapıların Projelendirilmesi Tedbirleri

1.2 İlgili Türk Standartları ve Yönetmelikleri

Türkiye'de boyutlandırılacak olan çelik yapılar için TS 648 adı ile Aralık 1980'de çıkarılmış bir standart bulunmaktadır. Bunun yanı sıra çeşitli yük ve yükleme durumları için TS 498 ve daha detaylı ağırlık bilgileri için alt standartlar bulunmaktadır. Bu standartlara ek olarak uygulama zorunluluğu olan "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" 2007 yılında yürürlüğe girmiştir. Boyutlandırma esasları ile ilgili bilgi Bölüm 4.1'de verilecektir.

Yukarıda bahsi geçen standartların kullanımına ek olarak Türk Standartları Enstitüsü ilgili Avrupa standartlarını da kabul etmiştir. Bir kısmı Türkçeye çevrilen bu standartlar günümüzde kullanımdadırlar. Bu çalışma kapsamında kullanılan Türk standartları Çizelge 1.2'de verilmiştir.

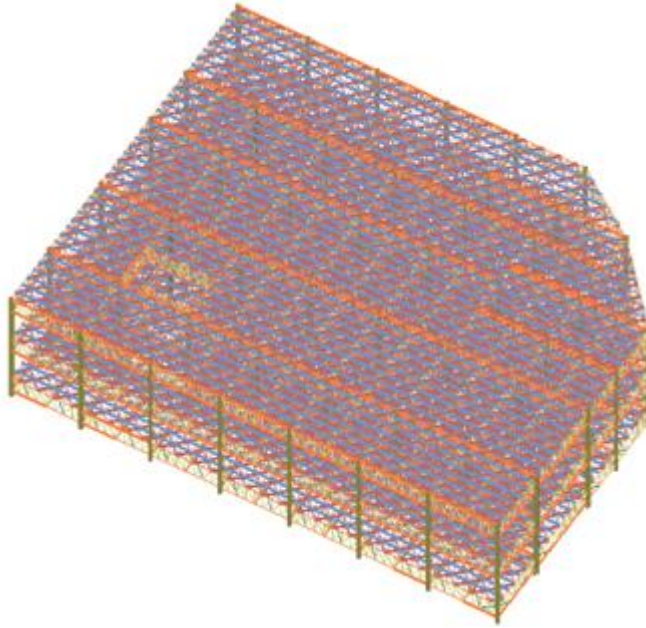
Çizelge 1.2: Kullanılan Türk standart ve yönetmelikleri.

Standart	Kapsamı
TS 498	Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
TS 648	Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
DBYBHY (2007)	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik(2007)
İMO - 02	Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları

2. GENİŞ AÇIKLIKLI VE MAKAS KİRİŞLİ ÇELİK BİR ALIŞVERİŞ MERKEZİ YAPISININ İLGİLİ TÜRK STANDARTLARI İLE AVRUPA STANDARTLARI UYARINCA AYRI AYRI BOYUTLANDIRILIP KARŞILAŞTIRILMASI

2.1 Statik Sistem

3 Boyutlu görünüşü Şekil 2.1' de görülen yapının ana taşıyıcı sistemi tamamen çelik olarak tasarlanmıştır. Yapı 3 kattan oluşmakta olup, genel olarak bir doğrultuda 8 akstan, diğer doğrultuda 6 akstan oluşmaktadır. Yapının toplam yüksekliği 17.63 m, boyu 17 m'lik 7 açıklık olmak üzere toplam 119 m, eni her 5 açıklıkta değişken olmak üzere toplam 92.3 m' dir. Statik sistem her iki yönde de makas kirişli çerçeve sistem olarak, kolonlar tabanda mafsallı olarak teşkil edilmiştir.



Şekil 2.1: Yapının 3 boyutlu görünüşü.

Yapının katları betonarme döşeme olarak düşünülmüştür. Çelik döşeme kirişleri 2,325 m aralıklarla teşkil edilmiş olup betonarme döşeme trapezlerine mesnetlik yapmakta, aynı zamanda da makas üst başlıklarının düzlem dışı burkulma boylarını azaltmaktadır. Aynı şekilde makas alt başlıklarının düzlem dışı burkulma boylarını azaltmak amacıyla çapraz elemanlar kullanılmıştır.

Yapıda katların yatay stabilitesi rijit bir diyafram olan betonarme döşeme tarafından sağlanmakta olup, yatay etkilerin iletilmesi için döşeme kirişleri ile betonarme döşeme arasında kayma elemanları kullanılmıştır. Çelik döşeme kirişleri Bölüm 3.3.1.' de basit kiriş, sürekli kiriş ve kompozit kiriş olarak ayrı ayrı boyutlandırılmış ve karşılaştırma yapılmıştır.

2.2 Hesap Yöntemi

Çelik döşeme kirişlerinin ve kuşakların tasarımı el ile yapılmıştır. Ana taşıyıcı sistemin statik analizi ise 3 boyutlu model kullanılarak yapılmıştır. Statik model ComoSYS adlı analiz ve tasarım programı kullanarak oluşturulmuş, daha sonra yükler ve kombinasyonlar hem Türk Şartnameleri'ne göre hem de Avrupa Şartnameleri'ne göre modelde dikkate alınmıştır. Çelik elemanlar birebir modellenmiş, betonarme döşemeyi temsilen yatay çapraz elemanlarıyla tüm katlar örülmüştür. Birincil taşıyıcı elemanlar olan kolon ve makas elemanlarının kesit tesirleri 3 boyutlu analiz sonuçlarından alınmış ve örnek olarak her tipten birer elemanın kesitleri elle kontrol edilmiştir.

3. YAPININ İLGİLİ AVRUPA STANDARTLARI UYARINCA BOYUTLANDIRILMASI

3.1 Boyutlandırma Esasları

3.1.1 Genel prensipler

Çelik yapıların tasarımı ile ilgili Avrupa standartları limit duruma göre boyutlandırma yöntemlerini benimsemiştir. Bu doğrultuda artırılmış yüklerden oluşan kombinasyonlardan doğan etkiler altında kesitlerin akma dayanımları ve plastik enkesit özellikleri kullanılarak tasarım yapılmaktadır. Burada amaç öngörülen etkilerin daha önceden belirlenmiş katsayılar ile artırılması ve en elverişsiz tasarım sonuçlarını doğuracak şekilde birleştirilmesi durumunda tüm elemanların akma sınırını aşmamış olmasını sağlamaktır.

Artırılmış yükler altında da olsa kesit tasarımı yapılırken akma dayanımının kullanılması kesitlerin ekonomik kullanımı anlamında ciddi avantajlar sağlayabilir. Ancak standartlarda bu avantajın, yani akma dayanımları ile birlikte plastik enkesit değerlerinin kullanılarak tasarım yapılabilmesi için ciddi kısıtlamalar getirilmiştir. Kesitin akma sınırına gelmesi öncesinde kesitte yerel göçmelerin meydana gelmesi kabul edilemez bir durumdur. Bu durumu önlemek için tasarımda kullanılacak profillerin belirli enkesit koşullarını sağlaması gerekmekte, aksi taktirde aynı kesit tesirleri altında elastik sınırlar içinde kalması gerekmektedir. Bu amaçla EN 1993-1-1' de profil enkesitleri 4 sınıfa ayrılmış ve bütün tasarım adımlarında bu ayrımlara göre farklı formülasyonlar verilmiştir.

1.Sınıf enkesitler: Dönme kapasiteleri yeterli plastik mafsallar oluşturabilen kesitlerdir. Kesit dayanımında herhangi bir azaltmaya gidilmez

2. Sınıf enkesitler: Plastik moment dayanımları olan fakat yerel burkulmalar sebebiyle sınırlı dönme kapasitesi olan kesitlerdir.

3.Sınıf enkesitler: Elastik gerilme dağılımı altında kesitin en uç lifinde akmaya ulaşılır. Yerel burkulmalar nedeniyle plastik moment dayanımı yoktur.

4. Sınıf enkesitler: Kesitin herhangi bir kısmında akma sınırına ulaşılmadan kesitte yerel burkulmalar meydana gelir.

3.1.2 Tasarımda kullanılan katsayılar ve dayanım değerleri

EN 1993-1-1 standardında önerilen malzeme dayanımlarına ilişkin değerler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Malzeme akma ve kopma dayanımları.

Çelik Sınıfı ve Standardı	Elemanın anma kalınlığı t(mm)			
	$t \leq 40 \text{ mm}$		$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$	
	$f_y \text{ (N/mm}^2\text{)}$	$f_u \text{ (N/mm}^2\text{)}$	$f_y \text{ (N/mm}^2\text{)}$	$f_u \text{ (N/mm}^2\text{)}$
EN10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	470
S450	440	550	410	550

Enkesit sınıflandırmasına göre tasarımda kullanılacak enkesit dayanımları Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Enkesit sınıflarına göre dayanım hesaplama esasları.

Enkesit Sınıfı	Eğilme Halinde	Basınç halinde	Çekme halinde
1	$M_{b,Rd} = W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{m1}$	$N_{c,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{m0}$	$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{m0}$
2	$M_{b,Rd} = W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{m1}$	$N_{c,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{m0}$	$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{m0}$
3	$M_{b,Rd} = W_{el} \cdot f_y / \gamma_{m1}$	$N_{c,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{m0}$	$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{m0}$
4	$M_{b,Rd} = W_{eff} \cdot f_y / \gamma_{m1}$	$N_{c,Rd} = A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{m0}$	$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{m0}$

Emniyet katsayısı olarak ele alınabilecek olan γ_m katsayıları bu tez kapsamında 1 olarak alınmıştır.

3.2 Yükler

3.2.1 Zati yükler

Zati yükler bir alışveriş merkezi yapısının ihtiyaçları gözetilerek belirlenmiştir.

3.2.1.1 Döşeme zati yükleri

- Granit (2 cm) + bağlayıcı : 54 kg/m^2
- 5 cm tesviye harcı : $0.05 \text{ m} \times 2000 \text{ kg/m}^2 = 100 \text{ kg/m}^2$
- 13 cm betonarme döşeme (trapez ile dolu hacim) : $0.094 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 226 \text{ kg/m}^2$
- 1 mm trapez sac : 11 kg/m^2
- Bölme duvar (hafif alçıpan&cam vitrin) : 110 kg/m^2
- Asma tavan : 20 kg/m^2
- Tesisat & havalandırma : 50 kg/m^2
- İzolasyon (çatı katı için) : 10 kg/m^2

3.2.1.2 Cephe zati yükleri

Cam kaplama yapılan bölgeler için ;

- Cam kaplama : $14 \text{ mm} \times 2700 \text{ kg/m} = 37.8 \text{ kg/m}^2$
- Bağlantı elemanları = 20 kg/m^2
- Zati ağırlık = 57.8 kg/m^2

Panel kaplı bölgeler için ;

- Sandviç panel = 20 kg/m^2

3.2.2 Hareketli yükler

3.2.2.1 Döşeme hareketli yükü

Hareketli yükler EN 1991-1-1 standardı uyarınca belirlenmiştir;

- Ara katlar için hareketli yük: 5 kN/m^2
- Çatı katı (teras) için hareketli yük: 7.5 kN/m^2

3.2.2.2 Kar yükü

EN 1991-1-3 standardın uyarınca karakteristik zemin kar yükü değeri kullanılarak elde edilmiştir.

- Karakteristik zemin kar yükü $s_k = 0.33 \text{ kN/m}^2$
 - Bina çevresi diğer yüksek binalarla tamamen kuşatılmış veya ileride kuşatılabilecek durumda, $C_e = 1.2$
 - Cam yada ısı geçirgenliği yüksek bir çatı olmadığı için ısısal azaltma faktörü $C_t = 1$
 - Tek eğimli düz çatı, $\mu_1 = 0.8$
- Çatı kar yükü $s = s_k \times C_e \times C_t \times \mu_1 = 0.33 \text{ kN/m}^2 \times 1.2 \times 1 \times 0.8 = 0.3168 \text{ kN/m}^2$

3.2.2.3 Rüzgar yükü

Esas rüzgar hızı TS 498' den alınmış olup TS-EN 1991-1-3 standardı uyarınca yapıya etkileyen rüzgar kuvvetleri hesaplanmıştır.

- $v_{b,0}$; Esas rüzgar hızının temel değeri = 27 m/sn
- c_{dir} ; Doğrultu katsayısı = 1 (Standart tarafından tavsiye edilen değerdir)
- c_{season} ; Mevsim katsayısı = 1 (Standart tarafından tavsiye edilen değerdir)
- v_b ; Esas rüzgar hızı
- q_b ; Esas hız kaynaklı rüzgar basıncı
- q_p ; Tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı
- ρ ; Fırtınalar esnasında bölgede olması beklenen sıcaklık ve barometrik basınçlara ve rakıma bağlı hava yoğunluğu = 1.25 kg/m^3 (Tavsiye edilen değerdir)
- $c_{e(z)}$; maruz kalma katsayısı
- $c_s c_d$; Yapısal katsayı = 1

$$v_b = c_{season} \times c_{dir} \times v_{b,0} = 27 \text{ m/sn}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2 = 455.6 \text{ kg/msn}^2 = 0.46 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p = c_{ez} \times q_b$$

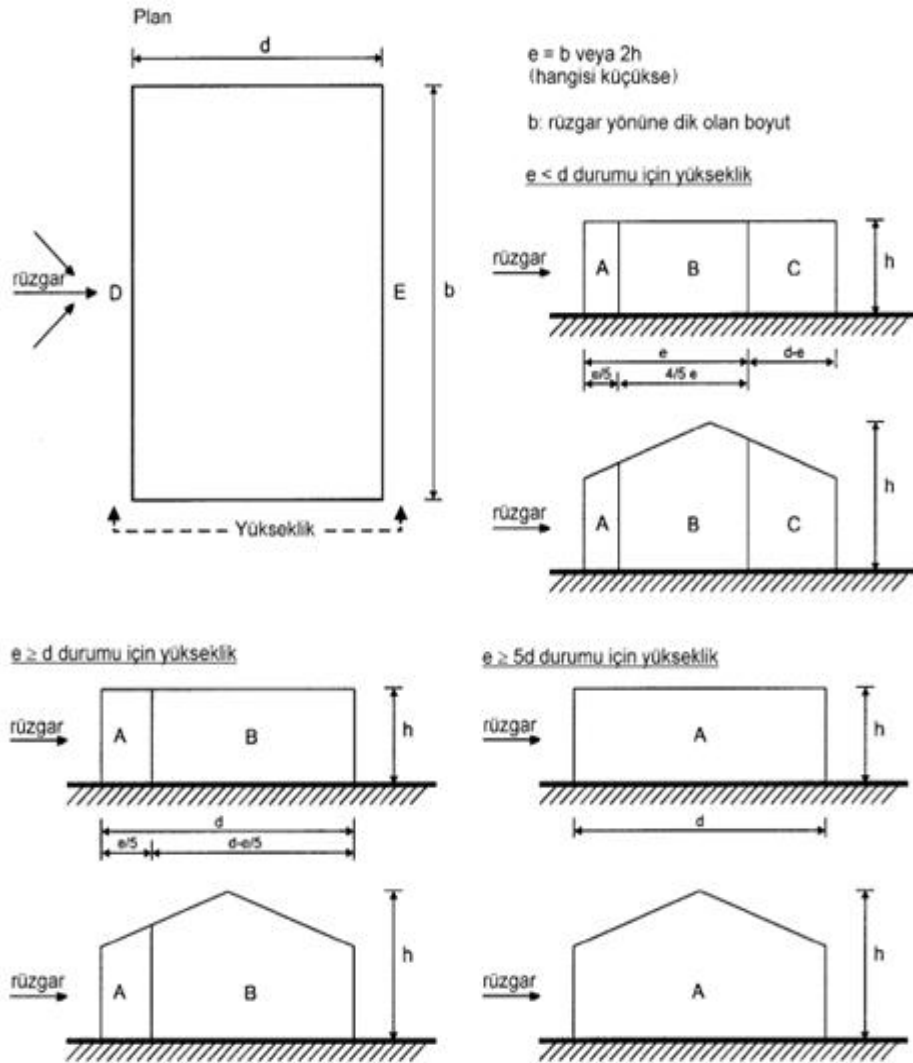
$$\text{Dış rüzgar kuvvetleri; } F_{w,e} = c_s c_d \times \sum w_e \times A_{ref}$$

$$w_e = q_p \times c_{pe}$$

Düşey duvarlara etkiyen rüzgar yükleri yapı yükseklik ve plan boyutlarına bağlı olmak üzere bölgelere ayrılmakta ve bu bölgelere etkiyen rüzgar basınç değerleri değişkenlik göstermektedir. Bölgelerin belirlenmesi Şekil 3.1' de gösterildiği gibi yapılmış olup bu bölgelerin plan boyutları $\pm X$ ve $\pm Y$ yönleri için sırası ile Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' de gösterilmiştir. Bu bölgelere ait basınç katsayıları ise $\pm X$ yönü için Çizelge 3.3'de, $\pm Y$ yönü için Çizelge 3.4'de verilmiştir.

- **Düşey duvarlar için dış basınç katsayılarının belirlenmesi**

ICS 91.010.30 TÜRK STANDARDI TS EN 1991-1-4/Aralık 2007



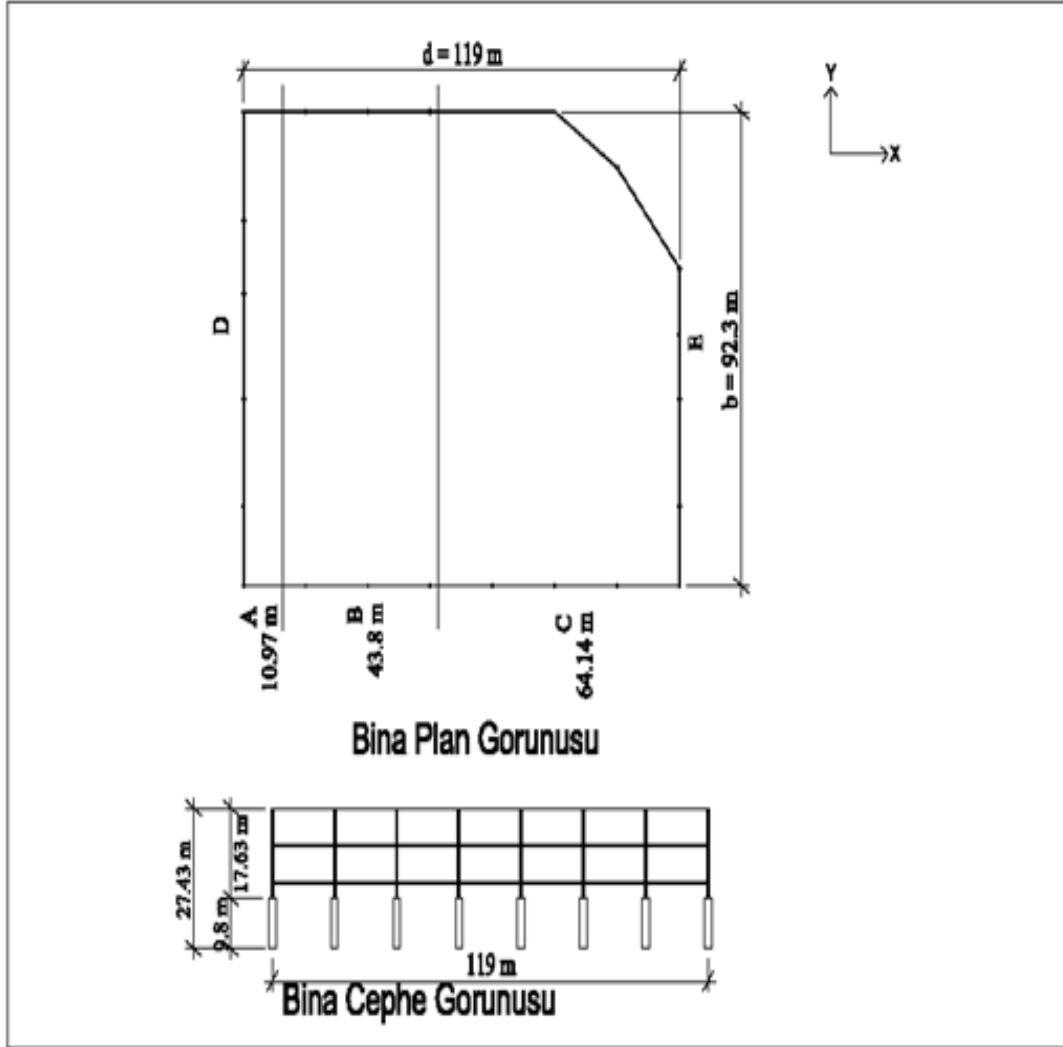
Şekil 3.1: Eurocode rüzgar yükleri standardı - Cephe rüzgar etki alanları.

Rüzgar X yönünden yaklaşırken yapısal elemanların tasarımında kullanılacak dış basınç katsayısı $c_{pe,10}$ 'un tespit edilmesi;

$$d = 119 \text{ m}, b = 92.3 \text{ m}, 2h = 54.86 \text{ m} ; e = 54.86 \text{ m} < d, h/d = 0.23$$

Çizelge 3.3: Düşey Cephe Dış Basınç Katsayıları - $\pm$ X Yönü.

h/d	A	B	C	D	E
0.23	- 1.2	- 0.8	- 0.5	+ 0.7	-0.3



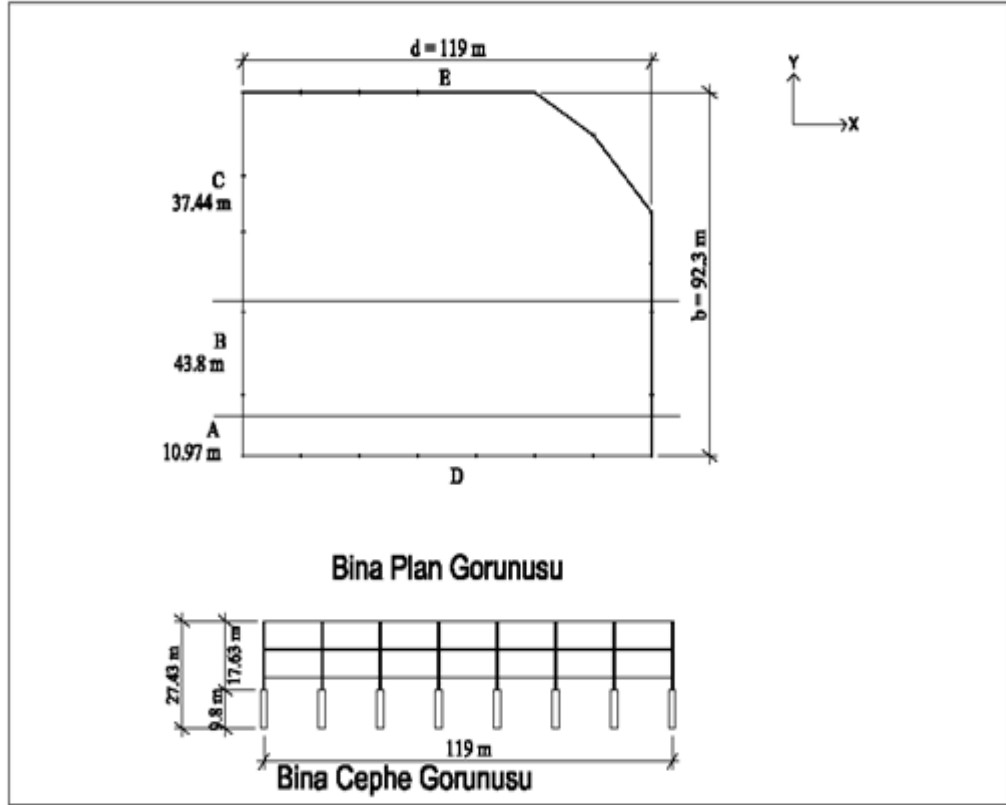
Şekil 3.2: Cepheye etkiyen rüzgarın etki alanları (X yönü).

Rüzgar Y yönünden yaklaşırken yapısal elemanların tasarımında kullanılacak dış basınç katsayısı $c_{pe,10}$ 'un tespit edilmesi;

$$d = 92.3 \text{ m}, b = 119 \text{ m}, 2h = 54.86 \text{ m} ; e = 54.86 \text{ m} < d, h/d = 0.29$$

Çizelge 3.4: Düşey cephe dış basınç katsayıları - $\pm$ Y Yönü.

h/d	A	B	C	D	E
0.29	- 1.44	- 0.96	- 0.6	+ 0.84	+ 0.36



Şekil 3.3: Cepheye etkiyen rüzgarın etki alanları (Y yönü).

- Çatı düzlemi için rüzgar yüklerinin belirlenmesi

Çatı üzerine etkiyen rüzgar yükleri de aynı şekilde hesaplanmaktadır. Şekil 3.4' de gösterildiği üzere çatı üzerindeki farklı rüzgar basınç bölgeleri hesaplanmış, bu bölgelere ait basınç katsayıları $\pm X$ yönü için Çizelge 3.5'de, $\pm Y$ yönü için ise Çizelge 3.6'de verilmiştir. Çatı üzerindeki bu farklı bölgelere ait plan boyutları $\pm X$ ve $\pm Y$ yönleri için sırası ile Şekil 3.5 ve Şekil 3.6' da gösterilmiştir.

