

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YATAY YÜK TAŞIYICI SİSTEMİ BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLI
ÇELİK ÇERÇEVELERDEN OLUŞAN BİR YÜKSEK BİNANIN DEPREM
ETKİLERİ ALTINDA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eray KAYATAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

OCAK 2024

**YATAY YÜK TAŞIYICI SİSTEMİ BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLI
ÇELİK ÇERÇEVELERDEN OLUŞAN BİR YÜKSEK BİNANIN DEPREM
ETKİLERİ ALTINDA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eray KAYATAŞ
(501201044)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fethi KADIOĞLU

OCAK 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501201044 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi Eray KAYATAŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı YATAY YÜK TAŞIYICI SİSTEMİ BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELERDEN OLUŞAN BİR YÜKSEK BİNANIN DEPREM ETKİLERİ ALTINDA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Fethi KADIOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Zafer KÜTÜĞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **29 Aralık 2023**

Savunma Tarihi : **11 Ocak 2024**





Aileme,



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın kapsamı, yatay yük taşıyıcı sistemi burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan bir yüksek binanın deprem etkileri altında performansının değerlendirilmesinin incelenmesinden oluşmaktadır.

Yüksek lisans tez çalışmasında bilgi ve tecrübesiyle büyük katkıları olan, her konuda yardımcı olan, her zaman ulaşabildiğim tez danışmanım Prof. Dr. Fethi KADIOĞLU ve hocam Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER'e en içten teşekkürlerimi sunarım. ENKA İnşaat Sanayi A.Ş. Tasarım Merkezi ailesindeki meslektaşlarıma, bu eserin ortaya çıkmasında verdikleri anlayış ve destekleri için teşekkür ederim.

Son olarak, bugünlere gelmemde büyük emekleri olan, her türlü desteği ve motivasyonu sağlayan değerli aileme en içten sevgilerimi ve şükranlarımı sunarım.

Ocak 2024

Eray KAYATAŞ
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER.....	ixiv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xviii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xviii
ÖZET	xxiii
SUMMARY.....	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Motivasyon	1
1.2 Amaç	2
1.3 Konuyla İlgili Önceki Araştırmalar	3
1.4 Kapsam:	4
2. BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELER	5
2.1 Genel Özellikler	5
2.2 Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazların En Kesit Özellikleri	10
2.3 Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçeve Sistemlerinin Özellikleri	10
2.3.1 Çapraz çerçeve sistemi ve özellikleri	10
2.3.1.1 V-tipi çaprazlı ve ters v-tipi çaprazlı çerçeveler	11
2.4 Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazları İçin Uç Birleşim Detayları	11
2.5 Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazların Tasarımı	12
2.5.1 Burkulması önlenmiş çelik çapraz dayanımı	14
2.5.2 Burkulması önlenmiş çelik çaprazlı çerçevelerin taşıyıcı sistem analizi:	16
2.6 Kolon Tasarımı	17
2.7 Kiriş Tasarımı	18
3. MODEL YAPININ TASARIMI	21
3.1 Yapı Geometrik Bilgileri	21
3.2 Bina Taşıyıcı Sistemi	23
3.3 Yapı Malzeme ve Kesit Özellikleri:	26
3.4 Yapı Zemin Bilgileri.....	27
3.5 Yapı Yükleri.....	27
3.5.1 Sabit yük	27
3.5.2 Hareketli yük	28
3.5.3 Kar yükü	28
3.5.4 Deprem yükü	29
3.5.5 Rüzgar yükü	38
3.5.6 Termal yükü	54

3.5.7 Fiktif yükler	56
3.6 Yük Birleşimleri.....	56
3.6.1 YDKT'ye göre tasarım.....	58
3.7 Yapısal Analiz Sonuçları.....	58
3.7.1 Görelî Kat Ötelenmelerinin Değerlendirilmesi	61
3.7.1.1 Deprem kuvvetleri altında kontrol	61
3.7.1.2 Rüzgar kuvvetleri altında kontrol	63
3.7.2 İkinci mertebe etkilerinin değerlendirilmesi.....	63
3.7.3 Yapısal düzensizliklerin kontrolü	66
3.7.3.1 A1 düzensizliği kontrolü	66
3.7.3.2 B2 – Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat).....	68
3.7.3.3 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı kontrolü	71
3.8 Rüzgâr Etkisi Altında Konfor Kontrolleri.....	73
3.8.1 Rüzgar etkisi faktörü (gust affect factor)	73
3.9 Rüzgâr Kuvveti Etkisine Bağlı Tepe Noktası Yerdeğiştirme Değeri Kontrolü	82
3.10 Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Boyutlandırılması - (Ön Boyutlandırma) Hesapları	83
3.10.1 Kiriş tasarımı: (sadece düşey yük aktaran kirişlerin ve tali kirişlerin boyutlandırılması).....	84
3.10.1.1 İkincil (tali) kiriş tasarımı	84
3.10.1.2 İkincil tali kiriş tasarımı (6m' lik).....	92
3.10.1.3 Burkulması önlenmiş çelik çaprazların tasarımı.....	100
3.10.2 Kolon boyutlandırılması.....	108
3.10.2.1 BÖÇ bağlanmayan - sadece düşey yük aktaran kolonların boyutlandırılması.....	108
3.10.2.2 BÖÇ bağlanan kolon boyutlandırılması (10 m 'lik açıklık)	112
3.10.2.3 BÖÇ bağlanan kolon boyutlandırılması (3 m 'lik açıklık)	121
3.10.3 Burkulması önlenmiş çelik çaprazlı kirişlerin tasarımı.....	130
3.10.3.1 Burkulması önlenmiş çelik çaprazlı kirişlerin tasarımı (10 m ' lik kirişler).....	131
3.10.3.2 Burkulması önlenmiş çaprazlı kirişlerin tasarımı (6 m ' lik kirişler).....	138
3.10.3.4 BÖÇ'lü kolon kiriş ve çapraz birleşiminin tasarımı	146
4. BİNANIN ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ	147
4.1 Taşıyıcı Sistemin Etabs Programında Modellenmesi	150
4.1.1 Yapı modellemesi genel kuralları	150
4.1.2 Deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi	150
4.1.3 ETABS programına tanımlanan veri girişleri	164
4.1.3.1 Malzeme Tanımı	164
4.1.3.2 Deprem kayıtlarının Etabs programına tanımlanması.....	166
4.1.3.3 Yatay yük etkisindeki elemanlar için doğrusal olmayan davranış modelinin tanımlanması.....	167
4.1.3.4 Plastik mafsalların tanımlanması	168
4.2 Taşıyıcı Sistemin OPENSEES 'de Modellenmesi.....	179
4.2.1 Malzeme modellenmesi.....	180
4.2.2 Eleman modellenmesi	184
4.2.3 Kat hizalarında diyafram davranışının modellenmesi.....	185
4.2.4 Geometrik transformasyon	185
4.2.5 Yapısal analiz.....	187

4.2.6 Yapısal analiz esasları.....	183
4.2.7 Kodlama algoritmaları.....	187
4.2.7.1 Denklem sistemleri çözüm yöntemleri	188
4.2.7.2 Yakınsama.....	188
4.2.7.3 Sınır koşulları	189
4.2.7.4 Statik integratör	189
4.2.7.5 Serberstlik derecesi numaralandırma işlemi	189
4.2.