Çatı eğimi = 0°

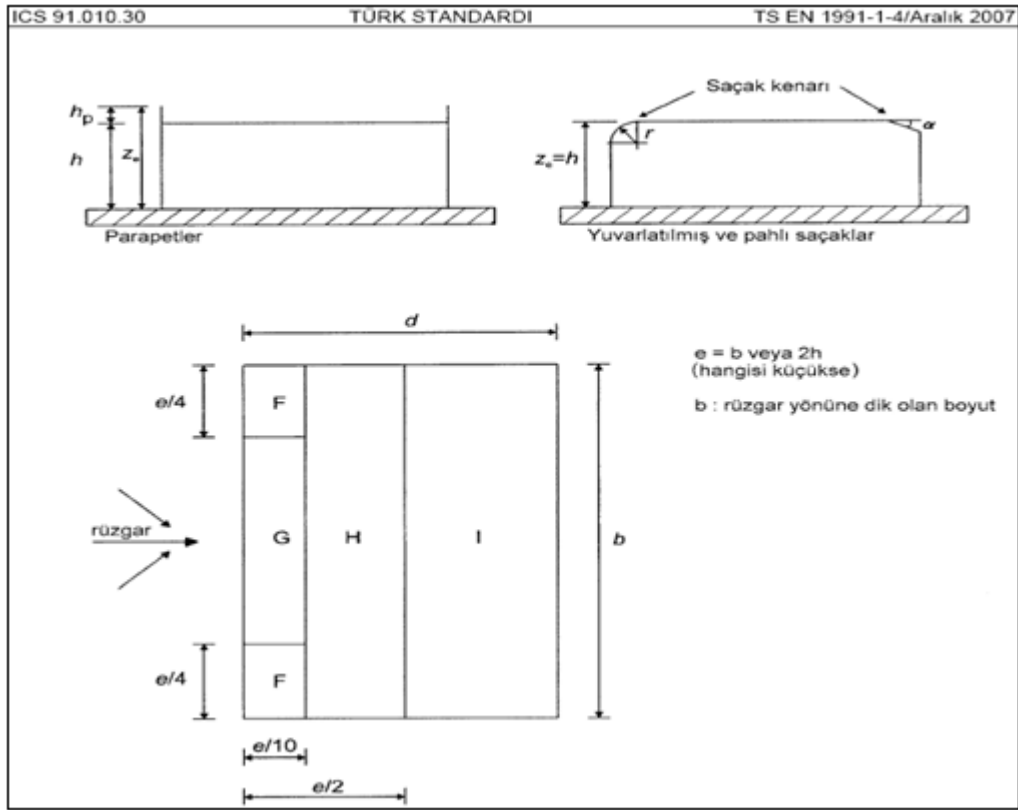
Parapetli çatı, $h_p = 1.5$ m

Rüzgar X yönünden yaklaşırken yapısal elemanların tasarımında kullanılacak dış basınç katsayısı $c_{pe,10}$ 'un tespit edilmesi;

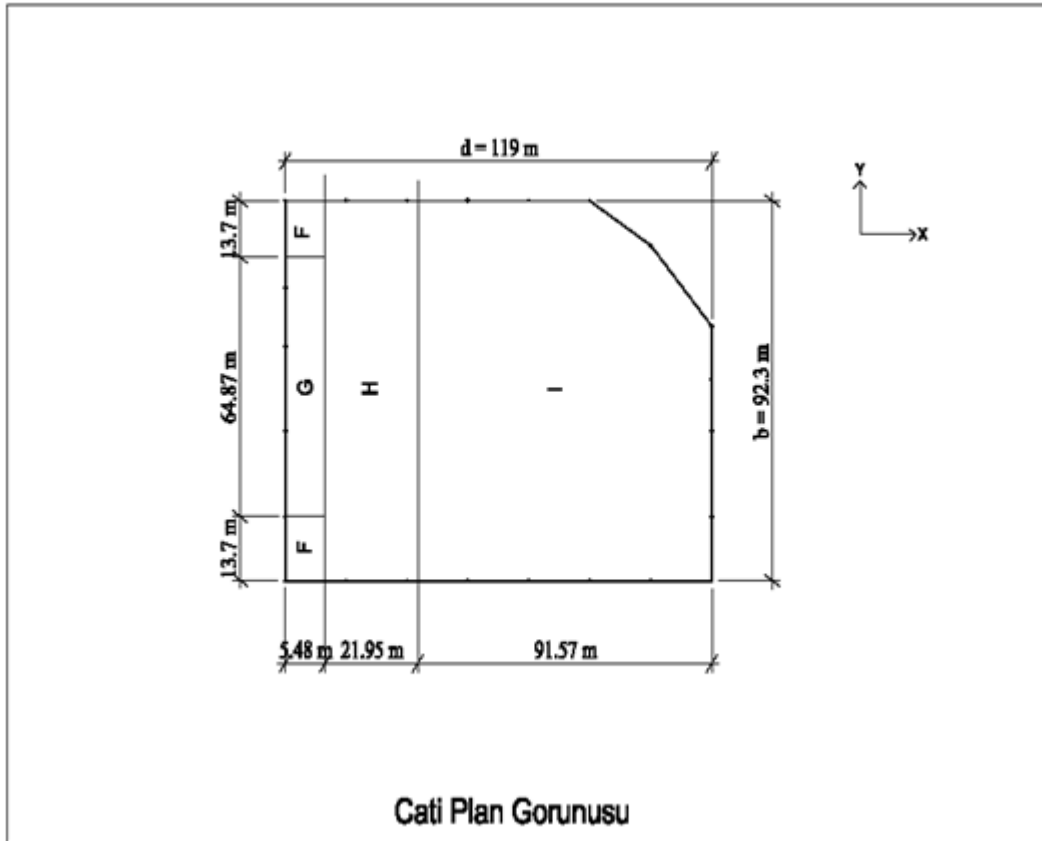
$d = 119$ m, $b = 92.3$ m, $2h = 54.86$ m ; $e = 54.86$ m < d , $h_p/h = 0.05$

Çizelge 3.5: Çatı dış basınç katsayıları - $\pm X$ Yönü.

h_p/h	F	G	H	I
0.05	-1.4	-0.9	-0.7	+0.2 / -0.2



Şekil 3.4: Eurocode rüzgar yükleri standardı - Çatı rüzgar etki alanları.



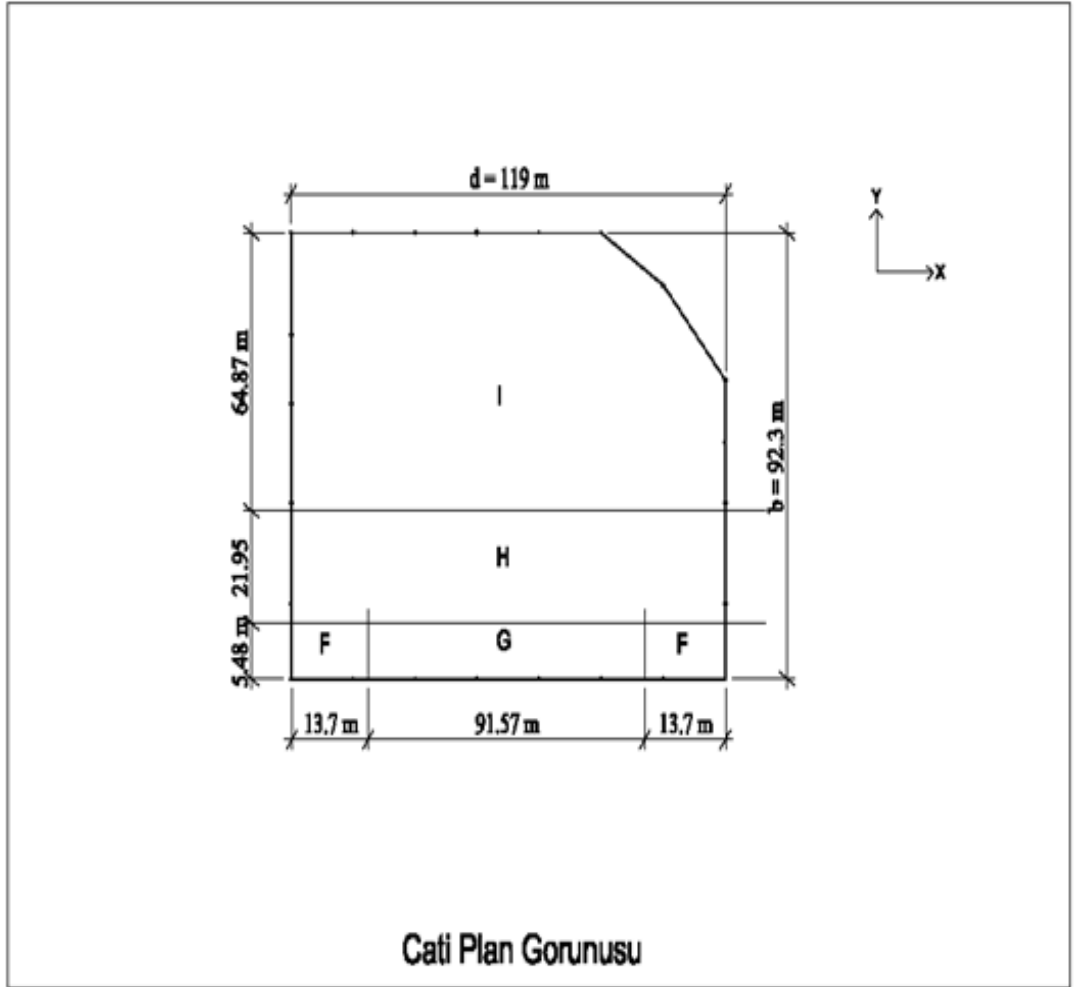
Şekil 3.5: Çatıya etkiyen rüzgarın etki alanları (X yönü).

Rüzgar Y yönünden yaklaşırken yapısal elemanların tasarımında kullanılacak dış basınç katsayısı $c_{pe,10}$ 'un tespit edilmesi;

$d = 92.3 \text{ m}$, $b = 119 \text{ m}$, $2h = 54.86 \text{ m}$; $e = 54.86 \text{ m} < d$, $h_p/h = 0.05$

Çizelge 3.6: Çatı dış basınç katsayıları - $\pm Y$ Yönü.

h_p/h	F	G	H	I
0.05	-1.4	-0.9	-0.7	+0.2 / -0.2



Şekil 3.6: Çatıya etkiyen rüzgarın etki alanları (Y yönü).

- İç basınç katsayılarının belirlenmesi

Bina yüzündeki açık alanların tahmin edilmesi güç olduğundan c_{pi} iç basınç katsayısı olarak + 0.2 ile -0.3 değerlerinden en gayri müsait durumu oluşturanı seçilecektir.

İç Rüzgar Kuvvetleri; $F_{w,i} = \sum w_i \times A_{ref}$

$$w_i = q_p \times c_{pi}$$

- Sürtünme katsayılarının belirlenmesi

Cam kaplama için sürtünme katsayısı $c_{fr} = 0.01$

Rüzgar etkisiyle sürtünme kuvveti; $F_{fr} = c_{fr} \times q_{p,ze} \times A_{fr}$

$$z_e = h = 27.43 \text{ m}$$

Sürtünme kuvvetleri rüzgarın yaklaştığı yöndeki saçaklar veya köşelerden itibaren $2b$ veya $4h$ değerlerinden küçük olanı kadar mesafeden ötede bulunan rüzgara paralel dış yüzeylere uygulanacaktır.

Rüzgar X yönü için;

$$b = 92.3 \text{ m}, d = 119 \text{ m}$$

$$\min(2b; 4h) = \min(184.6 \text{ m} ; 109.72) = 109.72 \text{ m}$$

$119 \text{ m} - 109.72 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$ lik bir uzunluğa ait yüzeylere uygulanacaktır

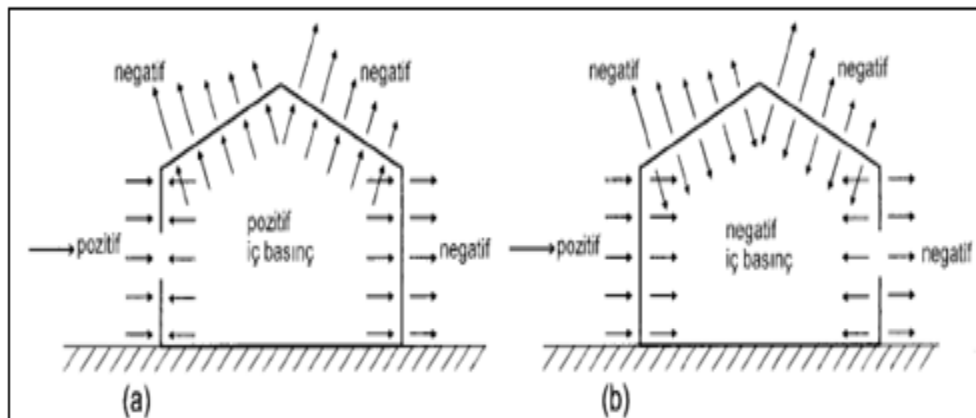
Rüzgar Y yönü için :

$$b = 119 \text{ m}, d = 92.3 \text{ m}$$

$$\min(2b; 4h) = \min(238 \text{ m} ; 109.72) = 109.72 \text{ m}$$

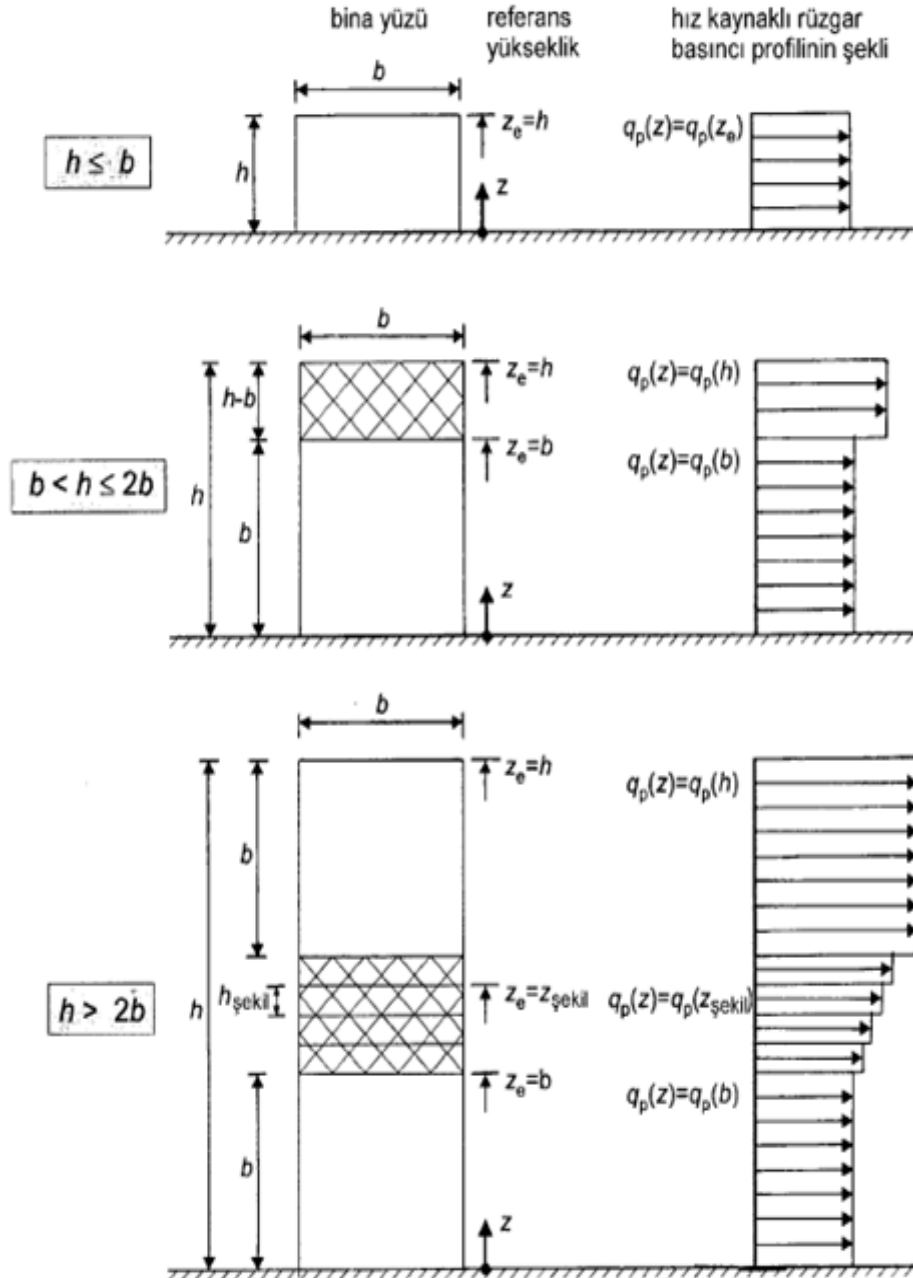
$109.72 \text{ m} > 92.3 \text{ m}$ olduğunda rüzgarın bu yönü için herhangi bir sürtünme kuvveti söz konusu değildir.

- Yapıya etkiyen rüzgar kuvvetleri



Şekil 3.7: Rüzgar etkisi altında iç-dış basınç temsilleri.

Şekil 3.7' de iç ve dış basınç etkilerinin yapıya ne yönde etki ettiği 2 ayrı şekilde gösterilmiştir. Etkiler tüm yapı için ve ikincil taşıyıcı elemanlar için en gayri müsait etkiyi oluşturacak şekilde birleştirilecek ve ele alınacaktır.

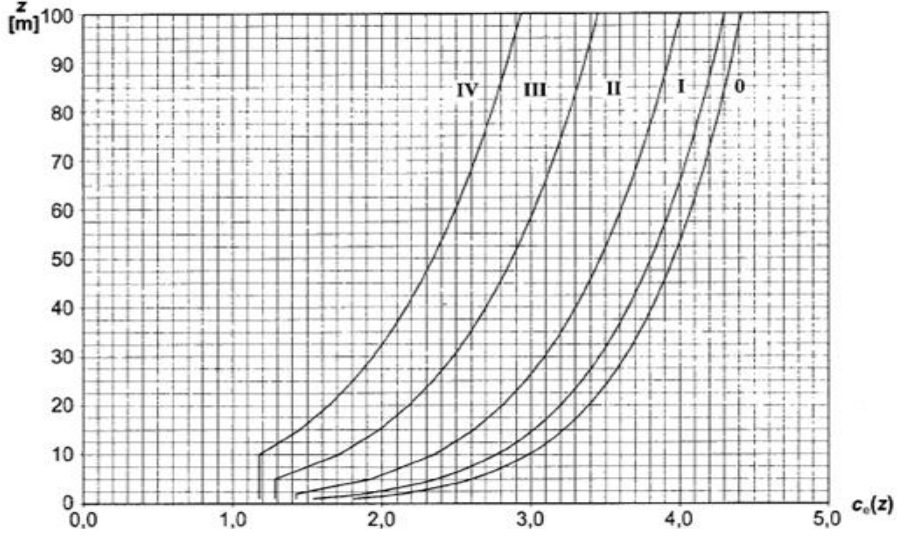


Şekil 3.8: Hız kaynaklı rüzgar basıncı profili.

Binanın 3 yöndeki ölçüleri ; $h=27.43$ m, $b = 92.3$ m, $d = 119$ m

Yapıya etkiyen rüzgar yüklerinin yükseklikle değişimi Şekil 3.8' de görüldüğü gibi yapı genişlik ve yüksekliği ile ilgilidir. Bu şartlar altında rüzgarın her iki yönden estiği durum için de $h \leq b$ olacak ve rüzgar kuvveti yükseklik boyunca sabit kabul edilecektir ve c_{ez} maruz kalma katsayısı arazi kategorisi ile yüksekliğin bir fonksiyonu olarak Şekil 3.9' da görülen grafik ile belirlenmiştir.

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



Şekil 3.9: Maruz kalma katsayısı.

$$z = 27.43 \text{ m}, c_{ez} = 1.9$$

$$q_p = 1.9 \times 0.46 \text{ kN/m}^2 = 0.874 \text{ kN/m}^2$$

- Düşey duvarlara etkiyen rüzgar kuvvetleri

Yukarıda verilen parametreler eşliğinde hesaplanan tasarım rüzgar kuvvetleri düşey duvarlar için Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8' de, çatı için ise Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.10' da verilmiştir.

Çelik yapının yüksekliği $h = 17.63 \text{ m}$

$$F_{w,e} = c_s c_d \times \sum w_e \times A_{ref}$$

$$w_e = q_p \times c_{pe}$$

Çizelge 3.7: Cephe rüzgar kuvvetleri - $\pm X$ Yönü.

Rüzgar X					
Bölge	A	B	C	D	E
c_{pe}	- 1.2	- 0.8	- 0.5	+ 0.7	-0.3
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	- 1.04	- 0.7	- 0.437	0.61	- 0.262
$A_{ref} \text{ (m}^2\text{)}$	193.4	772	1131	1627	1627
$F_w \text{ (kN)}$	- 201	- 540	- 495	993	- 426

Çizelge 3.8: Cephe rüzgar kuvvetleri - $\pm Y$ Yönü.

Rüzgar Y					
Bölge	A	B	C	D	E
c_{pe}	- 1.44	- 0.96	- 0.6	+ 0.84	-0.36
w_e (kN/m ²)	-1.258	-0.84	-0.524	0.734	-0.315
A_{ref} (m ²)	193.4	772	660	2098	2098
F_w (kN)	-243	-648	-346	1540	-660

- **Çatıya etkiyen rüzgar kuvvetleri**

Çizelge 3.9: Çatı rüzgar kuvvetleri - $\pm X$ Yönü.

Rüzgar X				
Bölge	F	G	H	I
c_{pe}	- 1.4	- 0.9	- 0.7	- 0.2
w_e (kN/m ²)	-1.22	-0.787	-0.612	-0.175
A_{ref} (m ²)	151	355	2025	8463
F_w (kN)	-184	-280	-1240	-1481

Çizelge 3.10: Çatı rüzgar kuvvetleri - $\pm Y$ yönü.

Rüzgar Y				
Bölge	F	G	H	I
c_{pe}	- 1.4	- 0.9	- 0.7	- 0.2
w_e (kN/m ²)	-1.22	-0.787	-0.612	-0.175
A_{ref} (m ²)	151	777	2611	7720
F_w (kN)	-184	-612	-1598	-1351

- İç basınçtan kaynaklanan kuvvetler

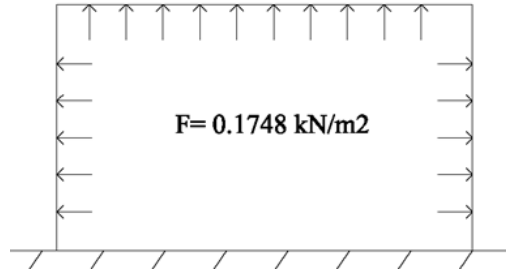
İç basınçtan kaynaklanan rüzgar etkileri +0.2 ve -0.3 basınç katsayısı değerleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu iç basınç değerleri için hesaplanan tasarım rüzgar yükleri sırası ile Şekil 3.10 ve Şekil 3.11' de gösterilmiştir. Basınç ve emme etkisi olarak bulunan bu kuvvetler dış basınçtan kaynaklanan kuvvetler ve sürtünmeden kaynaklanan kuvvetler ile birleştirilmiş, yapı elemanlarının tasarımında en elverişsiz durumu oluşturacak nihai tasarım kuvvetleri elde edilmiştir. Birleştirilen kuvvetlerin değerleri $\pm X$ yönünden rüzgar esmesi halinde tüm etki bölgeleri için Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12' de, $\pm Y$ yönünden rüzgar esmesi halinde tüm etki bölgeleri için Çizelge 3.13 ve Çizelge 3.14' de verilmiştir.

İç basınç katsayısı $c_{pi} = + 0.2$ olması durumunda;

$$z = 27.43 \text{ m}, c_{ez} = 1.9$$

$$q_p = 1.9 \times 0.46 \text{ kN/m}^2 = 0.874 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pi} = 0.874 \text{ kN/m}^2 \times 0.2 = 0.1748 \text{ kN/m}^2$$



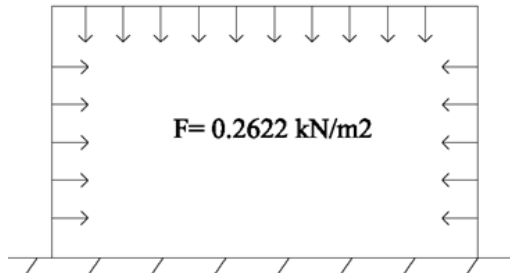
Şekil 3.10: İç basınç kuvvetleri - basınç.

İç basınç katsayısı $c_{pi} = - 0.3$ olması durumunda;

$$z = 27.43 \text{ m}, c_{ez} = 1.9$$

$$q_p = 1.9 \times 0.46 \text{ kN/m}^2 = 0.874 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pi} = 0.874 \text{ kN/m}^2 \times 0.3 = 0.2622 \text{ kN/m}^2$$



Şekil 3.11: İç basınç kuvvetleri - Emme.

- **Sürtünmeden kaynaklanan kuvvetler**

Sürtünme kuvveti yalnız Rüzgar X doğrultusunda eserken meydana gelmekte ve esiş yönüne paralel olan düşey ve yatay cephelerin rüzgarın uzaklaştığı taraftaki 10 m lik bir boy için etkili olmaktadır.

$$c_{fr} = 0.01$$

$$q_p = 1.9 \times 0.46 \text{ kN/m}^2 = 0.874 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Rüzgar etkisiyle sürtünme kuvveti; } F_{fr} (\text{yayılı}) = c_{fr} \times q_{p,ze} = 0.01 \times 0.874 \text{ kN/m}^2 = 0.00874 \text{ kN/m}^2$$

- **Tüm rüzgar kuvvetlerinin süperpozisyonu**

Çizelge 3.11: $c_{pi} = + 0,2$ iken rüzgar kuvvetlerinin süperpozisyonu - $\pm$ X Yönü.

Rüzgar X	(c _{pi} = + 0.2) durumunda								
Bölge	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Dış basınç w _e (kN/m ²)	-1.04	-0.7	-0.437	0.61	- 0.262	- 1.4	- 0.9	- 0.7	- 0.2
İç basınç w _i (kN/m ²)	- 0.175	- 0.17	- 0.175	- 0.175	- 0.175	- 0.175	- 0.175	- 0.175	- 0.175
Toplam (kN/m ²)	-1.215	-0.875	- 0.612	0.435	-0.437	-1.575	-1.075	-0.875	-0.375
A _{ref} (m ²)	193.4	772	1131	1627	1627	151	777	2611	7720
F _w (kN)	-235	- 676	- 693	708	-711	-238	-835	-2285	- 2895

Çizelge 3.12: $c_{pi} = - 0,3$ iken rüzgar kuvvetlerinin süperpozisyonu - $\pm$ X Yönü.

Rüzgar X	(c _{pi} = - 0.3) durumunda								
Bölge	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Dış basınç w _e (kN/m ²)	-1.04	-0.7	-0.43	0.61	- 0.26	- 1.4	- 0.9	- 0.7	- 0.2
İç basınç w _i (kN/m ²)	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262
Toplam (kN/m ²)	-0.77	-0.43	- 0.17	0.872	0	-1.13	-0.63	-0.43	0.062
A _{ref} (m ²)	193.4	772	1131	1627	1627	151	777	2611	7720
F _w (kN)	-150	- 338	- 198	1419	0	-172	-496	-1144	479

Çizelge 3.13: $c_{pi} = + 0,2$ iken rüzgar kuvvetlerinin süperpozisyonu - $\pm Y$ Yönü.

Rüzgar Y	$(c_{pi} = + 0.2)$ durumunda								
Bölge	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Dış basınç $w_e(kN/m^2)$	-1.25	-0.84	-0.52	0.734	-0.31	-1.22	-0.78	-0.61	-0.17
İç basınç w_i (kN/m^2)	- 0.17	- 0.17	- 0.17	- 0.17	- 0.17	- 0.17	- 0.17	- 0.17	- 0.17
Toplam (kN/m^2)	-1.43	-1.01	-0.69	0.559	-0.49	-1.04	-0.96	-0.78	- 0.35
$A_{ref} (m^2)$	193.4	772	660	2098	2098	151	777	2611	7720
$F_w (kN)$	-277	-783	-461	1172	-1028	-238	-157	-2055	-2702

Çizelge 3.14: $c_{pi} = - 0,3$ iken rüzgar kuvvetlerinin süperpozisyonu - $\pm Y$ Yönü.

Rüzgar Y	$(c_{pi} = - 0.3)$ durumunda								
Bölge	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Dış basınç $w_e(kN/m^2)$	-1.25	-0.84	-0.52	0.734	-0.31	-1.22	-0.78	-0.61	-0.17
İç basınç w_i (kN/m^2)	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262
Toplam (kN/m^2)	-0.99	-0.57	-0.26	0.99	-0.05	-0.95	-0.52	-0.35	0.087
$A_{ref} (m^2)$	193.4	772	660	2098	2098	151	777	2611	7720
$F_w (kN)$	-193	-446	-173	2090	-1028	-145	-408	-914	-671

3.2.2.4 Deprem ile ilgili parametreler

Yapıya etkiyen deprem yükleri EN-1998-1 standardı uyarınca hesaplanmıştır. Bu amaçla dinamik analiz için spektrum grafiği elde edilmiştir. Etkin yer ivmesi DBYBHY uyarınca, yapının bulunduğu bölge için belirlenmiş, ve Avrupa standartları uyarınca yapılacak çözümde kullanılmıştır.

Zemin B ; Çok sıkı kum, çakıl

$$\gamma_I = 1,2$$

$$\text{Hareketli yük katılım katsayısı } \psi_2 = 0,6$$

$$a_g = 0.3 \text{ g} \times 1,2 = 0,36 \text{ g}$$

$$\eta = 1, \% 5 \text{ sönüm oranı için}$$

$$S = 1.2$$

$$T_B = 0.15$$

$$T_C = 0.5$$

$$T_D = 2$$

$$0 \leq T \leq T_B; S_d(T) = a_g \times S \times \left(\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \times \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right)$$

$$T_B \leq T \leq T_C; S_d(T) = a_g \times S \times \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D; S_d(T) = \begin{cases} a_g \times S \times \frac{2,5}{q} \times \frac{T_C}{T} \\ \geq \beta \times a_g \end{cases}$$

$$T_D < T; S_d(T) = \begin{cases} a_g \times S \times \frac{2,5}{q} \times \frac{T_C \times T_D}{T^2} \\ \geq \beta \times a_g \end{cases}$$

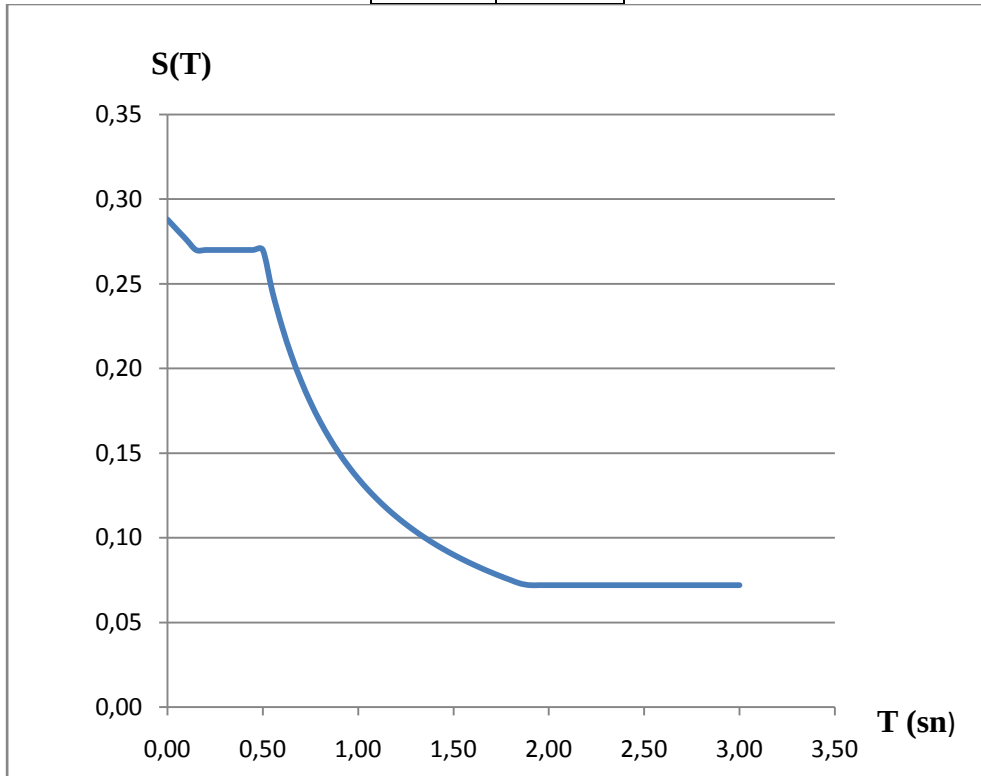
- Düktilite sınıfı normal (DCM) için her iki yönde;

$$\text{Davranış katsayısı } q_{x,y} = 4$$

Yapıya etkiyen deprem yüklerinin hesaplanabilmesi için yukarıda sıralanan parametreler ile Şekil 3.12' de verilen elastik spektrum grafiği elde edilmiştir. Bu grafiğe ait periyot-spektrum katsayısı değerleri Çizelge 3.15' de gösterilmiştir. Elde edilen spektrum grafiği analiz programında tanımlanmış ve dinamik analiz yapılmıştır.

Çizelge 3.15: Eurocode - spektrum grafiği parametreleri.

T	ST
0.00	2.82
0.10	2.71
0.20	2.65
0.30	2.65
0.40	2.65
0.50	2.65
0.60	2.21
0.70	1.89
0.80	1.65
0.90	1.47
1.00	1.32
1.10	1.20
1.20	1.10
1.30	1.02
1.40	0.95
1.50	0.88
1.60	0.83
1.70	0.78
1.80	0.74
1.90	0.71
2.00	0.71



Şekil 3.12: Eurocode spektrum katsayısı grafiği.

3.2.2.5 Isı değişiminden kaynaklanan etkiler

Hesaplarda ısı değişimi $\Delta t = \pm 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak dikkate alınmıştır.

3.3 Kombinasyonlar

Kombinasyonlar EN-1990 standardı uyarınca taşıma gücü ve servis durumu kombinasyonları olmak üzere iki grupta tanımlanmıştır. Kombinasyonlarda kullanılan yük etkilerinin kısaltmaları aşağıdaki gibidir.

G ; Yapıdaki zati yükleri (yapı öz ağırlığı bağlantıları hesaba katmak için 1,2 ile artırılmıştır)

Q ; Yapıdaki hareketli yükleri

T ; Isı farkından kaynaklanan etkileri

W_i ; Rüzgar yüklerini

S ; Kar yüklerini

EQ_i ; Deprem etkisini temsil etmektedir

3.3.1 Taşıma gücü kombinasyonları

ULS 1 : $1,35G + 1,5Q \pm 0,9T$

ULS 2 : $1,35G + 1,5Q \pm 0,9T + 0,9W_x + 0,75S$

ULS 3 : $1,35G + 1,05Q \pm 1,5T + 0,9W_x + 0,75S$

ULS 4 : $1,35G + 1,05Q \pm 0,9T + 1,5W_x + 0,75S$

ULS 5 : $1,35G + 1,05Q \pm 0,9T + 0,9W_x + 1,5S$

ULS 6 : $1,35G + 1,5Q \pm 0,9T + 0,9W_{-x} + 0,75S$

ULS 7 : $1,35G + 1,05Q \pm 1,5T + 0,9W_{-x} + 0,75S$

ULS 8 : $1,35G + 1,05Q \pm 0,9T + 1,5W_{-x} + 0,75S$

ULS 9 : $1,35G + 1,05Q \pm 0,9T + 0,9W_{-x} + 1,5S$

ULS 10 : $1,35G + 1,5Q \pm 0,9T + 0,9W_y + 0,75S$

ULS 11 : $1,35G + 1,05Q \pm 1,5T + 0,9W_y + 0,75S$

ULS 12 : $1,35G + 1,05Q \pm 0,9T + 1,5W_y + 0,75S$

$$\text{ULS 13 : } 1,35G + 1,05Q \pm 0,9T + 0,9W_y + 1,5S$$

$$\text{ULS 14 : } 1,35G + 1,5Q \pm 0,9T + 0,9W_{-y} + 0,75S$$

$$\text{ULS 15 : } 1,35G + 1,05Q \pm 1,5T + 0,9W_{-y} + 0,75S$$

$$\text{ULS 16 : } 1,35G + 1,05Q \pm 0,9T + 1,5W_{-y} + 0,75S$$

$$\text{ULS 17 : } 1,35G + 1,05Q \pm 0,9T + 0,9W_{-y} + 1,5S$$

$$\text{ULS 18 : } 1G + 0,6Q \pm 1EQ_x$$

$$\text{ULS 19 : } 1G + 0,6Q \pm 1EQ_y$$

$$\text{ULS 20 : } 1G + 0,6Q \pm 1EQ_x + 0,3EQ_y$$

$$\text{ULS 21 : } 1G + 0,6Q \pm 0,3EQ_x + 1EQ_y$$

ULS kombinasyonları tüm yapısal elemanların tasarımında kullanılmıştır.

3.3.2 Servis durumu kombinasyonları

$$\text{SLS 1 : } 1G + 1Q + 0,6T$$

$$\text{SLS 2 : } 1G + 1Q + 0,6T + 0,6W_{\pm x} + 0,5S$$

$$\text{SLS 3 : } 1G + 0,7Q + 1T + 0,6W_{\pm x} + 0,5S$$

$$\text{SLS 4 : } 1G + 0,7Q + 0,6T + 1W_{\pm x} + 0,5S$$

$$\text{SLS 5 : } 1G + 0,7Q + 0,6T + 0,6W_{\pm x} + 1S$$

$$\text{SLS 6 : } 1G + 1Q + 0,6T + 0,6W_{\pm y} + 0,5S$$

$$\text{SLS 7 : } 1G + 0,7Q + 1T + 0,6W_{\pm y} + 0,5S$$

$$\text{SLS 8 : } 1G + 0,7Q + 0,6T + 1W_{\pm y} + 0,5S$$

$$\text{SLS 9 : } 1G + 0,7Q + 0,6T + 0,6W_{\pm y} + 1S$$

Sehim gibi servis durumu kriterlerini belirleyen SLS kombinasyonları döşeme kirişi hesaplamalarında ve makas kirişlerin düşey deplasman kontrollerinde kullanılmıştır.

3.4 Yapısal Elemanların Boyutlandırılması

Avrupa standartları uyarınca yapılacak kesit tasarımında genel olarak çelik elemanların tasarımında EN 1993-1-1 standardı, kompozit kiriş tasarımında ise EN

1994-1-1 standardı kullanılmıştır. Ancak detaylı tasarım gerektiren hallerde EN 1993-1-5 standardına başvurulmuştur.

3.4.1 Ara kat döşeme kirişlerinin boyutlandırılması

$$\sum \text{Zati Yük} = 581 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Hareketli Yük} = 500 \text{ kg/m}^2$$

Düşey yükler için yüklerin birleştirilmesi;

Taşıma gücü sınır durumu için ; $\gamma_{Gj,sup} = 1,35$, $\gamma_{Q,1} = 1,50$ olmak üzere,

$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ olarak ele alınacaktır.

$$1.35 \times 581 \text{ kg/m}^2 + 1.5 \times 500 \text{ kg/m}^2 = 1534.35 \text{ kg/m}^2 = 15.35 \text{ kN/m}^2$$

Döşeme kirişi aralıkları = 2.325 m,

Bir döşeme kirişine gelen yayılı yük 35.68 kN/m olarak bulunur.

Kullanılabilirlik sınır durumu için;

$$G_{kj,sup} + Q_{k1} = 581 \text{ kg/m}^2 + 500 \text{ kg/m}^2 = 1081 \text{ kg/m}^2$$

$$2.325 \text{ m} \times 10.81 \text{ kN/m}^2 = 25.13 \text{ kN/m}^2$$

3.4.1.1 Döşeme kirişinin basit kiriş olarak tasarlanması

Seçilen Kesit: IPE 450 A

Malzeme Kalitesi: St 52 / S355

$$G = 67,2 \text{ kg/m}^2, h = 447 \text{ mm}, b = 190 \text{ mm}, t_g = 7.6 \text{ mm}, t_f = 13.1 \text{ mm}, A = 85.6 \text{ cm}^2$$

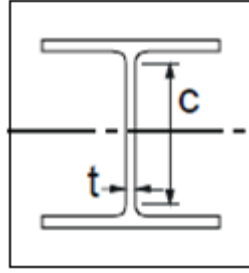
$$I_y = 29760 \text{ cm}^4, W_{el,y} = 1331 \text{ cm}^3, W_{pl,y} = 1494 \text{ cm}^3$$

Kirişe etkiyen yayılı yüke kiriş zati ağırlığında eklenerek;

$$35.68 \text{ kN/m} + 1.35 \times 0.672 \text{ kN/m} = 36.58 \text{ kN/m} \text{ bulunur.}$$

Enkesit sınıfının saptanmasında kullanılan ölçüler Şekil 3.13 ve Şekil 3.14' de gösterildiği gibidir. EN 1993-1-1 uyarınca;

- Profil enkesit sınıfının saptanması



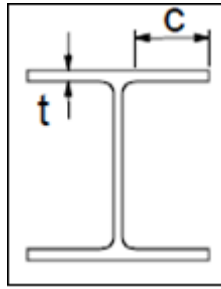
Şekil 3.13: Profil enkesit sınıfı hesabı - gövde bölgesi.

Gövde enkesit sınıfı;

$$c = 378.8 \text{ mm}, t = 7.6 \text{ mm} ; c/t = 49.84$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 72 \times 0.81 = 58.32 \geq 49.84 ; \text{gövde enkesit sınıfı 1}$$

Başlık enkesit sınıfı;



Şekil 3.14: Profil enkesit sınıfı hesabı - başlık bölgesi.

$$c = 65.8 \text{ mm}, t = 13.1 \text{ mm} ; c/t = 5.02$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 9 \times 0.81 = 7.29 \geq 5.02 ; \text{başlık enkesit sınıfı 1}$$

Profil enkesit sınıfı 1 olarak saptanmıştır.

Kesitin eğilme dayanımı kontrolü;

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1494 \text{ cm}^3 \times 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 53037 \text{ kNcm} = 530.37 \text{ kNm} \geq M_{sd} = 330.37 \text{ kNm}$$

✓

Kesitin kesme dayanımı kontrolü;

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

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f = 42.31 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{42.31 \times 35.5 \frac{kN}{cm^2} / \sqrt{3}}{1} = 867.18 \text{ kN} \geq V_{sd} = 156 \text{ kN} \quad \checkmark$$

- Tasarım kesme kuvveti $V_{sd} = 156 \text{ kN} \leq \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{867}{2} = 433.5 \text{ kN}$ olduğundan kesme kuvvetinin moment dayanımına olan etkisi göz ardı edilmiş ve moment dayanımı indirgenmemiştir
- Kiriş gövde derinliği $h_w = 378.8 \text{ mm}$, gövde kalınlığı $t_w = 7.6 \text{ mm}$ olmak üzere;

$$\frac{h_w}{t_w} = 49.84 > \frac{72 \times \varepsilon}{\eta} = \frac{72 \times 0.81}{1.2} = 48.6 \text{ olduğu için gövdenin burkulma dayanımı ayrıntılı olarak incelenecektir. EN 1993-1-5 uyarınca;}$$

$$\lambda_w = \frac{h_w}{86,4 \times t \times \varepsilon} = \frac{37.88 \text{ cm}}{86,4 \times 0.76 \text{ cm} \times 0.81} = 0.712$$

$$\chi_w = \frac{0.83}{0.712} = 1,16 > 1 \rightarrow \chi_w = 1$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd}$$

$$V_{bw,Rd} = (\chi_w \times f_{yw} \times h_w \times t) / (\sqrt{3} \times \gamma_{M1}) = (1 \times 35.5 \text{ kN/cm}^2 \times 37.88 \text{ cm} \times 0.76 \text{ cm}) / \sqrt{3} \\ = 590 \text{ kN} > 156 \text{ kN} \quad \checkmark \text{ (gerek olmadığı için flanşın katkısı hesap edilmemiştir)}$$

Kirişin sehim tahkiki;

$$\delta_{max} = 28 \text{ mm} \leq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Kirişin yanal burkulma tahkiki;

Kiriş betonarme döşemenin rijitliği nedeniyle yanal olarak tutuludur. Ancak betonarme döşemenin uygulanması sırasında döşeme rijitliğini kazanana kadar çelik kiriş yanal burkulmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Bu nedenle kiriş geçici olarak orta noktasından yanal burkulmaya karşı tutulmuştur. İnşaat safhası yükleri;

$$\text{Beton + trapez sac} = 237 \text{ kg / m}^2 = 2.37 \text{ kN / m}$$

$$\text{Hareketli yük} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kiriş üstündeki yayılı yük} = 2.325 \text{ m} \times (1.35 \times 2.37 + 1.5 \times 2) + 1.35 \times 0.672 \text{ kN/m} = 15.32 \text{ kN/m}$$

$$M_{sd} = 13800 \text{ kNcm}$$

$$\text{Burkulma eğrisi grubu: } h/b = 2.35 > 2 ; c$$

$$\alpha_{LT} = 0.49, i_z = 4.19 \text{ cm}, L = 425 \text{ cm}, \lambda_{LT0} = 0.4, \beta = 0.75$$

$$\lambda_{LT} = L / (i_z * 85) = 1.19$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 * (1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{LT0})) + \beta * \lambda_{LT} = 1.23$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \lambda_{LT}^2}} = 0.53$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_y * f_y / \gamma_{M1} = 0.53 * 1494 \text{ cm}^3 * 35.5 \text{ kN/cm}^2 / 1 = 28027 \text{ kNcm} > 13800 \text{ kNcm} \quad \checkmark$$

3.4.1.2 Döşeme kirişinin sürekli kiriş olarak tasarlanması

Seçilen kesit: IPE 400 A

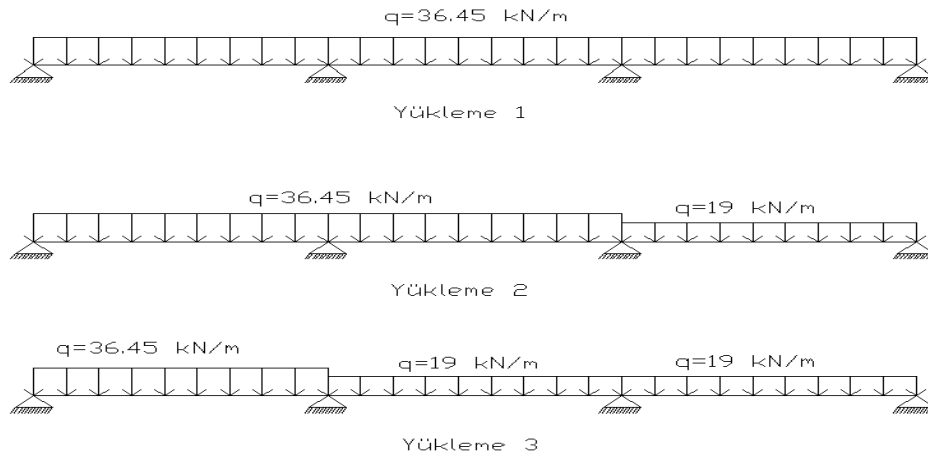
Malzeme Kalitesi: St 52 / S355

$$G = 57.4 \text{ kg/m}^2, h = 397 \text{ mm}, b = 180 \text{ mm}, t_g = 7 \text{ mm}, t_f = 12 \text{ mm}, A = 73.1 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 20290 \text{ cm}^4, W_{el,y} = 1022 \text{ cm}^3, W_{pl,y} = 1144 \text{ cm}^3$$

Kirişe etkiyen yayılı yüke kiriş zati ağırlığıda eklenerek aşağıda gösterilen yükleme durumları incelenmiştir.

$35.68 \text{ kN/m} + 1.35 * 0.574 \text{ kN/m} = 36.45 \text{ kN/m}$ bulunur. En elverişsiz kesit tesirleri ve sehim için Şekil 3.15' de ki yükleme durumları ele alınmış, yarım yükleme yapılan bölümlerde hareketli yük çıkartılmıştır.



Şekil 3.15: Sürekli kiriş için yükleme halleri.

Sehim kriteri için en elverişsiz durum Yükleme 3 etkileri altında oluşmuştur;

$$- \delta_{\max} = 24.72 \text{ mm}$$

Tasarım kesit tesirleri için en elverişsiz durum Yükleme 2 etkileri altında oluşmuştur;

- $M_{sd} = 277 \text{ kNm}$
- $V_{sd} = 184 \text{ kN}$

Profil enkesit sınıfının saptanması

Gövde enkesit sınıfı;

$$c = 331 \text{ mm}, t = 7 \text{ mm} ; c/t = 47.28$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 72 \times 0.81 = 58.32 \geq 47.28 ; \text{ gövde enkesit sınıfı 1}$$

Başlık enkesit sınıfı;

$$c = 62.2 \text{ mm}, t = 12 \text{ mm} ; c/t = 5.18$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 9 \times 0.81 = 7.29 \geq 5.18 ; \text{ başlık enkesit sınıfı 1}$$

Profil enkesit sınıfı 1 olarak saptanmıştır.

Kesitin eğilme dayanımı kontrolü;

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1144 \text{ cm}^3 \times 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 40612 \text{ kNcm} = 406.12 \text{ kNm} \geq M_{sd} = 277 \text{ kNm} \checkmark$$

Kesitin kesme dayanımı kontrolü;

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

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f = 35.78 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{35.78 \times 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / \sqrt{3}}{1} = 733.34 \text{ kN} \geq V_{sd} = 184 \text{ kN} \checkmark$$

Kirişin sehim tahkiki;

$$\delta_{max} = 24.72 \text{ mm} \leq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm} \checkmark$$

- Tasarım kesme kuvveti $V_{sd} = 184 \text{ kN} \leq \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{733.34}{2} = 366.67 \text{ kN}$ olduğundan kesme kuvvetinin moment dayanımına olan etkisi göz ardı edilmiş ve moment dayanımı indirgenmemiştir.
- Kiriş gövde derinliği $h_w = 331 \text{ mm}$, gövde kalınlığı $t_w = 7 \text{ mm}$ olmak üzere;

$$\frac{h_w}{t_w} = 47.28 < \frac{72 \times \varepsilon}{\eta} = \frac{72 \times 0.81}{1.2} = 48.6 \text{ olduğu için gövdenin burkulma dayanımı}$$

ayrıntılı olarak incelenmemiştir.

Kirişin yanal burkulma tahkiki;

Kiriş betonarme döşemenin rijitliği nedeniyle yanal olarak tutuludur. Ancak betonarme döşemenin uygulanması sırasında döşeme rijitliğini kazanana kadar çelik kiriş yanal burkulmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Bu nedenle kirişler orta noktalarından yanal doğrultuda tutulmuştur. İnşaat safhası yükleri;

$$\text{Beton + trapez sac} = 237 \text{ kg / m}^2 = 2.37 \text{ kN / m}$$

$$\text{Hareketli yük} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kiriş üstündeki yayılı yük} = 2.325 \text{ m} \times (1.35 \times 2.37 + 1.5 \times 2) + 1.35 \times 0.574 \text{ kN/m} = 15.19 \text{ kN/m}$$

$$\text{En büyük açıklık momenti } M_{sd} = 9417 \text{ kNcm}$$

$$\text{Burkulma eğrisi grubu: } h/b = 2.2 > 2 ; c$$

$$\alpha_{LT} = 0.49 , i_z = 4 \text{ cm}, L = 850 \text{ cm}, \lambda_{LT0} = 0.4, \beta = 0.75$$

$$\lambda_{LT} = L / (i_z \times 85) = 1.25$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \times (1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{LT0})) + \beta \times \lambda_{LT} = 1.29$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \lambda_{LT}^2}} = 0.50$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times W_y \times f_y / \gamma_{M1} = 0.50 \times 1144 \text{ cm}^3 \times 35.5 \text{ kN/cm}^2 / 1 = 20271 \text{ kNcm} > 9417 \text{ kNcm} \quad \checkmark$$

3.4.1.3 Döşeme kirişinin kompozit kiriş olarak tasarlanması

Seçilen kesit: IPE 300 A

Malzeme kalitesi: St 52 / S355

$$G = 36.5 \text{ kg/m}, h = 297 \text{ mm}, b = 150 \text{ mm}, t_g = 6.1 \text{ mm}, t_f = 9.2 \text{ mm}, A = 46.5 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 7173 \text{ cm}^4, W_{el,y} = 483 \text{ cm}^3, W_{pl,y} = 542 \text{ cm}^3$$

Betonarme kesit özellikleri: 1mm kompozit döşeme trapezi

Oluk yüksekliği $h_p = 70 \text{ mm}$, toplam yükseklik $h = 130 \text{ mm}$, Beton sınıfı = C25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

Döşeme kirişinin kompozit kiriş olarak hesap edilmesi ,çelik kirişin beton ve inşaat sırasındaki hareketli yükler altında tek başına çalıştığı aşama, çelik kiriş ile betonun kompozit olarak çalıştığı aşama olarak 2 safhada incelenmiştir.

Çelik kirişin tek başına çalıştığı aşama için yükler ;

$$13 \text{ cm betonarme döşeme (trapez ile dolu hacim) : } 0.094 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 226 \text{ kg/m}^2$$

$$1 \text{ mm trapez sac : } 11 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Hareketli yük: } 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\sum g = (226 \text{ kg/m}^2 + 11 \text{ kg/m}^2) \times 2.325 \text{ m} + 36.5 \text{ kg/m} = 587.525 \text{ kg/m}$$

$$\sum q = 200 \text{ kg/m}^2 \times 2.325 \text{ m} = 465 \text{ kg/m}$$

$$\text{Taşıma gücü yük kombinasyonu: } \gamma_G \times G + \gamma_Q \times Q = 1.35 \times 587.525 \text{ kg/m} + 1.5 \times 465 \text{ kg/m} = 14.91 \text{ kN/m}$$

$$- M_{sd} = 134.65 \text{ kNm}$$

$$- V_{sd} = 63.37 \text{ kN}$$

Profil enkesit sınıfının saptanması

Gövde enkesit sınıfı;

$$c = 248.6 \text{ mm}, t = 6.1 \text{ mm} ; c/t = 40.75$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 72 \times 0.81 = 58.32 \geq 40.75 ; \text{ gövde enkesit sınıfı 1}$$

Başlık enkesit sınıfı;

$$c = 53.95 \text{ mm}, t = 9.2 \text{ mm} ; c/t = 5.86$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 9 \times 0.81 = 7.29 \geq 5.86 ; \text{ başlık enkesit sınıfı 1}$$

Profil enkesit sınıfı 1 olarak saptanmıştır.

Kesitin eğilme dayanımı kontrolü;

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{542 \text{ cm}^3 \times 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 19241 \text{ kNcm} = 192.41 \text{ kNm} \geq M_{sd} = 136.45 \text{ kNm}$$

Kesitin kesme dayanımı kontrolü;

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

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f = 22.22 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{22.22 \times 35.5 \frac{kN}{cm^2} / \sqrt{3}}{1} = 455.41 \text{ kN} \geq V_{sd} = 63.37 \text{ kN}$$

Kirişin sehim tahkiki;

$$\delta_{max} = 48.29 \text{ mm} \geq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm}$$

Görüldüğü üzere ıslak beton mukavemetini kazanıp kompozit çalışma başlayana kadar çelik kiriş ilgili yükleri güvenle taşıyabilmekte ancak sehim beklenenden fazla olmaktadır. Buna önlem olarak;

- Uygulama sırasında kiriş orta noktasından desteklenebilir.
- Çelik kirişe ters sehim verilebilir.

Kirişin yanal burkulma tahkiki;

Kiriş betonarme döşemenin rijitliği nedeniyle yanal olarak tutuludur. Ancak betonarme döşemenin uygulanması sırasında döşeme rijitliğini kazanana kadar çelik kiriş yanal burkulmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Bu nedenle kirişler üçte bir noktalarından yanal doğrultuda tutulmuştur. İnşaat safhası yükleri;

$$\text{Beton + trapez sac} = 237 \text{ kg / m}^2 = 2.37 \text{ kN / m}$$

$$\text{Hareketli yük} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kiriş üstündeki yayılı yük} = 2.325 \text{ m} \times (1.35 \times 2.37 + 1.5 \times 2) + 1.35 \times 0.365 \text{ kN/m} = 14.9 \text{ kN/m}$$

$$M_{sd} = 13465 \text{ kNcm}$$

Burkulma eğrisi grubu: $h/b = 1.98 < 2$; b

$$\alpha_{LT} = 0.34, i_z = 4 \text{ cm}, L = 212.5 \text{ cm}, \lambda_{LT0} = 0.4, \beta = 0.75$$

$$\lambda_{LT} = L / (i_z \times 85) = 0.75$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \times (1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{LT0})) + \beta \times \lambda_{LT} = 0.77$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \lambda_{LT}^2}} = 0.84$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times W_y \times f_y / \gamma_{M1} = 0.84 \times 542 \text{ cm}^3 \times 35.5 \text{ kN/cm}^2 / 1 = 16254 \text{ kNcm} > 13465 \text{ kNcm} \quad \checkmark$$

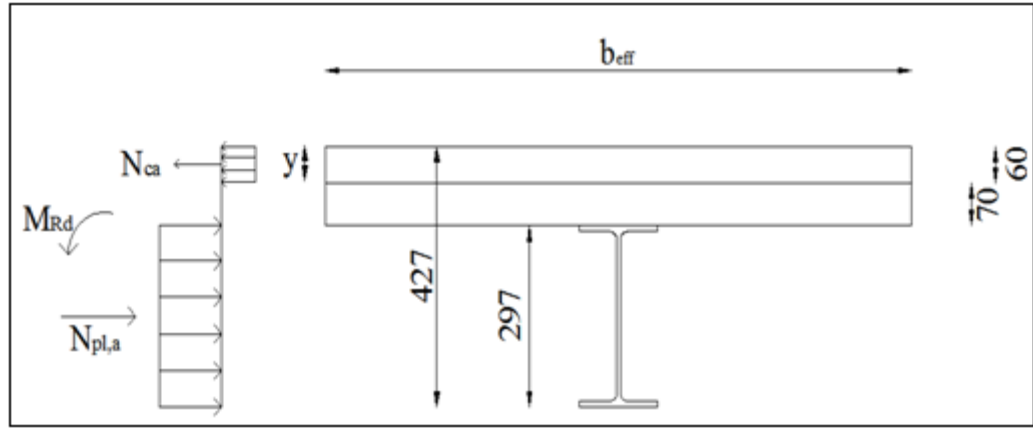
Kirişin kompozit olarak çalıştığı safha için yükler

Tam yükleme durumu geçerlidir. Kiriş öz ağırlığıda dahil edildiğinde, $35.68 \text{ kN/m} + 1.35 \times 0.365 \text{ kN/m} = 36.17 \text{ kN/m}$ bulunur.

$$M_{sd} = 32666 \text{ kNcm}$$

$$V_{sd} = 153.73 \text{ kN}$$

Kesit tesirleri yukarıdaki gibi hesaplanan kompozit kiriş enkesiti ve bu enkesite ait ölçüler Şekil 3.16' da gösterilmiştir.



Şekil 3.16: Kompozit döşeme kirişi kesit görünüşü.

Etkili tabla genişliğinin belirlenmesi;

$$b_{eff} = b_0 + \sum b_{ei}$$

$$L_e = L/8 = 8.5 \text{ m} / 8 = 1.0625 \text{ m}$$

$$b_{e1} = 1.0625$$

$$b_{e1} = 2.325 \text{ m} / 2 = 1.1625 \text{ m}$$

$$b_{e1} = \min \begin{cases} 1.0625 \\ 1.1625 \end{cases} = 1.0625 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 0 + 2 \times 1.0625 = 2.125 \text{ m}$$

Tam kayma bağlantılı durum için kesitin moment dayanımı;

$y < 60 \text{ mm}$ olması ve tarafsız eksenin beton kesitin içinde kalması durumunda çelik kesitin taşıyacağı kuvvet, $N_{pl,a} = (A \times f_{yd}) / \gamma_{m0} = 46.5 \text{ cm}^2 \times 35.5 \text{ kN/cm}^2 / 1 = 1650.75 \text{ kN}$

Bu durumda beton kesitin taşıyacağı kuvvet, $N_{ca} = \frac{0.85 \times y \times 212.5 \text{ cm} \times 2.5 \text{ kN/cm}^2}{1.5} = 301.04 \text{ y}$

$$301.04 \text{ y} = 1650.75 \text{ kN} ; y = 5.48 \text{ cm} < 6 \text{ cm} \quad \checkmark$$

$$M_{Rd} = 1650.75 \text{ kN} \times (42.7 \text{ cm} - 29.7/2 - 5.48 \text{ cm}) = 36921.5 \text{ kNcm} > 32666 \text{ kNcm} \quad \checkmark$$

Tarafsız eksen derinliği ;

$y = 5.48 \text{ cm} < 0.15 \times 42.7 \text{ cm} = 6.4 \text{ cm}$ olduğundan kesitin plastik moment dayanımını indirgemeye gerek yoktur.

Tam kayma bağlantısı için başlıklı saplama tasarımı;

$$d = 20 \text{ mm}, h = 90 \text{ mm}, f_u = 500 \text{ N/mm}^2, \gamma_v = 1.25, f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2, E_{cm} = 30500 \text{ N/mm}^2$$

$$h/d = 4.5 \text{ için } \alpha = 1$$

$$P_{RD} = \frac{0.8 \times 500 \times 3.14 \times 20^2 / 4}{1.25} = 100.48 \text{ kN}$$

$$P_{RD} = \frac{0.29 \times 1 \times 20^2 \times \sqrt{25 \times 30500}}{1.25} = 81.03 \text{ kN}$$

$$N_c = 1650 \text{ kN}$$

$$n = 1650 \text{ kN} / 81.03 \text{ kN} = 20.36 \rightarrow 21 \text{ adet saplama kullanılması tasarlanmıştır.}$$

kiriş uzunluğu $L = 8500 \text{ mm} \rightarrow 8500 / 21 = 404 \text{ mm}$ aralıklarla sağlama kullanılacaktır. Bu aralık $t = 9.2 \text{ mm}$ profil başlık kalınlığı, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ profilin akma dayanımı olmak üzere, yönetmelik uyarınca aşağıdaki değerlerle kısıtlanmıştır;

- $22 \times 9.2 \sqrt{235/355} = 164 \text{ mm}$ (Döşeme plağının tüm uzunluk boyunca bağlantılı olduğu yerlerde : Rijit Döşeme)
- $15 \times 9.2 \sqrt{235/355} =$

Kesitin kesme dayanımı kontrolü;

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

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f = 22.22 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{22.22 \times 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / \sqrt{3}}{1} = 455.41 \text{ kN} \geq V_{sd} = 153.73 \text{ kN}$$

Sehim tahkiki;

Kesitin atalet momenti n modüler oran'a bağlıdır;

$$n = E_a / E_{cm} = 210000 / 31000 = 6.77$$

$$b^* = b_{eff} / 2n = 212.5 \text{ cm} / 13.54 = 15.69 \text{ cm}$$

$$I_{y-y} = 30234 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_{max} = 26.28 \text{ mm} \leq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm}$$

- Tasarım kesme kuvveti $V_{sd} = 153.73 \text{ kN} \leq \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{455.41}{2} = 227.5 \text{ kN}$ olduğundan kesme kuvvetinin moment dayanımına olan etkisi göz ardı edilmiş ve moment dayanımı indirgenmemiştir.
- Kiriş gövde derinliği $h_w = 248.6 \text{ mm}$, gövde kalınlığı $t_w = 6.1 \text{ mm}$ olmak üzere;

$$\frac{h_w}{t_w} = 40.75 < \frac{72 \times \epsilon}{\eta} = \frac{72 \times 0.81}{1.2} = 48.6 \text{ olduğu için gövdenin burkulma dayanımı ayrıntılı olarak incelenmemiştir.}$$

3.4.1.4 Döşeme kirişlerinin karşılaştırılması

Döşeme kirişleri basit kiriş, sürekli kiriş ve basit açıklıklı kompozit kiriş olarak ayrı ayrı boyutlandırılmıştır. Yapılan çözümler sonrasında sırasıyla;

- IPEA450 , $G = 67.2 \text{ kg/m}$
- IPEA400 , $G = 57.4 \text{ kg/m}$
- IPEA300 , $G = 36.5 \text{ kg/m}$

Tüm yapıda yaklaşık olarak 13200 m döşeme kirişi kullanılmaktadır. Bu hesaba göre ;

- IPEA450 , $\sum G = 887 \text{ ton}$
- IPEA400 , $\sum G = 757 \text{ ton}$
- IPEA300 , $\sum G = 481.8 \text{ ton}$ toplam kiriş ağırlıkları karşımıza çıkmaktadır.

Kompozit kirişin toplam ağırlık bazında basit kirişe göre 406 ton, sürekli kirişe göre ise 276 ton gibi çok ciddi bir avantaj sağladığı açıkça görülebilmektedir. Bu yüzden yapıda IPEA 300 kesitinde sürekli kiriş kullanılmasına karar verilmiştir.

3.4.2 Çatı katı döşeme kirişlerinin boyutlandırılması

$$\sum \text{Zati yük} = 581 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Hareketli yük} = 750 \text{ kg/m}^2$$

Düşey yükler için yüklerin birleştirilmesi;

Taşıma gücü sınır durumu için ; $\gamma_{Gj,sup} = 1.35$, $\gamma_{Q,1} = 1.50$ olmak üzere,
 $\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ olarak ele alınacaktır.

$$1.35 \times 581 \text{ kg/m}^2 + 1.5 \times 750 \text{ kg/m}^2 = 1910 \text{ kg/m}^2 = 19.1 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Döşeme kirişi aralıkları} = 2.325 \text{ m,}$$

Bir döşeme kirişine gelen yayılı yük 44.4 kN/m olarak bulunur.

Kullanılabilirlik sınır durumu için;

$$G_{kj,sup} + Q_{k1} = 581 \text{ kg/m}^2 + 750 \text{ kg/m}^2 = 1331 \text{ kg/m}^2$$

$$2.325 \text{ m} \times 13.31 \text{ kN/m}^2 = 30.95 \text{ kN/m}^2$$

Seçilen Kesit: IPE 330 A

Malzeme kalitesi: St 52 / S355

$$G = 43 \text{ kg/m, } h = 327 \text{ mm, } b = 160 \text{ mm, } t_g = 6.5 \text{ mm, } t_f = 10 \text{ mm, } A = 54.7 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 10230 \text{ cm}^4, W_{el,y} = 626 \text{ cm}^3, W_{pl,y} = 702 \text{ cm}^3$$

Betonarme kesit özellikleri: 1mm kompozit döşeme trapezi

Oluk yüksekliği $h_p = 70 \text{ mm}$, toplam yükseklik $h = 130 \text{ mm}$, Beton sınıfı = C30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

kiriş özağırlığı ile birlikte çizgisel yayılı yük , $44.4 \text{ kN/m} + 1.35 \times 0.43 \text{ kN/m} = 45 \text{ kN/m}$ bulunur.

$$M_{sd} = 40640 \text{ kNcm}$$

$$V_{sd} = 191.25 \text{ kN}$$

Etkili Tabla Genişliğinin Belirlenmesi;

$$b_{eff} = b_0 + \sum b_{ei}$$

$$L_e = L/8 = 8.5 \text{ m} / 8 = 1.0625 \text{ m}$$

$$b_{e1} = 1.0625$$

$$b_{e1} = 2.325\text{m} / 2 = 1.1625 \text{ m}$$

$$b_{e1} = \min \begin{cases} 1.0625 \\ 1.1625 \end{cases} = 1.0625 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 0 + 2 \times 1.0625 = 2.125 \text{ m}$$

Tam kayma bağlantılı durum için kesitin moment dayanımı;

$y < 60 \text{ mm}$ olması ve tarafsız eksenin beton kesitin içinde kalması durumunda çelik kesitin taşıyacağı kuvvet, $N_{pl,a} = (A \times f_{yd}) / \gamma_{m0} = 54.7 \text{ cm}^2 \times 35.5 \text{ kN/cm}^2 / 1 = 1941.85 \text{ kN}$

Bu durumda beton kesitin taşıyacağı kuvvet, $N_{ca} = \frac{0.85 \times y \times 212.5 \text{ cm} \times 3 \text{ kN/cm}^2}{1.5} = 361.25 \text{ y}$

$$361.25 \text{ y} = 1941.85 \text{ kN} ; y = 5.37 \text{ cm} < 6 \text{ cm} \quad \checkmark$$

$$M_{Rd} = 1941.85 \text{ kN} \times (13 \text{ cm} - 5.37 \text{ cm} + 32.7\text{cm}/2) = 46565.56 \text{ kNcm} > 40640 \text{ kNcm} \quad \checkmark$$

Tarafsız eksen derinliği ;

$y = 5.37 \text{ cm} < 0.15 \times 45.7 \text{ cm} = 6.855 \text{ cm}$ olduğundan kesitin plastik moment dayanımını indirmeye gerek yoktur.

Tam kayma bağlantısı için başlıklı saplama tasarımı;

$$d = 20 \text{ mm}, h = 90 \text{ mm}, f_u = 500 \text{ N/mm}^2, \gamma_v = 1.25, f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2, E_{cm} = 30500 \text{ N/mm}^2$$

$$h/d = 4.5 \text{ için } \alpha = 1$$

$$P_{RD} = \frac{0.8 \times 500 \times 3.14 \times 20^2 / 4}{1.25} = 100.48 \text{ kN}$$

$$P_{RD} = \frac{0.29 \times 1 \times 20^2 \times \sqrt{25 \times 30500}}{1.25} = 81.03 \text{ kN}$$

$$N_c = 1941.85 \text{ kN}$$

$$n = 1941.85 \text{ kN} / 81.03 \text{ kN} = 23.96 \rightarrow 24 \text{ adet saplama kullanılması tasarlanmıştır.}$$

kiriş uzunluğu $L = 8500 \text{ mm} \rightarrow 8500 / 21 = 404 \text{ mm}$ aralıklarla sağılama kullanılacaktır. Bu aralık $t = 9.2 \text{ mm}$ profil başlık kalınlığı, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ profilin akma dayanımı olmak üzere, yönetmelik uyarınca aşağıdaki değerlerle kısıtlanmıştır;

- $22 \times 9.2 \sqrt{235/355} = 164 \text{ mm}$ (Döşeme plağının tüm uzunluk boyunca bağlantılı olduğu yerlerde : Rijit Döşeme)
- $15 \times 9.2 \sqrt{235/355} =$

Kesitin kesme dayanımı kontrolü;

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

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f = 26.95 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{26.95 \times 35.5 \frac{kN}{cm^2} / \sqrt{3}}{1} = 552 \text{ kN} \geq V_{sd} = 191 \text{ kN}$$

Sehim Tahkiki;

Kesitin atalet momenti n modüler oran'a bağlıdır;

$$n = E_a / E_{cm} = 210000 / 31000 = 6.77$$

$$b^* = b_{eff} / 2n = 212.5 \text{ cm} / 13.54 = 15.69 \text{ cm}$$

$$I_{y-y} = 35635.76 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_{max} = 26.28 \text{ mm} \leq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm}$$

- Tasarım kesme kuvveti $V_{sd} = 153.73 \text{ kN} \leq \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{455.41}{2} = 227.5 \text{ kN}$ olduğundan kesme kuvvetinin moment dayanımına olan etkisi göz ardı edilmiş ve moment dayanımı indirgenmemiştir.
- Kiriş gövde derinliği $h_w = 248.6 \text{ mm}$, gövde kalınlığı $t_w = 6.1 \text{ mm}$ olmak üzere;

$$\frac{h_w}{t_w} = 40.75 < \frac{72 \times \varepsilon}{\eta} = \frac{72 \times 0.81}{1.2} = 48.6 \text{ olduğu için gövdenin burkulma dayanımı ayrıntılı olarak incelenmemiştir.}$$

3.4.3 Kuşakların boyutlandırılması

Kuşaklar açıklıklarına, bulundukları bölgeye göre kaplandıkları malzemenin zati ağırlıklarına ve rüzgar yüklerine göre boyutlandırılmışlardır.

- **A & I aksları cephesi**

Kuşak açıklıkları = 8500 mm, Kuşak aralıkları = 3000 mm, Kuşaklar 2 açıklıkta sürekli geçmektedir.

Kuşaklara etkiyen düşey yükler ; Sandviç panel = 20 kg/m²

Kuşaklara etkiyen yatay yükler;

- Rüzgar ±Y için = 75 kg/m² (Tüm cephe için)
- Rüzgar ± X için = 106 kg/m² (A cephesinin sağdan ve soldan 10 m'lik kısımları için)
= 71 kg/m² (10 m' den sonra gelen 43 m lik kısım için)

rüzgar durumları tasarım için en elverişsiz etkileri oluşturan yüklerdir. A aksı üzerinde bulunan kuşakların büyük bir kısmı 75 kg/m² lik yüke göre, kenar açıklıklarda bulunan ve 10 m'lik genişliğe giren kuşaklar ise 106 kg/m² & 71 kg/m² lik yüklere göre tasarlanacaktır.

Hareketli yük olarak tanımlanan rüzgar yükü 1,5 ile ve aşık aralığı ile çarpılırsa;

$$q_{3-3} = 75 \text{ kg/m}^2 \times 1,5 \times 3 \text{ m} = 337,5 \text{ kg/m} = 3,31 \text{ kN/m}$$

$$q_{2-2} = 20 \text{ kg/m}^2 \times 1,35 \times 3 \text{ m} + 1,35 \times 30,7 \text{ kg/m} = 123 \text{ kg/m} = 1,2 \text{ kN/m}$$

Seçilen kesit : IPEA 200

Malzeme kalitesi: St 52 / S355

$$G = 18.4 \text{ kg/m}, h = 197 \text{ mm}, b = 100 \text{ mm}, t_g = 4.5 \text{ mm}, t_f = 7 \text{ mm}, A = 23.5 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 1591 \text{ cm}^4, W_{el,y} = 162 \text{ cm}^3, W_{pl,y} = 182 \text{ cm}^3$$

$$I_z = 117 \text{ cm}^4, W_{el,z} = 23.4 \text{ cm}^3, W_{pl,z} = 36.5 \text{ cm}^3$$

$$M_{sd3-3} = 2983 \text{ kNcm}, V_{2-2} = 34 \text{ kN}$$

Kesit düşey yönde gergiler tarafından 4 te bir noktalarından tutulmuştur.

$$M_{sd2-2} = 125 \text{ kNcm}, V_{3-3} = 2.5 \text{ kN}$$

- Profil Enkesit Sınıfının Saptanması

Gövde enkesit sınıfı;

$$c = 159 \text{ mm}, t = 4.5 \text{ mm} ; c/t = 35.3$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 \Rightarrow 72 \times 0.81 = 58.32 \geq 35.3 ; \text{ gövde enkesit sınıfı 1}$$

Başlık enkesit sınıfı;

$$c = 38 \text{ mm}, t = 7 \text{ mm} ; c/t = 5.43$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 9 \times 0.81 = 7,29 \geq 5.43 ; \text{ başlık enkesit sınıfı 1}$$

Profil enkesit sınıfı 1 olarak saptanmıştır.

Kesitin eğilme dayanımı kontrolü;

$$M_{pl,Rd (3-3)} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{182 \text{ cm}^3 \times 35.5 \frac{kN}{cm^2}}{1} = 6461 \text{ kNcm} = 64.61 \text{ kNm} \geq M_{sd} = 29.83 \text{ kNm} \quad \checkmark$$

$$M_{pl,Rd (2-2)} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{36.5 \text{ cm}^3 \times 35.5 \frac{kN}{cm^2}}{1} = 1295 \text{ kNcm} = 12.95 \text{ kNm} \geq M_{sd} = 1.25 \text{ kNm} \quad \checkmark$$

Kesitin kesme dayanımı kontrolü;

$$V_{pl,Rd (2-2)} = \frac{A_v \times (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f = 11.49 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{11.49 \times 35.5 \frac{kN}{cm^2} / \sqrt{3}}{1} = 235 \text{ kN} \geq V_{sd} = 34 \text{ kN} \quad \checkmark$$

- Tasarım kesme kuvveti $V_{sd} = 34 \text{ kN} \leq \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{235}{2} = 117.5 \text{ kN}$ olduğundan kesme kuvvetinin moment dayanımına olan etkisi göz ardı edilmiş ve moment dayanımı indirgenmemiştir
- Kiriş gövde derinliği $h_w = 159 \text{ mm}$, gövde kalınlığı $t_w = 4.5 \text{ mm}$ olmak üzere;

$$\frac{h_w}{t_w} = 35.33 < \frac{72 \times \varepsilon}{\eta} = \frac{72 \times 0.81}{1.2} = 48.6 \text{ olduğu için gövdenin burkulma dayanımı ayrıntılı olarak incelenmemiştir.}$$

Kirişin sehim tahkiki;

$$\delta_{max3-3} = 27.9 \text{ mm} \leq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$\delta_{max2-2} = 7.8 \text{ mm} \leq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Kirişin yanal burkulma tahkiki;

$$M_{sd} = 2983 \text{ kNcm}$$

Burkulma eğrisi grubu: $h/b = 1.97 \leq 2 ; b$

$$\alpha_{LT} = 0.34 , i_z = 2.23 \text{ cm} , L = 212.5 \text{ cm} , \lambda_{LT0} = 0.4 , \beta = 0.75$$

$$\lambda_{LT} = L / (iz * 85) = 1.12$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 * (1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{LT0}) + \beta \times \lambda_{LT}^2) = 1.1$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \lambda_{LT}^2}} = 0.62$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times W_y \times f_y / \gamma_{M1} = 0.62 \times 182 \text{ cm}^3 \times 35.5 \text{ kN /cm}^2 / 1 = 4005 \text{ kNcm} > 2935 \text{ kNcm} \quad \checkmark$$

- Düşey yükler aynı olmakla birlikte rüzgar yükünün 31 kg/m² daha fazla olduğu 10 m genişliğindeki cephe kısımlarında ;

$$q_{3-3} = 106 \text{ kg/m}^2 \times 1.5 \times 3 \text{ m} = 337.5 \text{ kg/m} = 4.67 \text{ kN/m}$$

$$q_{2-2} = 20 \text{ kg/m}^2 \times 1.35 \times 3 \text{ m} + 1.35 \times 30.7 \text{ kg/m} = 123 \text{ kg/m} = 1.2 \text{ kN/m}$$

Seçilen kesit : IPE 220

Malzeme kalitesi: St 52 / S355

$$G = 26.2 \text{ kg/m}, h = 220 \text{ mm}, b = 110 \text{ mm}, t_g = 5.9 \text{ mm}, t_f = 9.2 \text{ mm}, A = 33.4 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 2772 \text{ cm}^4, W_{el,y} = 252 \text{ cm}^3, W_{pl,y} = 285 \text{ cm}^3$$

$$I_z = 205 \text{ cm}^4, W_{el,z} = 37.3 \text{ cm}^3, W_{pl,z} = 58.1 \text{ cm}^3$$

$$M_{sd3-3} = 3594 \text{ kNcm}, V_{2-2} = 20 \text{ kN}$$

Kesit düşey yönde gerçiler tarafından 4 te bir noktalarından tutulmuştur.

$$M_{sd2-2} = 125 \text{ kNcm}, V_{3-3} = 2.5 \text{ kN}$$

- Profil enkesit sınıfının saptanması

Gövde enkesit sınıfı;

$$c = 177.6 \text{ mm}, t = 5.9 \text{ mm} ; c/t = 30$$

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 \Rightarrow 72 \times 0.81 = 58.32 \geq 30 ; \text{ gövde enkesit sınıfı 1}$$

Başlık enkesit sınıfı;

$$c = 49 \text{ mm}, t = 9.2 \text{ mm} ; c/t = 5.3$$

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 9 \times 0.81 = 7.29 \geq 5.3 ; \text{ başlık enkesit sınıfı 1}$$

Profil enkesit sınıfı 1 olarak saptanmıştır.

Kesitin eğilme dayanımı kontrolü;

$$M_{pl,Rd (3-3)} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{285 \text{ cm}^3 \times 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 10117 \text{ kNcm} = 101.17 \text{ kNm} \geq M_{sd} = 35.94 \text{ kNm} \quad \checkmark$$

$$M_{pl,Rd (2-2)} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{58.1 \text{ cm}^3 \times 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 2062 \text{ kNcm} = 20.62 \text{ kNm} \geq M_{sd} = 1.25 \text{ kNm} \quad \checkmark$$

Kesitin kesme dayanımı kontrolü

$$V_{pl,Rd (2-2)} = \frac{A_v \times (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f = 15.91 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{15.91 \times 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / \sqrt{3}}{1} = 326 \text{ kN} \geq V_{sd} = 20 \text{ kN} \quad \checkmark$$

- Tasarım kesme kuvveti $V_{sd} = 20 \text{ kN} \leq \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{326}{2} = 163 \text{ kN}$ olduğundan kesme kuvvetinin moment dayanımına olan etkisi göz ardı edilmiş ve moment dayanımı indirgenmemiştir
- Kiriş gövde derinliği $h_w = 177.6 \text{ mm}$, gövde kalınlığı $t_w = 5.9 \text{ mm}$ olmak üzere;

$$\frac{h_w}{t_w} = 30 < \frac{72 \times \varepsilon}{\eta} = \frac{72 \times 0.81}{1.2} = 48.6 \text{ olduğu için gövdenin burkulma dayanımı ayrıntılı olarak incelenmemiştir.}$$

Kirişin sehim tahkiki;

$$\delta_{\max 3-3} = 27.5 \text{ mm} \leq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$\delta_{\max 2-2} = 5.7 \text{ mm} \leq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Kirişin yanal burkulma tahkiki;

$$M_{sd} = 3594 \text{ kNcm}$$

Burkulma eğrisi grubu: $h/b = 2 \leq 2$; b

$$\alpha_{LT} = 0.34, i_z = 2.48 \text{ cm}, L = 212.5 \text{ cm}, \lambda_{LT0} = 0.4, \beta = 0.75$$

$$\lambda_{LT} = L / (i_z \times 85) = 1$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 * (1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{LT0}) + \beta \times \lambda_{LT}^2) = 0.977$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \lambda_{LT}^2}} = 0.69$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times W_y \times f_y / \gamma_{M1} = 0.69 \times 285 \text{ cm}^3 \times 35.5 \text{ kN/cm}^2 / 1 = 6981 \text{ kNcm} > 3594 \text{ kNcm} \quad \checkmark$$

- 1 & 15 aksları cephesi

Kuşak açıklıkları = 7550 mm, Kuşak aralıkları = 3000 mm, Kuşaklar 2 açıklıkta sürekli geçmektedir.

Kuşaklara etkiyen düşey yükler ; Cam kaplama = 57.8 kg/m²

Kuşaklara etkiyen yatay yükler;

- Rüzgar ± X için = 0.872 kN/m² (Tüm cephe için)
- Rüzgar ± Y için = 1.433 kN/m² (A bölgesi için l = 10m)
= 1.015 kN/m² (B bölgesi için l = 43 m)

1 aksı toplam uzunluğu 92.3 m olmak üzere rüzgar yüklerinin daha fazla olduğu ± Y yönü için tüm kuşaklar A ve B bölgesine dahil olmaktadır. Bu yüzden kuşaklar bu bölgelere ait belirlenmiş rüzgar yüklerine göre tasarlanacaktır.

Orta açıklıklar için;

Hareketli yük olarak tanımlanan rüzgar yükü 1.5 ile ve aşık aralığı ile çarpılırsa;

$$q_{3-3} = 1.015 \text{ kN/m}^2 \times 1.5 \times 3 \text{ m} = 4.57 \text{ kN/m}$$

$$q_{2-2} = 57.8 \text{ kg/m}^2 \times 1.35 \times 3 \text{ m} + 1.35 \times 18.4 \text{ kg/m} = 259 \text{ kg/m} = 2.54 \text{ kN/m}$$

Seçilen kesit : IPEA 200

Malzeme kalitesi: St 52 / S355

$$G = 18.4 \text{ kg/m}, h = 197 \text{ mm}, b = 100 \text{ mm}, t_g = 4.5 \text{ mm}, t_f = 7 \text{ mm}, A = 23.5 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 1591 \text{ cm}^4, W_{el,y} = 162 \text{ cm}^3, W_{pl,y} = 182 \text{ cm}^3$$

$$I_z = 117 \text{ cm}^4, W_{el,z} = 23.4 \text{ cm}^3, W_{pl,z} = 36.5 \text{ cm}^3$$

$$M_{sd3-3} = 3248 \text{ kNcm}, V_{2-2} = 21 \text{ kN}$$

Kesit düşey yönde gergiler tarafından 3 te bir noktalarından tutulmuştur.

$$M_{sd2-2} = 189 \text{ kNcm}, V_{3-3} = 4.18 \text{ kN}$$

- Profil enkesit sınıfının saptanması

Gövde enkesit sınıfı;

$$c = 159 \text{ mm}, t = 4.5 \text{ mm} ; c/t = 35.3$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 \Rightarrow 72 \times 0.81 = 58.32 \geq 35.3 ; \text{ gövde enkesit sınıfı 1}$$

Başlık enkesit sınıfı;

$$c = 38 \text{ mm}, t = 7 \text{ mm} ; c/t = 5.43$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 9 \times 0.81 = 7.29 \geq 5.43 ; \text{ başlık enkesit sınıfı 1}$$

Profil enkesit sınıfı 1 olarak saptanmıştır.

Kesitin eğilme dayanımı kontrolü;

$$M_{pl,Rd (3-3)} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{182 \text{ cm}^3 \times 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 6461 \text{ kNcm} = 64.61 \text{ kNm} \geq M_{sd} = 32.48 \text{ kNm} \quad \checkmark$$

$$M_{pl,Rd (2-2)} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{36.5 \text{ cm}^3 \times 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 1295 \text{ kNcm} = 12.95 \text{ kNm} \geq M_{sd} = 1.89 \text{ kNm} \quad \checkmark$$

Kesitin kesme dayanımı kontrolü;

$$V_{pl,Rd (2-2)} = \frac{A_v \times (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f = 11.49 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{11.49 \times 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / \sqrt{3}}{1} = 235 \text{ kN} \geq V_{sd} = 21 \text{ kN} \quad \checkmark$$

- Tasarım kesme kuvveti $V_{sd} = 21 \text{ kN} \leq \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{235}{2} = 117.5 \text{ kN}$ olduğundan kesme kuvvetinin moment dayanımına olan etkisi göz ardı edilmiş ve moment dayanımı indirgenmemiştir
- Kiriş gövde derinliği $h_w = 159 \text{ mm}$, gövde kalınlığı $t_w = 4,5 \text{ mm}$ olmak üzere;

$$\frac{h_w}{t_w} = 35.33 < \frac{72 \times \varepsilon}{\eta} = \frac{72 \times 0.81}{1.2} = 48.6 \text{ olduğu için gövdenin burkulma dayanımı ayrıntılı olarak incelenmemiştir.}$$

Kirişin sehim tahkiki;

$$\delta_{\max 3-3} = 24.15 \text{ mm} \leq \frac{7550 \text{ mm}}{300} = 25.16 \text{ mm} \checkmark$$

$$\delta_{\max 2-2} = 3.94 \text{ mm} \leq \frac{7550 \text{ mm}}{300} = 25.16 \text{ mm} \checkmark$$

Kirişin yanal burkulma tahkiki;

$$M_{sd} = 3248 \text{ kNcm}$$

Burkulma eğrisi grubu: $h/b = 1.97 \leq 2$; b

$$\alpha_{LT} = 0.34, i_z = 2.23 \text{ cm}, L = 251.6 \text{ cm}, \lambda_{LT0} = 0.4, \beta = 0.75$$

$$\lambda_{LT} = L / (i_z * 85) = 1.33$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 * (1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{LT0}) + \beta \lambda_{LT}^2) = 1.32$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \lambda_{LT}^2}} = 0.51$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times W_y \times f_y / \gamma_{M1} = 0.51 \times 182 \text{ cm}^3 \times 35.5 \text{ kN/cm}^2 / 1 = 3295 \text{ kNcm} > 3248 \text{ kNcm} \checkmark$$

q₃₋₃ A bölgesi için hesaplanırsa;

$$q_{3-3} = 1.433 \text{ kN/m}^2 \times 1.5 \times 3 \text{ m} = 6.45 \text{ kN/m}$$

Seçilen kesit : IPEA 270

Malzeme kalitesi: St 52 / S355

$$G = 30.7 \text{ kg/m}, h = 267 \text{ mm}, b = 135 \text{ mm}, t_g = 5.5 \text{ mm}, t_f = 8.7 \text{ mm}, A = 39.2 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 4917 \text{ cm}^4, W_{el,y} = 368 \text{ cm}^3, W_{pl,y} = 413 \text{ cm}^3$$

$$I_z = 358 \text{ cm}^4, W_{el,z} = 53 \text{ cm}^3, W_{pl,z} = 82.3 \text{ cm}^3$$

$$M_{sd3-3} = 3902 \text{ kNcm}, V_{2-2} = 27 \text{ kN}$$

Kesit düşey yönde gergiler tarafından 3 te bir noktalarından tutulmuştur.

$$M_{sd2-2} = 84 \text{ kNcm}, V_{3-3} = 4.92 \text{ kN}$$

- Profil enkesit sınıfının saptanması

Gövde enkesit sınıfı;

$$c = 219.6 \text{ mm}, t = 5.5 \text{ mm}; c/t = 39.9$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 \Rightarrow 72 \times 0.81 = 58.32 \geq 39.9 ; \text{ gövde enkesit sınıfı 1}$$

Başlık enkesit sınıfı;

$$c = 52.5 \text{ mm}, t = 8.7 \text{ mm} ; c/t = 6.03$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 9 \times 0.81 = 7.29 \geq 6.03 ; \text{ başlık enkesit sınıfı 1}$$

Profil enkesit sınıfı 1 olarak saptanmıştır.

Kesitin eğilme dayanımı kontrolü;

$$M_{pl,Rd (3-3)} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{413 \text{ cm}^3 \times 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 14661 \text{ kNcm} = 146.61 \text{ kNm} \geq M_{sd} = 39 \text{ kNm}$$

√

$$M_{pl,Rd (2-2)} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{82,3 \text{ cm}^3 \times 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 2921.65 \text{ kNcm} \geq M_{sd} = 84 \text{ kNm} \quad \checkmark$$

Kesitin kesme dayanımı kontrolü;

$$V_{pl,Rd (2-2)} = \frac{A_v \times (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f = 18.7 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{18.7 \times 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / \sqrt{3}}{1} = 383 \text{ kN} \geq V_{sd} = 27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

- Tasarım kesme kuvveti $V_{sd} = 27 \text{ kN} \leq \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{383}{2} = 191.5 \text{ kN}$ olduğundan kesme kuvvetinin moment dayanımına olan etkisi göz ardı edilmiş ve moment dayanımı indirgenmemiştir
- Kiriş gövde derinliği $h_w = 219.6 \text{ mm}$, gövde kalınlığı $t_w = 5.5 \text{ mm}$ olmak üzere;

$$\frac{h_w}{t_w} = 39.6 < \frac{72 \times \varepsilon}{\eta} = \frac{72 \times 0.81}{1.2} = 48.6 \text{ olduğu için gövdenin burkulma dayanımı ayrıntılı}$$

olarak incelenmemiştir.

Kirişin sehim tahkiki;

$$\delta_{\max 3-3} = 22.41 \text{ mm} \leq \frac{7550 \text{ mm}}{300} = 25.16 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$\delta_{\max 2-2} = 3.58 \text{ mm} \leq \frac{7550 \text{ mm}}{300} = 25.16 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Kirişin yanal burkulma tahkiki;

$$M_{sd} = 3902 \text{ kNcm}$$

Burkulma eğrisi grubu: $h/b = 1.97 \leq 2$; b

$$\alpha_{LT} = 0.34 , i_z = 3.02 \text{ cm} , L = 251.6 \text{ cm} , \lambda_{LT0} = 0.4 , \beta = 0.75$$

$$\lambda_{LT} = L / (i_z * 85) = 0.98$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 * (1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{LT0}) + \beta * \lambda_{LT}^2) = 0.96$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \lambda_{LT}^2}} = 0.7$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_y * f_y / \gamma_{M1} = 0.7 * 368 \text{ cm}^3 * 35.5 \text{ kN/cm}^2 / 1 = 9114 \text{ kNcm} > 3902 \text{ kNcm} \quad \checkmark$$

3.4.4 Makas kiriş elemanlarının boyutlandırılması

3.4.4.1 Makas kiriş dikmesinin boyutlandırılması

Kesit özellikleri; HEA300 , $h = 29 \text{ cm}$, $b = 30 \text{ cm}$, $t_w = 0.85 \text{ cm}$, $t_f = 1.4 \text{ cm}$,

$$r = 2.7 \text{ cm} , A = 112.5 \text{ cm}^2$$

$$i_{y-y} = 12.74 \text{ cm} , i_{z-z} = 7.49 \text{ cm} , L_{y-y} = L_{z-z} = 220 \text{ cm}$$

Malzeme: S355, $f_y = 35.5 \text{ kN/cm}^2$

$$N_{Ed} = - 3411 \text{ kN (Frame ID: 170762, Program tasarım oranı = 0.95)}$$

Gövde enkesit sınıfı;

$$c = 20.8 \text{ cm} , t = 0.85 \text{ cm} ; c/t = 24.47$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 72 * 0.81 = 58.32 \geq 24.47 ; \text{ gövde enkesit sınıfı 1}$$

Başlık enkesit sınıfı;

$$c = 11.875 \text{ cm} , t = 1.4 \text{ cm} ; c/t = 8.48$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 14 * 0.81 = 11.34 \geq 8.48 ; \text{ başlık enkesit sınıfı 3}$$

Profil enkesit sınıfı 3 olarak saptanmıştır

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \text{ (1,2 ve 3. sınıf enkesitler için)}$$

$$L_{cr} = 220 \text{ cm}, i_{\min} = 7.49 ,$$

$$\lambda_1 = 93.9 \varepsilon ; \varepsilon = 0.81 \text{ (S355 için) } ; \lambda_1 = 76$$

$$\lambda = L_{cr} / (i \times \lambda_1) = 220 / (7.49 \times 76) = 0.386$$

zayıf yönde burkulma için; $h/b \leq 1.2$ ile burkulma eğrisi "c" olarak seçilir.

burkulma eğrisi c için kusur faktörü $\alpha = 0.49$

$$\Phi = 0.5 \times [1 + \alpha (\lambda - 0.2) + \lambda^2] = 0.62$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0.62 + \sqrt{0.62^2 - 0.386^2}} = 0.905$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.905 \times 112.5 \times 35.5}{1} = 3613 \text{ kN}$$

$$\text{Kesit tasarım oranı} ; 3411 \text{ kN} / 3613 \text{ kN} = 0.944 \approx 0.95 \checkmark$$

3.4.4.2 Makas kiriş diyagonalinin boyutlandırılması

Kesit özellikleri; HEAA260 , $h = 24.4 \text{ cm}$, $b = 26 \text{ cm}$, $t_w = 0.65 \text{ cm}$, $t_f = 0.95 \text{ cm}$,

$$A = 69 \text{ cm}^2$$

Malzeme: S355, $f_y = 35.5 \text{ kN/cm}^2$

$$N_{Ed} = 2497 \text{ kN (Frame ID: 170776, Program tasarım oranı} = 1.037)$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \text{ (Bütün enkesit sınıfları için)}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{69 \times 35.5}{1} = 2450 \text{ kN}$$

$$\text{Kesit tasarım oranı} ; 2497 \text{ kN} / 2450 \text{ kN} = 1.02 \approx 1.037 \checkmark$$

3.4.4.3 Makas kirişi üst başlığının boyutlandırılması

Kesit özellikleri; HEA200 , $h = 19 \text{ cm}$, $b = 20 \text{ cm}$, $t_w = 0.65 \text{ cm}$, $t_f = 1 \text{ cm}$,

$$r = 1.8 \text{ cm} , A = 53.83 \text{ cm}^2$$

$$I_{y-y} = 3692 \text{ cm}^4 , W_{ely} = 388.64 \text{ cm}^3 , W_{ply} = 429.48 \text{ cm}^3 , I_{z-z} = 1335.5 \text{ cm}^4 ,$$

$$W_{elz} = 133.55 \text{ cm}^3 , W_{plz} = 203.817 \text{ cm}^3 , i_{y-y} = 8.28 \text{ cm} , i_{z-z} = 4.98 \text{ cm} ,$$

$$L_{y-y} = L_{z-z} = 212.5 \text{ cm}$$

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2 , G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

Malzeme: S355, $f_y = 35.5 \text{ kN/cm}^2$, $\gamma_{M0} = 1$, $\gamma_{M1} = 1$

$$N_{Ed} = - 1098 \text{ kN}, M_{yEd} = 1558.9 \text{ kNcm}, M_{zEd} = 1685.2 \text{ kNcm}$$

(Frame ID: 251812, Program tasarım oranı = 1.061)

Gövde enkesit sınıfı;

$$c = 13.4 \text{ cm}, t = 0.65 \text{ cm} ; c/t = 20.62$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 72 \times 0.81 = 58.32 \geq 20.62 ; \text{ gövde enkesit sınıfı 1}$$

Başlık enkesit sınıfı;

$$c = 7.875 \text{ cm} , t = 1 \text{ cm} ; c/t = 7.875$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 10 \times 0.81 = 8.1 \geq 7.875 ; \text{ başlık enkesit sınıfı 2}$$

Profil enkesit sınıfı 2 olarak saptanmıştır

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{yEd} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{yEd} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

- Eksenel kapasite hesapları;

$$\text{Karakteristik basınç kuvveti } N_{Rk} = f_y \times A = 35.5 \text{ kN/cm}^2 \times 53.83 \text{ cm}^2 = 1910,965 \text{ kN}$$

$$\varepsilon = 0.81 \text{ (S355 malzemesi için)} ; \lambda_1 = 93.9 \times 0.81 = 76.059$$

$$\lambda_y = L / (i_y \times \lambda_1) = 212.5 / (8.28 \times 76) = 0.3374 ;$$

$$\lambda_z = L / (i_z \times \lambda_1) = 212,5 / (4.98 \times 76) = 0.561$$

$h/b \leq 1.2$ için burkulma eğrileri y-y için "b", z-z için "c" olarak belirlenir;

$$\alpha_y = 0.34, \alpha_z = 0.49$$

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + \alpha (\lambda - 0.2) + \lambda^2] = 0.58$$

$$\Phi_z = 0.5 \times [1 + \alpha (\lambda - 0.2) + \lambda^2] = 0.746$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0.58 + \sqrt{0.58^2 - 0.3374^2}} = 0.95$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0.746 + \sqrt{0.746^2 - 0.561^2}} = 0,808$$

Elastik kritik basınç kuvvetleri;

$$N_{cr} = (A x f_y) / \lambda^2$$

$$N_{cr,y} = (53.83 \times 35.5) / 0.3374^2 = 16784 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = (53.83 \times 35.5) / 0.561^2 = 6071 \text{ kN}$$

- Moment kapasite hesapları;

Karakteristik moment dayanımları;

$$M_{rk} = W_{pl} \times f_y \text{ (1 ve 2. sınıf kesitler için)}, M_{rk} = W_{el} \times f_y \text{ (3 ve 4. sınıf kesitler için)}$$

$$M_{y,rk} = 35.5 \text{ kN/cm}^2 \times 429.48 \text{ cm}^3 = 15246 \text{ kNcm}$$

$$M_{z,rk} = 35.5 \text{ kN/cm}^2 \times 203.8 \text{ cm}^3 = 7235 \text{ kNcm}$$

$$\text{Dönme sabiti } I_w = t_f \times b_f^3 \times (h_w + t_f)^2 / 24 = 108000 \text{ cm}^6$$

$$\text{Burulma sabiti } I_t = [2 \times b \times t_f^3 + (h_w + t_f) \times t_w^3] / 3 = 14.98 \text{ cm}^4$$

$$\text{Moment düzeltme katsayısı } C_1 = 1.348$$

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \times \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} = 82804 \text{ kNcm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{429 \text{ cm}^3 \times 35.5 \text{ kN/cm}^2}{82804 \text{ kNcm}}} = 0.429$$

$$h/b \leq 2 \text{ için burkulma eğrisi "a" olarak belirlenir ; } \alpha_{LT} = 0.21$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \times [1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2] = 0.616$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0.616 + \sqrt{0.616^2 - 0.429^2}} = 0.944$$

y-y/z-z etkileşim faktörlerinin hesaplanması

k_{y-y} ;

$$C_{my,0} = 1 - 0.18 N_{Ed} / N_{cr,y} = 0.988$$

$$i_0 = \sqrt{i_y^2 + i_z^2} = 9.66 \text{ cm}$$

$$N_{crT} = \frac{1}{i_0^2} \left(G I_t + \frac{\pi^2 E I_w}{l_T^2} \right) = 6600 \text{ kN},$$

$$\epsilon_y = \frac{M_{y,Ed} \times A}{N_{Ed} \times W_{el,y}} = 0.196 \text{ (1,2 ve 3. sınıf kesitler için)}$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} = 0.995$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \times \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \times a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \times a_{LT}} = 0.991$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \times \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} = 1.11$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0.996$$

$$C_{y-y} = \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} = 0.905$$

$$k_{y-y} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_y}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \times C_{y-y}} = 1.16$$

$$w_i = \frac{W_{pl,i}}{W_{el,i}} \leq 1.5 ; w_y = 1.105, w_z = 1.5$$

$$k_{z-z} ;$$

$$C_{mz,0} = 1 + 0.03 N_{Ed} / N_{cr,z} = 1.005$$

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 1.005$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0.959$$

$$C_{z-z} = \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} = 0.655$$

$$k_{z-z} = C_{mz} \times \frac{\mu_z}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \times C_{z-z}} = 1.094$$

$$k_{y-z} ;$$

$$C_{y-z} = 0.6 \times \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \times \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} = 0.458$$

$$k_{y-z} = C_{mz} \times \frac{\mu_y}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \times C_{y-z}} \times 0.6 \times \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 0.722$$

$$k_{z-y} ;$$

$$C_{z-y} = 0.6 \times \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \times \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} = 0.466$$

$$k_{z-y} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_z}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \times C_{z-y}} \times 0.6 \times \frac{w_y}{w_z} = 0.561$$

* $\Delta M_{i,Ed}$ terimleri enkesit sınıfı 4 için devreye girmektedir. Bu halde göz ardı edilmiştir.

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{yEd} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0.899 \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{yEd} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 1.03 \leq 1$$

Kritik olan tasarım oranı $1.03 \approx 1.06$ (program tasarım oranı) ✓

3.4.4.4 Makas kirişi alt başlığının boyutlandırılması

Kesit özellikleri; HEA320 , h= 31 cm, b = 30 cm, tw = 0.9 cm, tf = 1.55 cm,

$$r = 2.7 \text{ cm} , A = 124.4 \text{ cm}^2$$

$$I_{y-y} = 22930 \text{ cm}^4 , W_{ely} = 1479 \text{ cm}^3 , W_{ply} = 1628 \text{ cm}^3 , I_{z-z} = 2843 \text{ cm}^4 ,$$

$$W_{elz} = 465.7 \text{ cm}^3 , W_{plz} = 709.7 \text{ cm}^3 , i_{y-y} = 13.58 \text{ cm} , i_{z-z} = 7.49 \text{ cm} ,$$

$$L_{y-y} = 425 \text{ cm} , L_{z-z} = 212.5 \text{ cm}$$

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2 , G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Malzeme: S355, } f_y = 35.5 \text{ kN/cm}^2 , \gamma_{M0} = 1 , \gamma_{M1} = 1$$

$$N_{Ed} = - 2963 \text{ kN} , M_{yEd} = 5650 \text{ kNcm} , M_{zEd} = 1732 \text{ kNcm}$$

(Frame ID: 251788, Program tasarım oranı = 0.9)

Gövde enkesit sınıfı;

$$c = 22.5 \text{ cm} , t = 0.9 \text{ cm} ; c/t = 25$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 72 \times 0.81 = 58.32 \geq 25 ; \text{ gövde enkesit sınıfı 1}$$

Başlık enkesit sınıfı;

$$c = 11.85 , t = 1.55 \text{ cm} ; c/t = 7.64$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 10 \times 0.81 = 8.1 \geq 7.64 ; \text{ başlık enkesit sınıfı 2}$$

Profil enkesit sınıfı 2 olarak saptanmıştır

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{yEd} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{yEd} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

- Eksenel kapasite hesapları;

$$\text{Karakteristik basınç kuvveti } N_{Rk} = f_y \times A = 35.5 \text{ kN/cm}^2 \times 124.4 \text{ cm}^2 = 4416.2 \text{ kN}$$

$$\varepsilon = 0.81 \text{ (S355 malzemesi için) ; } \lambda_1 = 93.9 \times 0.81 = 76.059$$

$$\lambda_y = L / (i_y \times \lambda_1) = 425 / (13.58 \times 76) = 0.41 ;$$

$$\lambda_z = L / (i_z \times \lambda_1) = 212.5 / (7.49 \times 76) = 0.373$$

$h/b \leq 1,2$ için burkulma eğrileri y-y için "b", z-z için "c" olarak belirlenir;

$$\alpha_y = 0.34, \alpha_z = 0.49$$

$$\Phi_y = 0,5 \times [1 + \alpha (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0.62$$

$$\Phi_z = 0.5 \times [1 + \alpha (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0.61$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0.62 + \sqrt{0.62^2 - 0.41^2}} = 0.92$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0.61 + \sqrt{0.61^2 - 0.373^2}} = 0.91$$

Elastik kritik basınç kuvvetleri;

$$N_{cr} = (A \times f_y) / \lambda^2$$

$$N_{cr,y} = (124.4 \times 35.5) / 0.41^2 = 26083 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = (124.4 \times 35.5) / 0.373^2 = 31739 \text{ kN}$$

- Moment kapasite hesapları;

Karakteristik moment dayanımları;

$$M_{rk} = W_{pl} \times f_y \text{ (1 ve 2. sınıf kesitler için), } M_{rk} = W_{el} \times f_y \text{ (3 ve 4. sınıf kesitler için)}$$

$$M_{y,rk} = 35.5 \text{ kN/cm}^2 \times 1628 \text{ cm}^3 = 57794 \text{ kNcm}$$

$$M_{z, rk} = 35.5 \text{ kN/cm}^2 \times 709.7 \text{ cm}^3 = 25194 \text{ kNcm}$$

$$\text{Dönme sabiti } I_w = t_f \times b_f^3 \times (h_w + t_f)^2 / 24 = 1512358.734 \text{ cm}^6$$

$$\text{Burulma sabiti } I_t = [2 \times b \times t_f^3 + (h_w + t_f) \times t_w^3] / 3 = 81.63 \text{ cm}^4$$

$$\text{Moment düzeltme katsayısı } C_1 = 1.348$$

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \times \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} = 664790 \text{ kNcm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1628 \text{ cm}^3 \times 35.5 \text{ kN/cm}^2}{664790 \text{ kNcm}}} = 0.295$$

$$h/b \leq 2 \text{ için burkulma eğrisi "a" olarak belirlenir ; } \alpha_{LT} = 0.21$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \times [1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2] = 0.553$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0.553 + \sqrt{0.553^2 - 0.295^2}} = 0.978$$

y-y/z-z etkileşim faktörlerinin hesaplanması

k_{y-y} ;

$$C_{my,0} = 1 - 0.18 N_{Ed} / N_{cr,y} = 0.979$$

$$i_0 = \sqrt{i_y^2 + i_z^2} = 15.5 \text{ cm}$$

$$N_{crT} = \frac{1}{i_0^2} \left(G I_t + \frac{\pi^2 E I_w}{l_T^2} \right) = 31573 \text{ kN},$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed} \times A}{N_{Ed} \times W_{el,y}} = 0.16 \text{ (1,2 ve 3. sınıf kesitler için)}$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} = 0.996$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \times \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \times a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \times a_{LT}} = 0.985$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \times \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} = 1.079$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0.99$$

$$C_{y-y} = \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} = 0.908$$

$$k_{y-y} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_y}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \times C_{y-y}} = 1.174$$

$$w_i = \frac{W_{pl,i}}{W_{el,i}} \leq 1.5 ; w_y = 1,1, w_z = 1.5$$

$$k_{z-z} ;$$

$$C_{mz,0} = 1 + 0.03 N_{Ed} / N_{cr,z} = 1.002$$

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 1.002$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0.991$$

$$C_{z-z} = \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} = 0.656$$

$$k_{z-z} = C_{mz} \times \frac{\mu_z}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \times C_{z-z}} = 1.058$$

$$k_{y-z} ;$$

$$C_{y-z} = 0.6 \times \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \times \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} = 0.459$$

$$k_{y-z} = C_{mz} \times \frac{\mu_y}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \times C_{y-z}} \times 0.6 \times \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 0.733$$

$$k_{z-y} ;$$

$$C_{z-y} = 0.6 \times \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \times \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} = 0.466$$

$$k_{z-y} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_z}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \times C_{z-y}} \times 0.6 \times \frac{w_y}{w_z} = 0.572$$

* $\Delta M_{i,Ed}$ terimleri enkesit sınıfı 4 için devreye girmektedir. Bu halde göz ardı edilmiştir.

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{yEd} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0,896 \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{yEd} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0,866 \leq 1$$

Kritik olan tasarım oranı $0.896 \approx 0.9$ (program tasarım oranı) ✓

3.4.4.5 Kolon boyutlandırılması

Kesit özellikleri; YP1300-1/2YP1300 Yapma Hac Profil

$h = 136 \text{ cm}$, $b = 40 \text{ cm}$, $t_w = 2.5 \text{ cm}$, $t_f = 3 \text{ cm}$,

$A = 1130 \text{ cm}^2$

$I_{y-y} = 1551397 \text{ cm}^4$, $W_{ely} = 22814 \text{ cm}^3$, $W_{ply} = 29125 \text{ cm}^3$, $I_{z-z} = 1618586 \text{ cm}^4$,

$W_{elz} = 23373 \text{ cm}^3$, $W_{plz} = 29831 \text{ cm}^3$, $i_{y-y} = 37.1 \text{ cm}$, $i_{z-z} = 37.8 \text{ cm}$,

$L_{y-y} = 220 \text{ cm}$, $L_{z-z} = 220 \text{ cm}$

$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$, $G = 8077 \text{ kN/cm}^2$

Malzeme: S355, $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$, $\gamma_{M0} = 1$, $\gamma_{M1} = 1$

$N_{Ed} = -15350 \text{ kN}$, $M_{yEd} = 259429 \text{ kNcm}$, $M_{zEd} = 191490 \text{ kNcm}$

(Frame ID:1473, Program tasarım oranı = 0,8)

Gövde enkesit sınıfı;

$c = 65 \text{ cm}$, $t = 2,5 \text{ cm}$; $c/t = 26$

$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 33 \times 0.81 = 26,73 \geq 26$; gövde enkesit sınıfı 1

Başlık enkesit sınıfı;

$c = 18.75$, $t = 3 \text{ cm}$; $c/t = 6.25$

$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 9 \times 0.81 = 7.29 \geq 6,25$; başlık enkesit sınıfı 1

Profil enkesit sınıfı 1 olarak saptanmıştır

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{yEd} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{yEd} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

- Eksenel kapasite hesapları;

Kolon efektif burkulma boyunun hesaplanması; Kolon tasarımı için en elverişsiz kesit tesirleri taban ile ilk kat arasında tespit edilmiştir. makas kirişlerinin rijitlik hesabı için;

- L_{cry}

Makas 1 → Alt Başlık :HEA220 ($A=64,34 \text{ cm}^2$), Üst Başlık HEA120 ($A=25,33 \text{ cm}^2$)

makas yüksekliği $h = 220 \text{ cm}$, makas kiriş boyu ; 1435 cm

$$h_{\bar{u}} = \left[\frac{64,34}{64,34+25,33} \right] \times 220 \text{ cm} = 158 \text{ cm} , h_a = 220 \text{ cm} - 158 \text{ cm} = 62 \text{ cm}$$

$$I_{1-1} = 25.33 \text{ cm} \times (158 \text{ cm})^2 + 64.34 \text{ cm} \times (62 \text{ cm})^2 = 879661 \text{ cm}^4$$

$$K_{1-1} = \left[\frac{I}{L} \right] = \left[\frac{879661}{1435} \right] = 613$$

Makas 2 → Alt Başlık :HEA360 ($A= 142 \text{ cm}^2$), Üst Başlık HEA160 ($A= 39 \text{ cm}^2$)

makas yüksekliği $h = 220 \text{ cm}$, makas kiriş boyu ; 2105 cm

$$h_{\bar{u}} = \left[\frac{142}{142+39} \right] \times 220 \text{ cm} = 173 \text{ cm} , h_a = 220 \text{ cm} - 173 \text{ cm} = 47 \text{ cm}$$

$$I_{1-2} = 39 \text{ cm} \times (173 \text{ cm})^2 + 142 \text{ cm} \times (47 \text{ cm})^2 = 1475682 \text{ cm}^4$$

$$K_{1-2} = \left[\frac{I}{L} \right] = \left[\frac{1475682}{2105} \right] = 701$$

$$K_c = \left[\frac{I}{L} \right] = \left[\frac{1551397}{220} \right] = 7283$$

$\eta_1 = 1$ (Tabanda mafsallı)

$$\eta_2 = \frac{K_c}{K_c + K_{1-1} + K_{1-2}} = \frac{7283}{7283 + 701 + 613} = 0.847$$

η_1 ve η_2 değerleri için ;

$$L_{cr} / L = \sqrt{\frac{1-0,2 \times (\eta_1 + \eta_2) - 0,12 \times (\eta_1 \eta_2)}{1-0,8 \times (\eta_1 + \eta_2) - 0,6 \times (\eta_1 \eta_2)}} = 4,15 \rightarrow L_{cry} = 4.15 \times 220 \text{ cm} = 913 \text{ cm}$$

- L_{crz}

Makas 1 → Alt Başlık : HEA400 ($A=159 \text{ cm}^2$), Üst Başlık HEA240 ($A=106 \text{ cm}^2$)

makas yüksekliği $h = 220 \text{ cm}$, makas kiriş boyu ; 1700 cm

$$h_{\bar{u}} = \left[\frac{159}{106 + 159} \right] \times 220 \text{ cm} = 132 \text{ cm} , h_a = 220 \text{ cm} - 132 \text{ cm} = 88 \text{ cm}$$

$$I_{1-1} = 106 \text{ cm} \times (132 \text{ cm})^2 + 159 \text{ cm} \times (88 \text{ cm})^2 = 3078240 \text{ cm}^4$$

$$K_{1-1} = \left[\frac{1}{L} \right] = \left[\frac{3078240}{1700} \right] = 1810$$

Makas 2 → Alt Başlık : HEA360 (A= 142cm²), Üst Başlık HEB220 (A= 91cm²)

makas yüksekliği h = 220 cm , makas giriş boyu ; 1700 cm

$$h_{\bar{u}} = \left[\frac{142}{142+91} \right] \times 220 \text{ cm} = 135 \text{ cm} , h_a = 220 \text{ cm} - 135 \text{ cm} = 85 \text{ cm}$$

$$I_{1-2} = 91 \text{ cm} \times (135 \text{ cm})^2 + 142 \text{ cm} \times (85 \text{ cm})^2 = 2691650 \text{ cm}^4$$

$$K_{1-2} = \left[\frac{1}{L} \right] = \left[\frac{2691650}{1700} \right] = 1583$$

$$K_c = \left[\frac{1}{L} \right] = \left[\frac{1618586}{220} \right] = 7598$$

$\eta_1 = 1$ (Tabanda mafsallı)

$$\eta_2 = \frac{K_c}{K_c + K_{1-1} + K_{1-2}} = \frac{7598}{7598 + 1810 + 1583} = 0,69$$

η_1 ve η_2 değerleri için ;

$$L_{cr} / L = \sqrt{\frac{1 - 0,2 \times (\eta_1 + \eta_2) - 0,12 \times (\eta_1 \eta_2)}{1 - 0,8 \times (\eta_1 + \eta_2) - 0,6 \times (\eta_1 \eta_2)}} = 3 \rightarrow L_{cry} = 3 \times 220 \text{ cm} = 660 \text{ cm}$$

$$\text{Karakteristik basınç kuvveti } N_{Rk} = f_y \times A = 35.5 \text{ kN/cm}^2 \times 1130 \text{ cm}^2 = 40115 \text{ kN}$$

$$\varepsilon = 0.81 \text{ (S355 malzemesi için) ; } \lambda_1 = 93.9 \times 0.81 = 76.059$$

$$\lambda_y = L_{cry} / (i_y \times \lambda_1) = 913 / (37.1 \times 76) = 0.323 ;$$

$$\lambda_z = L_{crz} / (i_z \times \lambda_1) = 660 / (37.8 \times 76) = 0.229$$

yapma profil $t_f \leq 40 \text{ mm}$ için burkulma eğrileri y-y için "b", z-z için "c" olarak belirlenir;

$$\alpha_y = 0.34, \alpha_z = 0.49$$

$$\Phi_y = 0.5 \times [1 + \alpha (\lambda - 0.2) + \lambda^2] = 0.573$$

$$\Phi_z = 0.5 \times [1 + \alpha (\lambda - 0.2) + \lambda^2] = 0.533$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0.573 + \sqrt{0.573^2 - 0.323^2}} = 0.955$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0.533 + \sqrt{0.533^2 - 0.229^2}} = 0.99$$

Elastik kritik basınç kuvvetleri;

$$N_{cr} = (A x f_y) / \lambda^2$$

$$N_{cr,y} = (1130 \times 35.5) / 0.323^2 = 384504 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = (1130 \times 35.5) / 0.229^2 = 764954 \text{ kN}$$

- Moment kapasite hesapları;

Karakteristik moment dayanımları;

$$M_{rk} = W_{pl} \times f_y \text{ (1 ve 2. sınıf kesitler için)}, M_{rk} = W_{el} \times f_y \text{ (3 ve 4. sınıf kesitler için)}$$

$$M_{y,rk} = 35.5 \text{ kN/cm}^2 \times 29125 \text{ cm}^3 = 1033937 \text{ kNcm}$$

$$M_{z,rk} = 35.5 \text{ kN/cm}^2 \times 29831 \text{ cm}^3 = 1059000 \text{ kNcm}$$

$$\text{Dönme sabiti } I_w = t_f \times b_f^3 \times (h_w + t_f)^2 / 24 = 141512000 \text{ cm}^6$$

$$\text{Burulma sabiti } I_t = [2 \times b \times t_f^3 + (h_w + t_f) \times t_w^3] / 3 = 1412.7 \text{ cm}^4$$

$$\text{Moment düzeltme katsayısı } C_1 = 1.683$$

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \times \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} = 109985834 \text{ kNcm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{29125 \text{ cm}^3 \times 35.5 \text{ kN/cm}^2}{109985834 \text{ kNcm}}} = 0.096$$

$$h/b > 2 \text{ için burkulma eğrisi "b" olarak belirlenir ; } \alpha_{LT} = 0.34$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \times [1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2] = 0.48$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0.48 + \sqrt{0.48^2 - 0.096^2}} = 1.04 \geq 1 ; \chi_{LT} = 1$$

y-y/z-z etkileşim faktörlerinin hesaplanması

k_{y-y} ;

$$C_{my,0} = 1 - 0.18 N_{Ed} / N_{cr,y} = 0.998$$

$$i_0 = \sqrt{i_y^2 + i_z^2} = 52.96 \text{ cm}$$

$$N_{crT} = \frac{1}{i_0^2} \left(G I_t + \frac{\pi^2 E I_w}{l_T^2} \right) = 219887 \text{ kN},$$

$$\epsilon_y = \frac{M_{y,Ed} \times A}{N_{Ed} \times W_{el,y}} = 0.61 \text{ (1,2 ve 3. sınıf kesitler için)}$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} = 0.999$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \times \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \times a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \times a_{LT}} = 0.999$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \times \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} = 1.038$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0.1$$

$$C_{y-y} = \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} = 0.783$$

$$k_{y-y} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_y}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \times C_{y-y}} = 1.04$$

$$w_i = \frac{W_{pl,i}}{W_{el,i}} \leq 1.5 ; w_y = 1.27, w_z = 1.27$$

$$k_{z-z} ;$$

$$C_{mz,0} = 1 + 0.03 N_{Ed} / N_{cr,z} = 1.0002$$

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 1.0002$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 1$$

$$C_{z-z} = \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} = 0.783$$

$$k_{z-z} = C_{mz} \times \frac{\mu_z}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \times C_{z-z}} = 1.007$$

$$k_{y-z} ;$$

$$C_{y-z} = 0.6 \times \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \times \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} = 0.47$$

$$k_{y-z} = C_{mz} \times \frac{\mu_y}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \times C_{y-z}} \times 0.6 \times \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 0.603$$

$$k_{z-y} ;$$

$$C_{z-y} = 0.6 \times \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \times \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} = 0.47$$

$$k_{z-y} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_z}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \times C_{z-y}} \times 0.6 \times \frac{w_y}{w_z} = 0.626$$

* $\Delta M_{i,Ed}$ terimleri enkesit sınıfı 4 için devreye girmektedir. Bu halde göz ardı edilmiştir.

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{yEd} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \gamma_{M1}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}}}{\gamma_{M1}} = 0.720 \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{yEd} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \gamma_{M1}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}}}{\gamma_{M1}} = 0.739 \leq 1$$

Kritik olan tasarım oranı $0.739 \approx 0.8$ (program tasarım oranı) ✓

3.5 Kat Ötelenmelerinin Kontrolü

EN 1998-1 uyarınca yapılan kat ötelenmeleri kontrolü Çizelge 3.16' da verilmiş olup kat ötelenmeleri dinamik analiz sonrası analiz programından elde edilmiştir.

Çizelge 3.16: Eurocode analiz modeli - Kat ötelenmelerinin kontrolü.

Katlar	Kat Yükseklikleri (mm)	d _{emaks} (mm)	d _s (mm) (q=4)	d _r (mm)	d _r x v (v=0.4)	0.01h _i (mm)
Taban	0	0	0	48.80	19.52	32.3
1. Kat	3230	12.20	48.80	119.60	47.84	72
2. Kat	10430	42.10	168.40	93.16	37.26	72
3. Kat	17630	65.39	261.56			

4. YAPININ TÜRK STANDARTLARI UYARINCA BOYUTLANDIRILMASI

4.1 Boyutlandırma Esasları

4.1.1 Genel prensipler

Çelik yapıların boyutlandırılması için kullanımda olan Türk Standartları emniyet gerilmesi esasına göre boyutlandırma yaptırmaktadır. Bu kapsamda, tasarlanacak yapı için tanımlanmış ölü ve hareketli yükler herhangi bir katsayı ile kombine edilmeksizin, bu kombinasyonlar altında yapısal elemanlar boyutlandırılmaktadır. Burada genel prensip öngörülen yükler ve yükleme durumları altında yapısal elemanların elastik şekil değiştirme sınırları içinde kalmasıdır.

Deprem yüklemeleri altında yapıdan normal sünek ve yüksek sünek olmak üzere iki tip davranış beklenebilmektedir. Bu iki süneklik davranışı altında farklı enkesit sınırlamaları bulunmaktadır. Burada enkesit başlık ve gövde boyutlarının sınırlandırılmasının sebebi, yapısal elemanların istenilen süneklik davranışını sergilerken yerel burkulma yada buruşma gibi durumların doğmamasıdır.

4.1.2 Tasarımda kullanılan katsayılar ve dayanım değerleri

Türk standartları uyarınca yapılacak olan tasarımda kullanılacak olan malzeme akma ve çekme dayanımı değerleri Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Yapısal çelik dayanım değerleri.

Çelik Sınıfı	Akma dayanımı (N/mm ²)	Çekme dayanımı (N/mm ²)
St 37	235	363
St 44	275	430
St 52	353	510

Emniyet gerilmeleri için malzeme dayanımları $\sigma_{em} = \sigma_a \times 0,6$ olarak verilmektedir. Yalnız rüzgar yüklerinin bulunduğu kombinasyonlar için bu değer 1,15, deprem etkilerinin bulunduğu kombinasyonlar için ise bu değer 1,33 ile artırılarak kullanılabilir.

4.2 Yükler

4.2.1 Zati Yükler

4.2.1.1 Döşeme zati yükleri

- Granit (2 cm) + bağlayıcı : 54 kg/m^2
- 5 cm tesviye harcı : $0.05 \text{ m} \times 2000 \text{ kg/m}^2 = 100 \text{ kg/m}^2$
- 13 cm betonarme döşeme (trapez ile dolu hacim) : $0.094 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 226 \text{ kg/m}^2$
- 1 mm trapez sac : 11 kg/m^2
- Bölme duvar (hafif alçıpan&cam vitrin) : 110 kg/m^2
- Asma tavan : 20 kg/m^2
- Tesisat & havalandırma : 50 kg/m^2
- İzolasyon (çatı katı için) : 10 kg/m^2

4.2.1.2 Cephe zati yükleri

Cam kaplama yapılan bölgeler için ;

- Cam kaplama : $14 \text{ mm} \times 2700 \text{ kg/m} = 37.8 \text{ kg/m}^2$
- Bağlantı elemanları = 20 kg/m^2

Zati ağırlık = 57.8 kg/m^2

Panel kaplı bölgeler için

- Sandviç panel = 20 kg/m^2

4.2.2 Hareketli yükler

4.2.2.1 Döşeme hareketli yükü

TS 498 uyarınca;

- Ara katlar için hareketli yük: 5 kN/m^2
- Çatı katı (teras,tribün,konser alanı) için hareketli yük: 7.5 kN/m^2

Yapının toplam yüksekliği $h = 27.43$ m olup, hesap edilen çelik yapı zeminden 9.8 m yükseklikten sonra başlamaktadır. Buna göre 17.63 m yüksekliğe sahip olan yapının ilk 10.2 m'lik kısmı için $q = 0.8$ kN/m², geri kalan 7.43 m'lik kısmı için $q = 1.1$ kN/m² olarak alınmıştır.

4.2.2.4 Deprem ile ilgili parametreler

Deprem ile ilgili parametreler DBYBHY' den elde edilmiş olup, bu parametreler ile dinamik analizde kullanılacak elastik spektrum grafiği çizilmiştir.

Zemin grubu A ; Çok sıkı kum, çakıl → Z1

$$T_A = 0.1, T_B = 0.3$$

Deprem bölgesi II ; Ankara → $A_0 = 0.3$

Bina önem katsayısı $I = 1.2$

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 5$; Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar

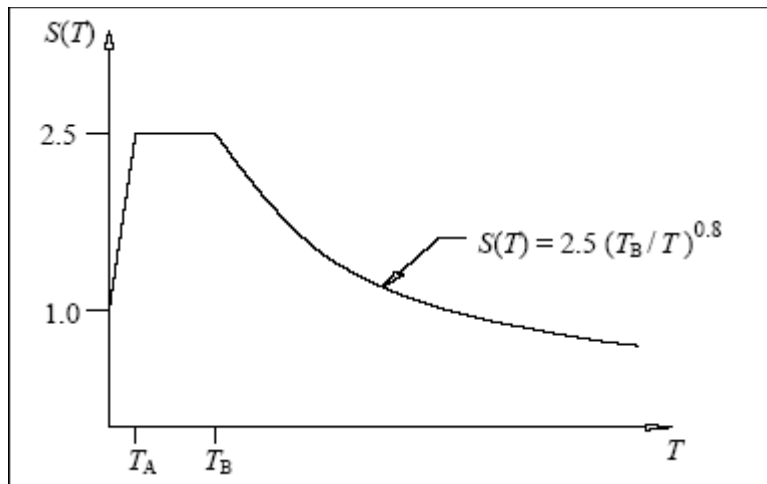
hareketli yük katılım katsayısı $n = 0.6$

$$A(T) = A_0 \times I \times S(T)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) \times g / R = A_0 \times I \times S(T) \times g / R = 0.3 \times 1.2 \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times S(T) / 5$$

$$= 0.706 \times S(T)$$

Elastik spektral ivme değerleri ilgili zemin grubu için oluşturulacak olan Şekil 4.2' de gösterilen spektrum grafiği ile çarpılarak elde edilecektir.



Şekil 4.2: DBYBHY uyarınca elastik ivme spektrum grafiği.

4.2.2.5 Isı değişiminden kaynaklanan etkiler

Hesaplarda ısı değişimi $\Delta t = \pm 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak dikkate alınmıştır.

4.3 Kombinasyonlar

Yapı tasarımında kullanılan kombinasyonlar elik yapıların tasarımı ile ilgili İnşaat Mühendisleri Odası tarafından yayınlanan İMO-02 dokümanına göre düzenlenmiştir. Kombinasyonlarda kullanılan yüklerin kısaltmaları aşağıdaki gibidir.

G ; Yapıdaki zati yükleri (yapı öz ağırlığı bağlantıları hesaba katmak için 1.2 ile artırılmıştır)

Q ; Yapıdaki hareketli yükleri

T ; Isı farkından kaynaklanan etkileri

W_i ; Rüzgar yüklerini

S ; Kar yüklerini

EQ_i ; Deprem etkisini temsil etmektedir

C 1 : 1G

C 2 : 1G + 1Q

C 3 : 1G + 1Q $\pm$ 1T

C 4 : 1G + 1W _{$\pm$ x}

C 5 : 1G + 1W _{$\pm$ y}

C 6 : 1G + 1Q + 1W _{$\pm$ x}

C 7 : 1G + 1Q + 1W _{$\pm$ y}

C 8 : 1G + 1Q + 1W _{$\pm$ x} $\pm$ 1T

C 9 : 1G + 1Q + 1W _{$\pm$ y} $\pm$ 1T

C 10 : 1G + 1Q + $\frac{1}{4}$ EQ_x

C 11 : 1G + 1Q + $\frac{1}{4}$ EQ_y

C 12 : 1G + 1Q + $\frac{1}{4}$ EQ_x + $\frac{0,3}{4}$ EQ_y

$$C 13 : 1G + 1Q + \frac{0,3}{4} EQ_x + \frac{1}{4} EQ_y$$

$$C 14 : 1G + \frac{1}{4} EQ_x$$

$$C 15 : 1G + \frac{1}{4} EQ_y$$

$$C 16 : 1G + \frac{1}{4} EQ_x + \frac{0,3}{4} EQ_y$$

$$C 17 : 1G + \frac{0,3}{4} EQ_x + \frac{1}{4} EQ_y$$

$$C 18 : 0,9G + \frac{1}{4} EQ_x$$

$$C 19 : 0,9G + \frac{1}{4} EQ_y$$

$$C 20 : 0,9G + \frac{1}{4} EQ_x + \frac{0,3}{4} EQ_y$$

$$C 21 : 0,9G + \frac{0,3}{4} EQ_x + \frac{1}{4} EQ_y$$

$$C 22 : 1G + 1Q + \frac{1}{4} EQ_x \pm 1T$$

$$C 23 : 1G + 1Q + \frac{1}{4} EQ_y \pm 1T$$

$$C 24 : 1G + 1Q + \frac{1}{4} EQ_x + \frac{0,3}{4} EQ_y \pm 1T$$

$$C 25 : 1G + 1Q + \frac{0,3}{4} EQ_x + \frac{1}{4} EQ_y \pm 1T$$

Yukarıda verilen yük kombinasyonları tüm yapısal elemanların tasarımında ve deplasman kontrollerinde kullanılmıştır.

Bu tez kapsamında bağlantı tasarımı yapılmadığından kombinasyonlar arasında artırılmış deprem yüklerine ilişkin kombinasyonlara yer verilmemiştir. Ancak tüm kolonlar sadece eksenel yük altında artırılmış deprem yüklerini emniyetle taşıyacak şekilde tasarlanmıştır.

4.4 Yapısal Elemanların Boyutlandırılması

Yapısal elemanlar çelik yapıların hesap ve yapım kurallarına ilişkin 1980 yılında Türk Standartları Enstitüsü tarafından yayınlanan TS 648 uyarınca boyutlandırılmıştır. Bunun yanında aynı kapsamda İnşaat Mühendisleri Odası tarafından 2005 yılında yayınlanan İMO - 02 dokümanına da başvurulmuştur.

4.4.1 Ara kat döşeme kirişlerinin boyutlandırılması

$$\sum \text{Zati yük} = 581 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Hareketli yük} = 500 \text{ kg/m}^2$$

Düşey yükler için yüklerin birleştirilmesi;

$$\sum G + \sum Q = 581 \text{ kg/m}^2 + 500 \text{ kg/m}^2 = 1081 \text{ kg/m}^2 = 10.81 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Döşeme kirişi aralıkları} = 2.325 \text{ m},$$

Bir döşeme kirişine gelen yayılı yük 25.13 kN/m olarak bulunur.

4.4.1.1 Döşeme kirişinin basit kiriş olarak tasarlanması

Seçilen kesit: IPE 450 A

Malzeme kalitesi: St 52 / S355

$$\sigma_{em} = 2.13 \text{ t/cm}^2$$

$$G = 67.2 \text{ kg/m}^2, h = 447 \text{ mm}, b = 190 \text{ mm}, t_g = 7.6 \text{ mm}, t_f = 13.1 \text{ mm}, A = 85.6 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 29760 \text{ cm}^4, W_{el,y} = 1331 \text{ cm}^3, W_{pl,y} = 1494 \text{ cm}^3$$

Kirişe etkiyen yayılı yüke kiriş zati ağırlığıda eklenerek;

$$25.13 \text{ kN/m} + 0.672 \text{ kN/m} = 25.8 \text{ kN/m} \text{ bulunur.}$$

$$M = q \times l^2 / 8 = 2.58 \text{ t/m} \times (8.5\text{m})^2 / 8 = 23.3 \text{ tm} = 2330 \text{ tcm}$$

$$Q = q \times l / 2 = 10.97 \text{ t}$$

Kesitin gerilme kontrolleri;

$$\sigma = M / W = 2330 \text{ tcm} / 1331 \text{ cm}^3 = 1.75 \text{ t/cm}^2 < 2.13 \text{ t/cm}^2 \checkmark$$

$$\tau = Q / F_{gövde} = 10.97 \text{ t} / 33.97 \text{ cm}^2 = 0.32 \text{ t/cm}^2 < 2.13 \text{ t/cm}^2 \checkmark$$

Kirişin sehim tahkiki;

$$\delta_{max} = 28 \text{ mm} \leq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm} \checkmark$$

Kirişin yanal burkulma tahkiki;

Kiriş betonarme döşemenin rijitliği nedeniyle yanal olarak tutuludur. Ancak betonarme döşemenin uygulanması sırasında döşeme rijitliğini kazanıp diyafram görevi görene kadar çelik kiriş yanal burkulmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Bu

nedenle kiriş geçici olarak orta noktasından yanal burkulmaya karşı tutulmuştur. Döşeme yeterli rijitliğe ulaştıktan sonra geçici çelik elemanlar istenirse sökülebilir. İnşaat safhası yükleri;

$$\text{Beton} + \text{trapez sac} = 237 \text{ kg} / \text{m}^2 = 2.37 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Hareketli yük} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kiriş üstündeki yayılı yük} = 2.325 \text{ m} \times (2.37 + 2) + 0.672 \text{ kN/m} = 10.83 \text{ kN/m}$$

$$M = 978 \text{ tcm}$$

$$\sigma = 978 / 1331 = 0.735 \text{ t/cm}^2$$

$$\text{Basınç başlığı yüksekliği için } h_b = (44.7 \text{ cm} - 2 \times 1.31 \text{ cm}) / 6 + 1.31 = 8.39 \text{ cm}$$

$$\text{Basınç başlığı alanı } F_b = 1.31 \text{ cm} \times 19 \text{ cm} + 7.01 \text{ cm} \times 0.76 \text{ cm} = 30 \text{ cm}^2$$

$$I_{yb} = 1.31 \times 19^3 / 12 + 7.01 \times 0.76^3 / 12 = 749 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{F_b}} = 5 \text{ cm}$$

$$s = 850 / 2 = 425 \text{ cm}$$

$$\sigma_a = 3500 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_b = 1$$

$$s/i_y = 85 \leq \sqrt{\frac{30000000 C_b}{\sigma_a}} = 92.5$$

$$\sigma_B = (2/3 - 3500 * 85^2 / 900000000) \times 3500 = 1349 \text{ kg/cm}^2 = 1.34 \text{ t/cm}^2$$

$$0.735 \text{ t/cm}^2 < 1.34 \text{ t/cm}^2 \checkmark$$

4.4.1.2 Döşeme kirişinin sürekli kiriş olarak tasarlanması

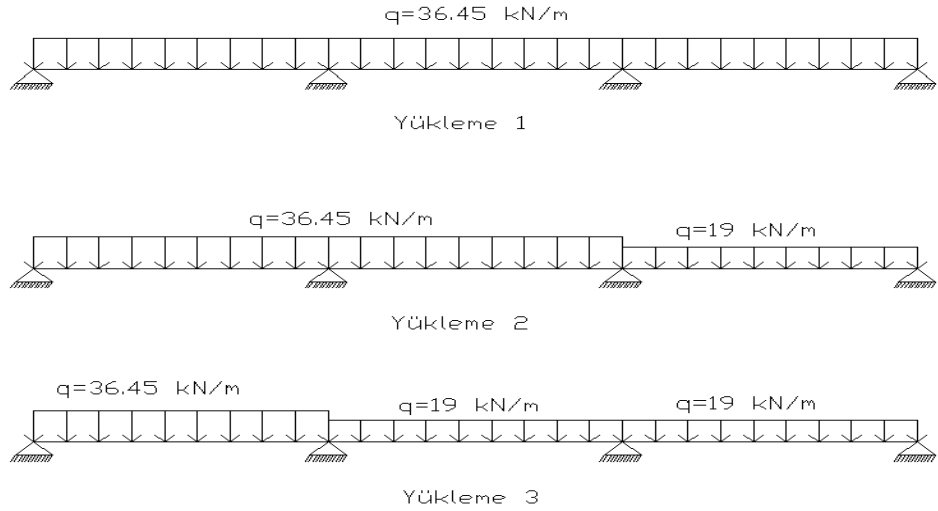
Seçilen kesit: IPE 400 A

Malzeme kalitesi: St 52 / S355

$$G = 57.4 \text{ kg/m}^2, h = 397 \text{ mm}, b = 180 \text{ mm}, t_g = 7 \text{ mm}, t_f = 12 \text{ mm}, A = 73.1 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 20290 \text{ cm}^4, W_{el,y} = 1022 \text{ cm}^3, W_{pl,y} = 1144 \text{ cm}^3$$

Kirişe etkiyen yayılı yüke kiriş zati ağırlığı da eklenerek Şekil 4.3' de verilen yükleme durumları incelenmiştir.



Şekil 4.3: Yükleme halleri.

$25.13 \text{ kN/m} + 0.574 \text{ kN/m} = 25.7 \text{ kN/m}$ bulunur. En elverişsiz kesit tesirleri ve sehim için aşağıdaki yükleme durumları ele alınmış, yarım yükleme yapılan bölümlerde hareketli yük çıkartılmıştır.

Sehim kriteri için en elverişsiz durum Yükleme 3 etkileri altında oluşmuştur;

- $\delta_{\max} = 25.68 \text{ mm}$

Tasarım kesit tesirleri için en elverişsiz durum Yükleme 2 etkileri altında oluşmuştur;

- $M_{3-3} = 202 \text{ kNm} = 2020 \text{ tcm}$
- $Q = 135 \text{ kN} = 13.5 \text{ t}$

Kesitin gerilme kontrolleri;

$$\sigma = M / W = 2020 \text{ tcm} / 1022 \text{ cm}^3 = 1.98 \text{ t/cm}^2 < 2.13 \text{ t/cm}^2 \quad \checkmark$$

$$\tau = Q / F_{\text{gövde}} = 13.5 \text{ t} / 27.79 \text{ cm}^2 = 0.49 \text{ t/cm}^2 < 2.13 \text{ t/cm}^2 \quad \checkmark$$

Kirişin sehim tahkiki;

$$\delta_{\max} = 25.68 \text{ mm} \leq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Kirişin yanal burkulma tahkiki;

Kiriş betonarme döşemenin rijitliği nedeniyle yanal olarak tutuludur. Ancak betonarme döşemenin uygulanması sırasında döşeme rijitliğini kazanana kadar çelik kiriş yanal burkulmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Bu nedenle kiriş geçici olarak orta noktasından yanal burkulmaya karşı tutulmuştur. İnşaat safhası yükleri;

$$\text{Beton} + \text{trapez sac} = 237 \text{ kg} / \text{m}^2 = 2.37 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Hareketli yük} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kiriş üstündeki yayılı yük} = 2.325 \text{ m} \times (2.37 + 2) + 0.672 \text{ kN/m} = 10.83 \text{ kN/m}$$

$$M = 875 \text{ tcm}$$

$$\sigma = 875 / 1022 = 0.86 \text{ t/cm}^2$$

$$\text{Basınç başlığı yüksekliği için } h_b = (39.7 \text{ cm} - 2 \times 1.2 \text{ cm}) / 6 + 1.2 = 7.42 \text{ cm}$$

$$\text{Basınç başlığı alanı } F_b = 1.2 \text{ cm} \times 18 \text{ cm} + 6.22 \text{ cm} \times 0.7 \text{ cm} = 25.94 \text{ cm}^2$$

$$I_{yb} = 1.2 \times 18^3 / 12 + 6.22 \times 0.7^3 / 12 = 583 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{F_b}} = 4.74 \text{ cm}$$

$$s = 850 / 2 = 425 \text{ cm}$$

$$\sigma_a = 3500 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_b = 1;$$

$$s/i_y = 89 \leq \sqrt{\frac{30000000 C_b}{\sigma_a}} = 92.5$$

$$\sigma_B = (2/3 - 3500 * 89^2 / 900000000) \times 3500 = 1255 \text{ kg/cm}^2 = 1.26 \text{ t/cm}^2$$

$$0.86 \text{ t/cm}^2 < 1.26 \text{ t/cm}^2 \checkmark$$

4.4.1.3 Döşeme kirişinin kompozit kiriş olarak tasarlanması

Seçilen kesit: IPE 300 A

Malzeme kalitesi: St 52 / S355

$$G = 36.5 \text{ kg/m}, h = 297 \text{ mm}, b = 150 \text{ mm}, t_g = 6.1 \text{ mm}, t_f = 9.2 \text{ mm}, A = 46.5 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 7173 \text{ cm}^4, W_{el,y} = 483 \text{ cm}^3, W_{pl,y} = 542 \text{ cm}^3$$

Betonarme kesit özellikleri: 1mm kompozit döşeme trapezi

Oluk yüksekliği $h_p = 70 \text{ mm}$, toplam yükseklik $h = 130 \text{ mm}$, Beton sınıfı = C25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

Döşeme kirişinin kompozit kiriş olarak hesap edilmesi ,çelik kirişin beton ve inşaat sırasındaki hareketli yükler altında tek başına çalıştığı aşama, çelik kiriş ile betonun kompozit olarak çalıştığı aşama olarak 2 safhada incelenmiştir.

Çelik kirişin tek başına çalıştığı aşama için yükler

13 cm betonarme döşeme (trapez ile dolu hacim) : $0.094 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 226 \text{ kg/m}^2$

1 mm trapez sac : 11 kg/m^2

Hareketli Yük: 200 kg/m^2

$$\sum g = (226 \text{ kg/m}^2 + 11 \text{ kg/m}^2) \times 2.325 \text{ m} + 36.5 \text{ kg/m} = 587.525 \text{ kg/m}$$

$$\sum q = 200 \text{ kg/m}^2 \times 2.325 \text{ m} = 465 \text{ kg/m}$$

Taşıma gücü yük kombinasyonu: $\gamma_G \times G + \gamma_Q \times Q = 1.35 \times 587.525 \text{ kg/m} + 1.5 \times 465 \text{ kg/m} = 14.91 \text{ kN/m}$

$$- M_{sd} = 134.65 \text{ kNm}$$

$$- V_{sd} = 63.37 \text{ kN}$$

Profil enkesit sınıfının saptanması

Gövde enkesit sınıfı;

$$c = 248.6 \text{ mm}, t = 6.1 \text{ mm} ; c/t = 40.75$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 72 \times 0.81 = 58.32 \geq 40.75 ; \text{ gövde enkesit sınıfı 1}$$

Başlık enkesit sınıfı;

$$c = 53.95 \text{ mm}, t = 9.2 \text{ mm} ; c/t = 5.86$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 > 9 \times 0.81 = 7.29 \geq 5.86 ; \text{ başlık enkesit sınıfı 1}$$

Profil enkesit sınıfı 1 olarak saptanmıştır.

Kesitin eğilme dayanımı kontrolü;

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{542 \text{ cm}^3 \times 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 19241 \text{ kNcm} = 192.41 \text{ kNm} \geq M_{sd} = 136.45 \text{ kNm}$$

Kesitin kesme dayanımı kontrolü;

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

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f = 22.22 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{22.22 \times 35.5 \frac{kN}{cm^2} / \sqrt{3}}{1} = 455.41 \text{ kN} \geq V_{sd} = 63.37 \text{ kN}$$

Kirişin sehim tahkiki;

$$\delta_{max} = 48.29 \text{ mm} \geq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm}$$

Görüldüğü üzere ıslak beton mukavemetini kazanıp kompozit çalışma başlayana kadar çelik kiriş ilgili yükleri güvenle taşıyabilmekte ancak sehim beklenenden fazla olmaktadır. Buna önlem olarak;

- Uygulama sırasında kiriş orta noktasından desteklenebilir.
- Çelik kirişe ters sehim verilebilir.

Kirişin yanal burkulma tahkiki;

Çelik kiriş yanal burkulmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Bu nedenle kirişler betonarme döşeme rijitliğini kazanana kadar geçici olarak üçte bir noktalarından yanal doğrultuda tutulmuştur. İnşaat safhası yükleri;

$$\text{Beton + trapez sac} = 237 \text{ kg / m}^2 = 2.37 \text{ kN / m}$$

$$\text{Hareketli yük} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kiriş üstündeki yayılı yük} = 2.325 \text{ m} \times (1.35 \times 2.37 + 1.5 \times 2) + 1.35 \times 0.365 \text{ kN/m} = 14.9 \text{ kN/m}$$

$$M_{sd} = 13465 \text{ kNcm}$$

Burkulma eğrisi grubu: $h/b = 1.98 < 2$; b

$$\alpha_{LT} = 0.34, i_z = 4 \text{ cm}, L = 212.5 \text{ cm}, \lambda_{LT0} = 0.4. \beta = 0.75$$

$$\lambda_{LT} = L / (i_z \times 85) = 0.75$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 * (1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{LT0}) + \beta \times \lambda_{LT}) = 0.77$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \lambda_{LT}^2}} = 0.84$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times W_y \times f_y / \gamma_{M1} = 0.84 \times 542 \text{ cm}^3 \times 35.5 \text{ kN/cm}^2 / 1 = 16254 \text{ kNcm} > 13465 \text{ kNcm} \quad \checkmark$$

Kirişin kompozit olarak çalıştığı safha için yükler ;

Tam yükleme durumu geçerlidir. Kiriş öz ağırlığında dahil edildiğinde, $35.68 \text{ kN/m} + 1.35 \times 0.365 \text{ kN/m} = 36.17 \text{ kN/m}$ bulunur.

$$M_{sd} = 32666 \text{ kNcm}$$

$$V_{sd} = 153.73 \text{ kN}$$

Etkili tabla genişliğinin belirlenmesi;

$$b_{eff} = b_0 + \sum b_{ei}$$

$$L_e = L/8 = 8.5 \text{ m} / 8 = 1.0625 \text{ m}$$

$$b_{e1} = 1.0625$$

$$b_{e1} = 2.325 \text{ m} / 2 = 1.1625 \text{ m}$$

$$b_{e1} = \min \begin{cases} 1.0625 \\ 1.1625 \end{cases} = 1.0625 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 0 + 2 \times 1.0625 = 2.125 \text{ m}$$

Tam kayma bağlantılı durum için kesitin moment dayanımı;

$y < 60 \text{ mm}$ olması ve tarafsız eksenin beton kesitin içinde kalması durumunda çelik kesitin taşıyacağı kuvvet, $N_{pl,a} = (A \times f_{yd}) / \gamma_{m0} = 46.5 \text{ cm}^2 \times 35.5 \text{ kN/cm}^2 / 1 = 1650.75 \text{ kN}$

Bu durumda Beton kesitin taşıyacağı kuvvet, $N_{ca} = \frac{0.85 \times y \times 212.5 \text{ cm} \times 2.5 \text{ kN/cm}^2}{1.5} = 301.04 \text{ y}$

$$301.04 \text{ y} = 1650.75 \text{ kN} ; y = 5.48 \text{ cm} < 6 \text{ cm} \quad \checkmark$$

$$M_{Rd} = 1650.75 \text{ kN} \times (42.7 \text{ cm} - 29.7/2 - 5.48 \text{ cm}) = 36921.5 \text{ kNcm} > 32666 \text{ kNcm} \quad \checkmark$$

Tarafsız eksen derinliği ;

$y = 5.48 \text{ cm} < 0.15 \times 42.7 \text{ cm} = 6.4 \text{ cm}$ olduğundan kesitin plastik moment dayanımını indirmeye gerek yoktur.

Tam kayma bağlantısı için başlıklı saplama tasarımı;

$$d = 20 \text{ mm}, h = 90 \text{ mm}, f_u = 500 \text{ N/mm}^2, \gamma_v = 1.25, f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2, E_{cm} = 30500 \text{ N/mm}^2$$

$$h/d = 4.5 \text{ için } \alpha = 1$$

$$P_{RD} = \frac{0.8 \times 500 \times 3.14 \times 20^2 / 4}{1.25} = 100.48 \text{ kN}$$

$$P_{RD} = \frac{0.29 \times 1 \times 20^2 \times \sqrt{25 \times 30500}}{1.25} = 81.03 \text{ kN}$$

$$N_c = 1650 \text{ kN}$$

$$n = 1650 \text{ kN} / 81.03 \text{ kN} = 20.36 \rightarrow 21 \text{ adet saplama kullanılması tasarlanmıştır.}$$

kiriş uzunluğu $L = 8500 \text{ mm} \rightarrow 8500 / 21 = 404 \text{ mm}$ aralıklarla sağılama kullanılacaktır. Bu aralık $t = 9.2 \text{ mm}$ profil başlık kalınlığı, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ profilin akma dayanımı olmak üzere, yönetmelik uyarınca aşağıdaki değerlerle kısıtlanmıştır;

- $22 \times 9.2 \sqrt{235/355} = 164 \text{ mm}$ (Döşeme plağının tüm uzunluk boyunca bağlantılı olduğu yerlerde : Rijit Döşeme)
- $15 \times 9.2 \sqrt{235/355} =$

Kesitin kesme dayanımı kontrolü;

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

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f = 22.22 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{22.22 \times 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / \sqrt{3}}{1} = 455.41 \text{ kN} \geq V_{sd} = 153.73 \text{ kN}$$

Sehim tahkiki;

Kesitin atalet momenti n modüler oran'a bağlıdır;

$$n = E_a / E_{cm} = 210000 / 31000 = 6.77$$

$$b^* = b_{eff} / 2n = 212.5 \text{ cm} / 13.54 = 15.69 \text{ cm}$$

$$I_{y-y} = 30234 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_{max} = 26.28 \text{ mm} \leq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm}$$

- Tasarım kesme kuvveti $V_{sd} = 153.73 \text{ kN} \leq \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{455.41}{2} = 227.5 \text{ kN}$ olduğundan kesme kuvvetinin moment dayanımına olan etkisi göz ardı edilmiş ve moment dayanımı indirgenmemiştir
- Kiriş gövde derinliği $h_w = 248.6 \text{ mm}$, gövde kalınlığı $t_w = 6.1 \text{ mm}$ olmak üzere;

$$\frac{h_w}{t_w} = 40.75 < \frac{72 \times \varepsilon}{\eta} = \frac{72 \times 0.81}{1.2} = 48.6 \text{ olduğu için gövdenin burkulma dayanımı ayrıntılı olarak incelenmemiştir.}$$

4.4.1.4 Döşeme kirişlerinin karşılaştırılması

Döşeme kirişleri basit kiriş, sürekli kiriş ve basit açıklıklı kompozit kiriş olarak ayrı ayrı boyutlandırılmıştır. Yapılan çözümler sonrasında sırasıyla;

- IPEA450 , $G = 67.2 \text{ kg/m}$
- IPEA400 , $G = 57.4 \text{ kg/m}$
- IPEA300 , $G = 36.5 \text{ kg/m}$

Tüm yapıda yaklaşık olarak 13200 m döşeme kirişi kullanılmaktadır. Bu hesaba göre ;

- IPEA450 , $\sum G = 887 \text{ ton}$
- IPEA400 , $\sum G = 757 \text{ ton}$
- IPEA300 , $\sum G = 481.8 \text{ ton}$ toplam kiriş ağırlıkları karşımıza çıkmaktadır.

Kompozit kirişin toplam ağırlık bazında basit kirişe göre 406 ton, sürekli kirişe göre ise 276 ton gibi çok ciddi bir avantaj sağladığı açıkça görülebilmektedir. Bu yüzden yapıda IPEA 300 kesitinde sürekli kiriş kullanılmasına karar verilmiştir.

4.4.2 Çatı katı döşeme kirişlerinin boyutlandırılması

$$\sum \text{Zati yük} = 581 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Hareketli yük} = 750 \text{ kg/m}^2$$

Düşey yükler için yüklerin birleştirilmesi;

Taşıma gücü sınır durumu için ; $\gamma_{Gj,sup} = 1.35$, $\gamma_{Q,1} = 1.50$ olmak üzere,

$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ olarak ele alınacaktır.

$$1.35 \times 581 \text{ kg/m}^2 + 1.5 \times 750 \text{ kg/m}^2 = 1910 \text{ kg/m}^2 = 19.1 \text{ kN/m}^2$$

Döşeme kirişi aralıkları = 2.325 m,

Bir döşeme kirişine gelen yayılı yük 44.4 kN/m olarak bulunur.

Kullanılabilirlik sınır durumu için;

$$G_{kj,sup} + Q_{k,1} = 581 \text{ kg/m}^2 + 750 \text{ kg/m}^2 = 1331 \text{ kg/m}^2$$

$$2.325 \text{ m} \times 13.31 \text{ kN/m}^2 = 30.95 \text{ kN/m}^2$$

Seçilen kesit: IPE 330 A

Malzeme kalitesi: St 52 / S355

$$G = 43 \text{ kg/m}, h = 327 \text{ mm}, b = 160 \text{ mm}, t_g = 6.5 \text{ mm}, t_f = 10 \text{ mm}, A = 54.7 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 10230 \text{ cm}^4, W_{el,y} = 626 \text{ cm}^3, W_{pl,y} = 702 \text{ cm}^3$$

Betonarme kesit özellikleri: 1mm kompozit döşeme trapezi

Oluk yüksekliği $h_p = 70 \text{ mm}$, toplam yükseklik $h = 130 \text{ mm}$, Beton sınıfı = C30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

kiriş özağırlığı ile birlikte çizgisel yayılı yük , $44.4 \text{ kN/m} + 1.35 \times 0.43 \text{ kN/m} = 45 \text{ kN/m}$ bulunur.

$$M_{sd} = 40640 \text{ kNcm}$$

$$V_{sd} = 191.25 \text{ kN}$$

Etkili tabla genişliğinin belirlenmesi;

$$b_{eff} = b_0 + \sum b_{ei}$$

$$L_e = L/8 = 8.5 \text{ m} / 8 = 1.0625 \text{ m}$$

$$b_{e1} = 1.0625$$

$$b_{e1} = 2.325 \text{ m} / 2 = 1.1625 \text{ m}$$

$$b_{e1} = \min \begin{cases} 1.0625 \\ 1.1625 \end{cases} = 1.0625 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 0 + 2 \times 1.0625 = 2.125 \text{ m}$$

Tam kayma bağlantılı durum için kesitin moment dayanımı;

$y < 60 \text{ mm}$ olması ve tarafsız eksenin beton kesitin içinde kalması durumunda çelik kesitin taşıyacağı kuvvet, $N_{pl,a} = (A \times f_{yd}) / \gamma_{m0} = 54.7 \text{ cm}^2 \times 35.5 \text{ kN/cm}^2 / 1 = 1941.85 \text{ kN}$

$$\text{Bu durumda Beton kesitin taşıyacağı kuvvet, } N_{ca} = \frac{0.85 \times y \times 212.5 \text{ cm} \times 3 \text{ kN/cm}^2}{1.5} = 361.25 \text{ y}$$

$$361.25 \text{ y} = 1941.85 \text{ kN} ; y = 5.37 \text{ cm} < 6 \text{ cm} \checkmark$$

$$M_{Rd} = 1941.85 \text{ kN} \times (13 \text{ cm} - 5.37 \text{ cm} + 32.7 \text{ cm}/2) = 46565.56 \text{ kNcm} > 40640 \text{ kNcm}$$

Tarafsız eksen derinliği ;

$y = 5.37 \text{ cm} < 0.15 \times 45.7 \text{ cm} = 6.855 \text{ cm}$ olduğundan kesitin plastik moment dayanımını indirgemeye gerek yoktur.

Tam kayma bağlantısı için başlıklı saplama tasarımı;

$$d = 20 \text{ mm}, h = 90 \text{ mm}, f_u = 500 \text{ N/mm}^2, \gamma_v = 1.25, f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2, E_{cm} = 30500 \text{ N/mm}^2$$

$$h/d = 4.5 \text{ için } \alpha = 1$$

$$P_{RD} = \frac{0.8 \times 500 \times 3.14 \times 20^2 / 4}{1.25} = 100.48 \text{ kN}$$

$$P_{RD} = \frac{0.29 \times 1 \times 20^2 \times \sqrt{25 \times 30500}}{1.25} = 81.03 \text{ kN}$$

$$N_c = 1941.85 \text{ kN}$$

$$n = 1941.85 \text{ kN} / 81.03 \text{ kN} = 23.96 \rightarrow 24 \text{ adet saplama kullanılması tasarlanmıştır.}$$

kiriş uzunluğu $L = 8500 \text{ mm} \rightarrow 8500 / 21 = 404 \text{ mm}$ aralıklarla sağlama kullanılacaktır. Bu aralık $t = 9.2 \text{ mm}$ profil başlık kalınlığı, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ profilin akma dayanımı olmak üzere, yönetmelik uyarınca aşığıdaki değerlerle kısıtlanmıştır;

- $22 \times 9.2 \sqrt{235/355} = 164 \text{ mm}$ (Döşeme plağının tüm uzunluk boyunca bağlantılı olduğu yerlerde : Rijit Döşeme)
- $15 \times 9.2 \sqrt{235/355} =$

Kesitin kesme dayanımı kontrolü;

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

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f = 26.95 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{26.95 \times 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / \sqrt{3}}{1} = 552 \text{ kN} \geq V_{sd} = 191 \text{ kN}$$

Sehim tahkiki;

Kesitin atalet momenti n modüler oran'a bağlıdır;

$$n = E_a / E_{cm} = 210000 / 31000 = 6.77$$

$$b^* = b_{eff} / 2n = 212.5 \text{ cm} / 13.54 = 15.69 \text{ cm}$$

$$I_{y-y} = 35635.76 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_{max} = 26.28 \text{ mm} \leq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm}$$

- Tasarım kesme kuvveti $V_{sd} = 153.73 \text{ kN} \leq \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{455.41}{2} = 227.5 \text{ kN}$ olduğundan kesme kuvvetinin moment dayanımına olan etkisi göz ardı edilmiş ve moment dayanımı indirgenmemiştir.
- Kiriş gövde derinliği $h_w = 248.6 \text{ mm}$, gövde kalınlığı $t_w = 6.1 \text{ mm}$ olmak üzere;

$\frac{h_w}{t_w} = 40.75 < \frac{72 \times \varepsilon}{\eta} = \frac{72 \times 0.81}{1.2} = 48.6$ olduğu için gövdenin burkulma dayanımı ayrıntılı olarak incelenmemiştir.

4.4.3 Kuşakların boyutlandırılması

Kuşaklar açıklıklarına, bulundukları bölgeye göre kaplandıkları malzemenin zati ağırlıklarına ve rüzgar yüklerine göre boyutlandırılmışlardır.

- A aksı cephesi

Kuşak açıklıkları = 8500 mm, Kuşak aralıkları = 3000 mm, Kuşaklar 2 açıklıkta sürekli geçmektedir.

Kuşaklara etkiyen düşey yükler ; Sandviç panel = 20 kg/m^2

Kuşaklara etkiyen yatay yükler; Rüzgar yükü = 1.1 kN/m^2 değeri dikkate alınmıştır.

$$q_{3-3} = 1.1 \text{ kN/m}^2 \times 3 \text{ m} = 3.3 \text{ kN/m} = 0.33 \text{ t/m}$$

$$q_{2-2} = (20 \text{ kg/m}^2 \times 3) + 18.4 \text{ kg/m} = 78.4 \text{ kg/m} = 0.0784 \text{ t/m}$$

Seçilen kesit : IPEA 200

Malzeme kalitesi: St 52 / S355

$$G = 18.4 \text{ kg/m}, h = 197 \text{ mm}, b = 100 \text{ mm}, t_g = 4.5 \text{ mm}, t_f = 7 \text{ mm}, A = 23.5 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 1591 \text{ cm}^4, W_{el,y} = 162 \text{ cm}^3, W_{pl,y} = 182 \text{ cm}^3$$

$$I_z = 117 \text{ cm}^4, W_{el,z} = 23.4 \text{ cm}^3, W_{pl,z} = 36.5 \text{ cm}^3$$

$$M_{3-3} = 297 \text{ tcm}, V_{2-2} = 1,8 \text{ t}$$

Kesit düşey yönde gergiler tarafından 4 te bir noktalarından tutulmuştur.

$$M_{2-2} = 1 \text{ tcm}, V_{3-3} = 0.23 \text{ t}$$

Kesitin gerilme kontrolleri;

$$\sigma = M / W = 297 \text{ tcm} / 162 \text{ cm}^3 = 1.83 \text{ t/cm}^2 < 2.16 \text{ t/cm}^2 \checkmark$$

$$\tau = Q / F_{\text{gövde}} = 1.8 \text{ t} / 8.86 \text{ cm}^2 = 0.21 \text{ t/cm}^2 < 2.16 \text{ t/cm}^2 \quad \checkmark$$

Kirişin sehim tahkiki;

$$\delta_{\text{max}} = 27.4 \text{ mm} \leq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Kirişin yanal burkulma tahkiki;

$$M = 297 \text{ tcm}$$

$$\sigma = 297 / 162 = 1.83 \text{ t/cm}^2$$

$$\text{Basınç başlığı yüksekliği için } h_b = (19.7 \text{ cm} - 2 \times 0.7 \text{ cm}) / 6 + 0.7 = 3.75 \text{ cm}$$

$$\text{Basınç başlığı alanı } F_b = 0.7 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} + 3.05 \text{ cm} \times 0.45 \text{ cm} = 8.37 \text{ cm}^2$$

$$I_{yb} = 0.7 \times 10^3 / 12 + 3.05 \times 0.45^3 / 12 = 58.35 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{F_b}} = 2.64 \text{ cm}$$

$$s = 850 / 4 = 212.5 \text{ cm}$$

Kirişin yanal mesnetlerinin olduğu noktalardaki momentlerin en küçüğü ve en büyüğü ;

$$M_1 = 168 \text{ tcm}$$

$$M_2 = 297 \text{ tcm}$$

$$C_b = 1.75 + 1.05 \times (M_1/M_2) + 0.3 \times (M_1/M_2)^2 \pm 2.3 = 4.74$$

$$s/i_y = 80 \leq \sqrt{\frac{30000000 C_b}{\sigma_a}} = 92.5$$

$$\sigma_B = (2/3 - 3500 \times 80^2 / 4,74 \times 90000000) \times 3500 = 2.15 \text{ t/cm}^2 < 2.16 \text{ t/cm}^2 \text{ olmalı}$$

$$1.83 \text{ t/cm}^2 < 2.15 \text{ t/cm}^2 \quad \checkmark$$

- 1 aksı cephesi

Kuşak açıklıkları = 7550 mm, Kuşak aralıkları = 3000 mm, Kuşaklar 2 açıklıkta sürekli geçmektedir.

$$\text{Kuşaklara etkiyen düşey yükler ; Cam kaplama} = 57.8 \text{ kg/m}^2$$

Kuşaklara etkiyen yatay yükler; 1.1 kN/m² değeri dikkate alınmıştır

$$q_{3-3} = 1.1 \text{ kN/m}^2 \times 3 \text{ m} = 3.3 \text{ kN/m} = 0.33 \text{ t/m}$$

$$q_{2-2} = (57.8 \text{ kg/m}^2 \times 3) + 18.4 \text{ kg/m} = 191.8 \text{ kg/m} = 0.2 \text{ t/m}$$

Seçilen kesit : IPEA 200

Malzeme kalitesi: St 52 / S355

$$G = 18.4 \text{ kg/m}, h = 197 \text{ mm}, b = 100 \text{ mm}, t_g = 4.5 \text{ mm}, t_f = 7 \text{ mm}, A = 23.5 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 1591 \text{ cm}^4, W_{el,y} = 162 \text{ cm}^3, W_{pl,y} = 182 \text{ cm}^3$$

$$I_z = 117 \text{ cm}^4, W_{el,z} = 23.4 \text{ cm}^3, W_{pl,z} = 36.5 \text{ cm}^3$$

$$M_{3-3} = 234 \text{ tcm}, V_{2-2} = 1.56 \text{ t}$$

Kesit düşey yönde gergiler tarafından 3 te bir noktalarından tutulmuştur.

$$M_{2-2} = 16 \text{ tcm}, V_{3-3} = 0.23 \text{ t}$$

Kesitin gerilme kontrolleri;

$$\sigma = M_{3-3} / W_{y-y} + M_{2-2} / W_{z-z}$$

$$234 \text{ tcm} / 162 \text{ cm}^3 + 16 \text{ tcm} / 23.4 \text{ cm}^3 = 2.12 \text{ t/cm}^2 < 2.16 \text{ t/cm}^2 \quad \checkmark$$

$$\tau = Q / F_{gövde} = 1.56 \text{ t} / 8.86 \text{ cm}^2 = 0.17 \text{ t/cm}^2 < 2.16 \text{ t/cm}^2 \quad \checkmark$$

Kirişin sehim tahkiki;

$$\delta_{\max} = 17 \text{ mm} \leq \frac{8500 \text{ mm}}{300} = 28.33 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Kirişin yanal burkulma tahkiki;

$$M = 297 \text{ tcm}$$

$$\sigma = 297 / 162 = 1.83 \text{ t/cm}^2$$

$$\text{Basınç başlığı yüksekliği için } h_b = (19.7 \text{ cm} - 2 \times 0.7 \text{ cm}) / 6 + 0.7 = 3.75 \text{ cm}$$

$$\text{Basınç başlığı alanı } F_b = 0.7 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} + 3.05 \text{ cm} \times 0.45 \text{ cm} = 8.37 \text{ cm}^2$$

$$I_{yb} = 0.7 \times 10^3 / 12 + 3.05 \times 0.45^3 / 12 = 58.35 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{F_b}} = 2.64 \text{ cm}$$

$$s = 850 / 4 = 212.5 \text{ cm}$$

Kirişin yanal mesnetlerinin olduğu noktalardaki momentlerin en küçüğü ve en büyüğü ;

$$M_1 = 135 \text{ tcm}$$

$$M_2 = 235 \text{ tcm}$$

$$Cb = 1.75 + 1.05 \times (M_1/M_2) + 0.3 \times (M_1/M_2)^2 \pm 2.3 = 4.752$$

$$s/i_y = 80 \leq \sqrt{\frac{300000000 \text{ Cb}}{\sigma_a}} = 92.5$$

$$\sigma_B = (2/3 - 3500 \times 80^2 / 4.752 \times 900000000) \times 3500 = 2.18 \text{ t/cm}^2 < 2.16 \text{ t/cm}^2 \text{ olmalı}$$

$$2,12 \text{ t/cm}^2 < 2.16 \text{ t/cm}^2 \checkmark$$

4.4.4 Makas kiriş elemanlarının boyutlandırılması

4.4.4.1 Makas kiriş dikmesinin boyutlandırılması

Kesit özellikleri; HEA320 , h= 31 cm, b = 30 cm, tw = 0.9 cm, tf = 1.55 cm,

$$r = 2.7 \text{ cm} , A = 124.4 \text{ cm}^2$$

$$i_{y-y} = 13.58 \text{ cm} , i_{z-z} = 7.49 \text{ cm} , L_{2-2} = L_{3-3} = 220 \text{ cm}$$

$$\text{Malzeme: St 52, } f_y = 3.6 \text{ t/cm}^2, \sigma_{em} = 0.6 \times f_y = 2.16 \text{ t/cm}^2$$

$$N = -236 \text{ t (Frame ID:170762 , Program tasarım oranı ; 1.001)}$$

$$\lambda_{max} = \frac{220}{7.49} = 29.37 ; \omega = 1.14 ; \sigma_{bem} = \frac{2.16}{1.14} = 1,895 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{236 \text{ t}}{124,4 \text{ cm}^2} = 1,897 \text{ t/cm}^2 ; \text{tasarım oranı} = \frac{1,897}{1,895} = 1,001 \checkmark$$

4.4.4.2 Makas kiriş diyagonalinin boyutlandırılması

Kesit özellikleri; HEAA300 , h= 28.3 cm, b = 30 cm, tw = 0.75 cm, tf = 1.05 cm,

$$r = 2.7 \text{ cm} , A = 88.9 \text{ cm}^2$$

$$\text{Malzeme: St 52, } f_y = 3.6 \text{ t/cm}^2, \sigma_{em} = 0.6 \times f_y = 2.16 \text{ t/cm}^2$$

$$N = -185 \text{ t (Frame ID:170776 , Program tasarım oranı ; 0.965)}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{185 \text{ t}}{88,9 \text{ cm}^2} = 2.08 \text{ t/cm}^2 ; \text{tasarım oranı} = \frac{2,08}{2,16} = 0.963 \approx 0.965 \checkmark$$

4.4.4.3 Makas kirişi üst başlığının boyutlandırılması

Kesit özellikleri; HEAA280 , h= 26.4 cm, b = 28 cm, tw = 0.7 cm, tf = 1 cm,

$$r = 2.4 \text{ cm} , A = 78 \text{ cm}^2$$

$$I_{y-y} = 10560 \text{ cm}^4 , W_{ely} = 799.8 \text{ cm}^3 , I_{z-z} = 3664 \text{ cm}^4 ,$$

$$W_{elz} = 261.7 \text{ cm}^3, i_{y-y} = 11.63 \text{ cm}, i_{z-z} = 6.85 \text{ cm},$$

$$L_{3-3} = 212.5, L_{2-2} = 212.5 \text{ cm}$$

$$\text{Malzeme: St 52, } f_y = 3.6 \text{ t/cm}^2, \sigma_{em} = 0.6 \times f_y = 2.16 \text{ t/cm}^2$$

$$N = -89 \text{ t}, M_{3-3} = 209 \text{ tcm}, M_{2-2} = 141 \text{ tcm}$$

$$(\text{Frame ID:251812, Program tasarım oranı: 1.024})$$

$$\left(\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \right) + \frac{C_{mx} \cdot \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}} \right) \cdot \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} \cdot \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ey}} \right) \cdot \sigma_{By}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0.6 \times \sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1$$

$$\sigma_e' = \frac{1}{2.5} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(K \cdot s_b / i_b \right)^2}$$

$$\lambda_{2-2} = \frac{212.5 \text{ cm}}{6.85 \text{ cm}} = 31.02, \lambda_{3-3} = \frac{212.5 \text{ cm}}{11.63 \text{ cm}} = 18.27, \lambda_{\max} = 31.02 \rightarrow \omega = 1.15$$

$$\sigma_{bem} = 1.87 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{89 \text{ t}}{78 \text{ cm}^2} = 1.14 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \sigma_{By} = 2.16 \text{ t/cm}^2$$

- Zayıf eksen doğrultusu için hesaplamalar

$$K_{2-2} = 1, s_b = 212.5, i_b = 6.85 ;$$

$$\sigma_e' = 8.614$$

$$C_{my} = 1$$

$$\sigma_{by} = \frac{141 \text{ tcm}}{261.7 \text{ cm}^3} = 0.539 \text{ t/cm}^2$$

Kuvvetli eksen doğrultusu için hesaplamalar

$$K_{3-3} = 1, s_b = 212.5, i_b = 11.63 ;$$

$$\sigma_e' = 24.83$$

$$C_{mx} = 1$$

$$\sigma_{bx} = \frac{209 \text{ tcm}}{799.8 \text{ cm}^3} = 0.261 \text{ t/cm}^2$$

$$\frac{1.14}{2.16} + \frac{0.208}{2.16} + \frac{0.328}{2.16} = 0.942$$

$$\frac{1,14}{1,87} + \frac{0,261}{\left(1 - \frac{1,14}{24,83}\right) \cdot 2,16} + \frac{0,539}{\left(1 - \frac{1,14}{8,614}\right) \cdot 2,16} = 1,023 \approx 1,024 \sqrt{}$$

4.4.4.4 Makas kirişi alt başlığının boyutlandırılması

Kesit özellikleri; HEA450 , h= 44 cm, b = 30 cm, tw = 1.15 cm, tf = 2.1 cm,

$$r = 2.7 \text{ cm} , A = 178 \text{ cm}^2$$

$$I_{y-y} = 63720 \text{ cm}^4 , W_{ely} = 2896 \text{ cm}^3 , I_{z-z} = 9465 \text{ cm}^4 ,$$

$$W_{elz} = 631 \text{ cm}^3 , i_{y-y} = 18,92 \text{ cm} , i_{z-z} = 7.29 \text{ cm} ,$$

$$L_{3-3} = 425 , L_{2-2} = 212.5 \text{ cm}$$

$$\text{Malzeme: St 52, } f_y = 3.6 \text{ t/cm}^2 , \sigma_{em} = 0.6 \times f_y = 2.16 \text{ t/cm}^2$$

$$N = -267.9 \text{ t} , M_{3-3} = 603 \text{ tcm} , M_{2-2} = 207 \text{ tcm}$$

(Frame ID:251788,Program tasarım oranı; 1,076)

$$\left(\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \right) + \frac{C_{mx} \cdot \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right) \cdot \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} \cdot \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ey}}\right) \cdot \sigma_{By}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6 \times \sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1$$

$$\sigma_e' = \frac{1}{2,5} \cdot \frac{\Pi^2 \cdot E}{\left(K \cdot s_b / i_b\right)^2}$$

$$\lambda_{2-2} = \frac{212.5 \text{ cm}}{7.29 \text{ cm}} = 29.1 , \lambda_{3-3} = \frac{425 \text{ cm}}{18.92 \text{ cm}} = 22.46 , \lambda_{\max} = 29.1 \rightarrow \omega = 1.13$$

$$\sigma_{bem} = 1.91 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{267.9 \text{ t}}{178 \text{ cm}^2} = 1.5 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \sigma_{By} = 2.16 \text{ t/cm}^2$$

- Zayıf eksen doğrultusu için hesaplamalar

$$K_{2-2} = 1 , s_b = 212.5 , i_b = 7.29 ;$$

$$\sigma_e' = 9.78$$

$$C_{my} = 1$$

$$\sigma_{by} = \frac{207 \text{ tcm}}{631 \text{ cm}^3} = 0.328 \text{ t/cm}^2$$

Kuvvetli eksen doğrultusu için hesaplamalar;

$$K_{3-3} = 1, s_b = 425, i_b = 18.92 ;$$

$$\sigma_e' = 16.4$$

$$C_{mx} = 1$$

$$\sigma_{bx} = \frac{603 \text{ tcm}}{2896.4 \text{ cm}^3} = 0.208 \text{ t/cm}^2$$

$$\frac{1.5}{2.16} + \frac{0.208}{2.16} + \frac{0.328}{2.16} = 0.942$$

$$\frac{1.5}{1.91} + \frac{0.208}{\left(1 - \frac{1.5}{16.4}\right) \cdot 2.16} + \frac{0.328}{\left(1 - \frac{1.5}{9.78}\right) \cdot 2.16} = 1.07 \approx 1.076 \sqrt{}$$

4.4.4.5 Kolon boyutlandırılması

Kesit özellikleri; HEB1400+1/2HEB1400 hac kolon

$$h = 140 \text{ cm}, b = 32 \text{ cm}, t_w = 2,5 \text{ cm}, t_f = 4 \text{ cm},$$

$$A = 1172 \text{ cm}^2$$

$$I_{y-y} = 1685262 \text{ cm}^4, W_{ely} = 24075 \text{ cm}^3, I_{z-z} = 1756923 \text{ cm}^4,$$

$$W_{elz} = 24658 \text{ cm}^3, i_{y-y} = 37.9 \text{ cm}, i_{z-z} = 38.7 \text{ cm},$$

$$L_{3-3} = 220, L_{2-2} = 220 \text{ cm}$$

$$\text{Malzeme: St 52, } f_y = 3.6 \text{ t/cm}^2, \sigma_{em} = 0.6 \times f_y = 2.16 \text{ t/cm}^2$$

$N = -1290.7 \text{ t}, M_{3-3} = 15057 \text{ tcm}, M_{2-2} = 17902 \text{ tcm}$ (Frame ID:1473, Program tasarım oranı; 1.001)

Kritik durum kolon tabanı ile ilk makas kat makas kirişi arasında oluşmuştur. Burada tutulu olmayan boy her iki yön için 220 cm olup kolon burkulma boyu katsayıları ötelenmesi önlenmemiş çerçeve için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Kritik durum rüzgarlı kombinasyonda oluşmuştur. Bu yüzden emniyet gerilmesi $1.15 \sigma_{em}$ olarak kullanılmıştır.

Burkulma boyu katsayılarının bulunması;

Bu hesapta yaklaşık bir değer elde etmek amacı ile makas alt ve üst başlıklarının oluşturduğu kuvvet çifti baz alınarak fiktif bir kiriş atalet momenti elde edilmiştir.

K₃₋₃;

I₁ için ; Üst başlık HEAA160, A = 30,36 cm², Alt Başlık HEA280, A = 97.26 cm²

makas yüksekliği h = 220 cm

alt ve üst başlık arasında ağırlık merkezi;

$$h_{\bar{u}} = \left[\frac{97,26}{97,26+30,36} \right] \times 220\text{cm} = 167 \text{ cm}, h_a = 220 \text{ cm} - 167 \text{ cm} = 53 \text{ cm}$$

$$I_1 = 30.36 \text{ cm}^2 \times (167\text{cm})^2 + 97.26 \text{ cm}^2 \times (53\text{cm})^2 = 1119913 \text{ cm}^4$$

I₂ için ; Üst başlık HEAA200, A = 44.13 cm², Alt Başlık HEA650, A = 241.6 cm²

makas yüksekliği h = 220 cm

alt ve üst başlık arasında ağırlık merkezi;

$$h_{\bar{u}} = \left[\frac{241.6}{241.6+44.13} \right] \times 220\text{cm} = 186 \text{ cm}, h_a = 220 \text{ cm} - 186 \text{ cm} = 34 \text{ cm}$$

$$I_1 = 44.13 \text{ cm}^2 \times (186\text{cm})^2 + 241.6 \text{ cm}^2 \times (34\text{cm})^2 = 1806011 \text{ cm}^4$$

Kolon temelde mafsallı bağlı $\rightarrow G_A = 10$

$$G_B = \frac{\frac{I_{ca}}{l_1} + \frac{I_{c\bar{u}}}{l_2}}{\frac{h_{ca}}{l_1} + \frac{h_{c\bar{u}}}{l_2}} = \frac{\frac{1685262}{213} + \frac{1685262}{720}}{\frac{1119913}{1435} + \frac{1806011}{2105}} = 6.25$$

$$K_{3-3} = 2.69$$

K₂₋₂;

I₁ için ; Üst başlık HEAA650, A = 175,75 cm², Alt Başlık HEA700, A = 260.47 cm²

makas yüksekliği h = 220 cm

alt ve üst başlık arasında ağırlık merkezi;

$$h_{\bar{u}} = \left[\frac{260.47}{260.47+175.75} \right] \times 220\text{cm} = 131 \text{ cm}, h_a = 220 \text{ cm} - 131 \text{ cm} = 89 \text{ cm}$$

$$I_1 = 175.75 \text{ cm}^2 \times (131\text{cm})^2 + 260,47 \text{ cm}^2 \times (89\text{cm})^2 = 5079228 \text{ cm}^4$$

I₂ için ; Üst başlık HEAA600, A = 164 cm², Alt Başlık HEA550, A = 211 cm²

makas yüksekliği h = 220 cm

alt ve üst başlık arasında ağırlık merkezi;

$$h_{\bar{u}} = \left[\frac{211}{164+211} \right] \times 220\text{cm} = 124 \text{ cm}, h_a = 220 \text{ cm} - 124 \text{ cm} = 96 \text{ cm}$$

$$I_1 = 164 \text{ cm}^2 \times (124\text{cm})^2 + 211 \text{ cm}^2 \times (96\text{cm})^2 = 4466240 \text{ cm}^4$$

Kolon temelde mafsallı bağılı $\rightarrow G_A = 10$

$$G_B = \frac{\frac{I_c}{h_c}}{\frac{I_1}{l_1} + \frac{I_2}{l_2}} = \frac{\frac{1685262}{213} + \frac{1685262}{720}}{\frac{5079228}{1700} + \frac{4466240}{1700}} = 1.82$$

$$K_{2-2} = 2$$

$$\left(\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \right) + \frac{C_{mx} \cdot \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}} \right) \cdot \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} \cdot \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ey}} \right) \cdot \sigma_{By}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6 \times \sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1$$

$$\sigma_e' = \frac{1}{2.5} \cdot \frac{\Pi^2 \cdot E}{\left(K \cdot s_b / i_b \right)^2}$$

$$\lambda_{2-2} = \frac{2 \times 220 \text{ cm}}{38.7 \text{ cm}} = 11.36, \lambda_{3-3} = \frac{2.53 \times 220 \text{ cm}}{37.9 \text{ cm}} = 14.68, \lambda_{\max} = 14.68 \leq 20 \rightarrow \omega = 1$$

$$\sigma_{bem} = \sigma_{\zeta em} = 2.16 \times 1.15 = 2.484 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{1290,7 \text{ t}}{1172 \text{ cm}^2} = 1.1 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \sigma_{By} = 2.484 \text{ t/cm}^2$$

- Zayıf eksen doğrultusu için hesaplamalar

$$K_{2-2} = 2, s_b = 220, i_b = 38.7 ;$$

$$\sigma_e' = 64.13$$

$$C_{my} = 1$$

$$\sigma_{by} = \frac{17902 \text{ tcm}}{24658 \text{ cm}^3} = 0.726 \text{ t/cm}^2$$

Kuvvetli eksen doğrultusu için hesaplamalar

$$K_{3-3} = 2, s_b = 220, i_b = 37.9 ;$$

$$\sigma_e' = 61.5$$

$$C_{mx} = 1$$

$$\sigma_{bx} = \frac{15057 \text{ tcm}}{24075 \text{ cm}^3} = 0.625 \text{ t/cm}^2$$

$$\frac{1.1}{2.484} + \frac{0.625}{2.484} + \frac{0.726}{2.484} = 0.987$$

$$\frac{1.1}{2.484} + \frac{0.625}{\left(1 - \frac{1.1}{61.5}\right) \cdot 2.484} + \frac{0.726}{\left(1 - \frac{1.1}{64.13}\right) \cdot 2.484} = 0.997 \approx 1.001 \checkmark$$

4.5 Kat Ötelenmelerinin Kontrolü

$\Delta_i = d_i - d_{i-1}$ olmak üzere, etkin görelî kat ötelenmesi $\delta_i = R \times \Delta_i$ görelî kat ötelenmelerinin kontrolü Çizelge 4.3' de gösterilmiştir. Görelî kat ötelenmeleri kontrolü DBYBHY uyarınca yapılmıştır.

Çizelge 4.3: Türk standartları analiz modeli - Kat ötelenmelerinin kontrolü.

Katlar	Kat Yükseklikleri (mm)	$d_{\max}$ (mm)	Δ_i (mm)	δ_i (R=5)	$0,02h_i \times 1,15$ (mm)
Taban	0	0	11,95	59,75	64,6
1. Kat	3230	11,95	22,07	110,35	144
2. Kat	10430	34,02	12,41	62,05	144
3. Kat	17630	46,43			

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Deprem Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tez kapsamında ele alınan yapının Bölüm 3.2.2.4 ve 4.2.2.4' de verildiği gibi 2 farklı yönetmelik için 2 ayrı spektrum grafiği ile deprem etkileri ele alınmıştır. Bunun yanında yapının Türkiye'de konumlandırılmış olması ve Türkiye'de yapılacak binalar hakkında deprem yönetmeliği bulunduğu için Avrupa Standartlarıyla boyutlandırılan yapı aynı zamanda DBYBHY' de verilen deprem parametreleri ile kombine edilerek analiz edilmiş ve elde edilen veriler sonuçlara eklenmiştir.

5.1.1 Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

Dinamik analiz sonrası Türk standartları analiz modelinden, Avrupa standartları analiz modelinden ve DBYBHY tarafından verilen spektrum grafiğini Avrupa standartları analiz modelinde tanımlanması ile elde edilen yapı toplam taban kesme kuvvetleri Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Yapı toplam kesme kuvvetleri.

Analiz Modeli	Σ Zati Yük (t)	Σ Hareketli Yük (t)	Σ VX (t)	Σ VY (t)
Türk Standartları	21304	17899	2442	2204
Avrupa Standartları	20826	17899	3318	3031
Arupa Standartları (DBYBHY)	20826	17899	2194	2018

Yukarıda yapının toplam kesme kuvvetleri ele alınan analiz modelleri arasında karşılaştırılmıştır. Aynı deprem parametreleri altında ilgili Avrupa Standartlarının önerdiği İvme spektrum denklemleri daha elverişsiz sonuç vermiştir. Mod birleştirme yöntemine göre hesaplanan deprem kuvvetlerinin yeterliliğini kontrol etmek amacıyla taban kesme kuvvetleri eşdeğer deprem yüküne göre elle kontrol edilmiş ve sonuçlar Türk standartları çözümü için Çizelge 5.2' de, Avrupa standartları çözümü için Çizelge 5.3' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2: T.S. eşdeğer deprem yükü ile taban kesme kuvvetleri.

Türk Standartları (E.D.Y. İle Taban Kesme Kuvveti)	$\sum W(t)$	T (s)	ST	A(T)	V_t $W.A(T)/R(T)$	V_t $0,1.A0.I.W$
$\sum VX (t)$	32043.4	1.09	0.89	0.32	2053.34	1153.56
$\sum VY (t)$	32043.4	1.27	0.78	0.28	1799.56	1153.56

Çizelge 5.3: A.S. eşdeğer deprem yükü ile taban kesme kuvvetleri.

Avrupa Standartları (E.D.Y. İle Taban Kesme Kuvveti)	$\sum W(t)$	T (s)	ST	A(T)	V_t $W.A(T)/R(T)$	V_t $0,1.A0.I.W$
$\sum VX (t)$	31565.4	1.25	1.05	0.38	2407	1136.35
$\sum VY (t)$	31564.4	1.40	0.95	0.34	2140	1136.35

5.2 Tasarım Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu tez kapsamında yapılan esas çalışma ortak bir statik modele ait yapısal elemanların ortak yük verileri altında fakat farklı standart ve yönetmelikler uyarınca boyutlandırılmasıdır. Bu çalışma ışığında boyutlandırılan iki yapının toplam çelik ağırlıklarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yapısal elemanların boyutlandırılması sonucunda adil bir karşılaştırma sunabilmek maksadı ile elemanların tasarım oranlarının ortalamaları belli değerler arasında tutulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla tasarım oranlarının 1,08'e kadar çıkmasına müsaade edilmiş, böylece ortalamaların 0,9 - 1,08 arasında tutularak bütün elemanların olabildiğince sınır değerlerde çalıştığından emin olunmak istenmiştir. Tasarım oranları Çizelge 5.4' de verilmiştir.

Çizelge 5.4: Yapısal eleman gruplarının ortalama tasarım oranları.

Yapısal Eleman Grubu	Türk Standartları Analiz Modeli	Avrupa Standartları Analiz Modeli
Kolon tasarım oranları	1.003	0.952
Makas Örgü Elemanları Ortalama Tasarım Oranları	0.904	0.944
Alt Başlık Ortalama Tasarım Oranları	0.976	0.945
Üst Başlık Ortalama Tasarım Oranları	0.985	0.921

Tabloda da görüldüğü gibi ortalama tasarım oranları için kabul edilen yaklaşımlar içerisinde kalınmıştır. Basit kiriş, sürekli kiriş ve kompozit kiriş olarak

boyutlandırılan kat kirişlerinin kesitini sehim kriteri kontrol etmektedir. Bu yüzden her iki çözümde de aynı kesitle çözülen kat kirişleri ağırlık karşılaştırmasına dahil edilmemiştir.

5.3 Yapısal Çelik Elemanlarının Ağırlık Karşılaştırması

Ayrı yapısal eleman gruplarının ağırlıkları ve toplam ağırlıklar Çizelge 5.5' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5: Tasarım sonuçları - Ağırlık karşılaştırmaları.

Yapısal Eleman Grubu	Türk Standartları Analiz Modeli	Avrupa Standartları Analiz Modeli	T.S.'nin A.S.'na karşı % oranı
Toplam Kolon Ağırlıkları (t)	625.38	523.09	19.55
Toplam Makas Örgü Elemanları Ağırlıkları (t)	469	386	21.50
Toplam Alt Başlık Ağırlıkları (t)	518.87	384.33	35.01
Toplam Üst Başlık Ağırlıkları (t)	340.87	242.35	40.65
Toplam Ağırlıklar (t)	1954.12	1535.77	27.24

Tablo'da görüldüğü üzere Avrupa Standartları tasarım sonuçları Türk Standartları'na göre daha hafif sonuç vermiştir. Kolon ve makas örgü elemanları gibi kapasitesinin büyük kısmını eksenel yükler altında kullanan elemanlarda ortalama % 20 civarında bir kazanç görülmektedir. Bunun nedenini genel olarak araştırmak gerekir ise;

Ele alınan yapıda m^2 ye düşen zati ve hareketli yükler birbirine yakın ve oldukça büyük değerler almaktadır. Bunun haricinde ise geniş açıklıkta çelik elemanların kullanılmasının ve ısı değişiminin ± 30 °C olarak dikkate alınmasının sonucu olarak ısı yükleri özellikle kolon tabanlarına yakın olan birinci kat elemanlarında oldukça fazla eksenel yüklere sebep olmaktadır. Kombinasyonların anlatıldığı bölümlerden hatırlanacak olursa Türk Standartları uyarınca zati ve hareketli yükler artırımı uğramadan kombine edilmekte idi.

Öte yandan Avrupa Standartları ise zati yükleri 1,35 , öncü hareketli yükü 1,5 ve diğer hareketli yükleri ise 0,75~0,9 değerleri ile kombine etmekte idi. Zati yüklerin

hareketli yüklere karşı biraz daha fazla olduğunu göz önüne alırsak tüm yüklerin yaklaşık 1,4 katsayısı ile artırılarak tasarımda göz önüne alındığını kabul edebiliriz.

Bu yükleme durumlarına karşılık basınç halinde emniyet gerilmesine uygulanan azaltma katsayılarındaki farklılıkları saymazsak Türk Standartları gereği emniyet gerilmesi esasına göre eleman akma dayanımı 0,6 katsayısı ile azaltılmakta, Avrupa Standartları ise uygun sınıftaki elemanların seçilmesi halinde tasarım için malzemenin akma dayanımının kullanılmasına müsaade etmektedir. Bu halde yüklerin 1,4 katsayısı ile artırımını dayanımdaki 1/1,4' lük bir azaltma olarak ele alırsak Avrupa Standartları'na göre yapılan tasarımda benzer yükler altında 0,72 σ_a dayanımına göre tasarım yapılabildiği görülmektedir. Bu da;

$$\frac{(0,72-0,6) \times 100}{0,6} = \% 20 \text{ gibi bir avantaj sağlamaktadır.}$$

Bu durum eksenel yük ve eğilme etkileri altında boyutlandırılan elemanlarda daha farklı sonuçlar vermektedir. Boyutlandırma metodu içerisinde eksenel basınç ve eğilme etkilerinin birbirleri ile olan etkileşimlerini bir kenara bırakırsak yukarıda bahsedilen farklar eğilme etkileri altında da geçerlidir. Diğer yandan eğilme etkileri altında boyutlandırma yapılırken Türk Standartları uyarınca yine emniyet gerilmesi 0,6 σ_a olarak kullanılmakta fakat kesit mukavemet momenti olarak elastik mukavemet momenti kullanılmaktadır. Ancak aynı etkiler altında Avrupa Standartları'na göre boyutlandırma yapılırken yukarıda bahsedildiği gibi 0,72 σ_a değerini emniyet gerilmesi olarak kullanıp kesitin eğilmeye karşı dayanımı için plastik mukavemet momenti kullanılabilmektedir. Yine uygun sınıftaki elemanların kullanılması halinde dikkate alınabilen plastik mukavemet momenti $W_{pl,i}$ değerleri , elastik mukavemet momenti değerlerinin , I geometrisindeki kesitler için güçlü yönde ortalama 1,15, zayıf yönde ise ortalama 1,5 katına çıkmaktadır. Tablo 'de görüldüğü gibi üzerinde eksenel yük ile birlikte her iki yönde moment etkileri altında boyutlandırılan makas alt ve üst başlıklarının taşıma gücü yöntemi ile tasarımında çok daha yüksek oranda hafif çıktığı görülmektedir.

Sonuç olarak hem Türk Standart ve Yönetmelikleri'ne göre hem de ilgili Avrupa Standartları'na göre boyutlandırılan yapının belirlenen yapısal elemanlarının ağırlıkları karşılaştırılmıştır. Türk Standartları uyarınca yapılan tasarım'ın, Avrupa Standartları uyarınca yapılan tasarıma göre ortalama olarak % 27 oranında daha ağır sonuç verdiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Arda T.** (2000). Çelik Yapıda Karma Elemanların Plastik Hesabı, Birsen Yayınevi, İSTANBUL
- DEPREM YÖNETMELİĞİ.** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, ANKARA
- EN 1990.** (2002). Basis of Structural Design, European Committee for Standardization, Brussels
- EN 1991-1-3** (2003). Actions on Structures - General Actions - Snow Loads, European Committee for Standardization, Brussels
- İMO-02.** (2005). Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Çelik Yapılar Komisyonu, İSTANBUL
- TS EN 1991-1-1.** (2006). Yapılar Üzerindeki Etkiler - Genel Etkiler- Yoğunluklar, Binaların Zati Ağırlıkları ve Binaların Maruz Kaldıkları Diğer Etkiler, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA
- TS EN 1991-1-4.** (2007). Yapılar Üzerindeki Etkiler - Genel Etkiler - Rüzgar Etkileri, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA
- TS EN 1993-1-1.** (2005). Çelik Yapıların Projelendirilmesi - Genel Kurallar ve Bina Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA
- TS EN 1998-1.** (2005). Depreme Dayanıklı Yapıların Projelendirilmesi Tedbirleri Genel Kurallar ve Bina, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA
- TS 498.** (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA
- TS 648.** (1980). Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ali DEMİR

Doğum Yeri ve Tarihi: Karabük , 16.08.1986

E-Posta: alliidemir@gmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği

Mesleki Deneyim: 2009 yılı itibariyle özel bir mühendislik firmasında yapı mühendisi olarak çalışmaktayım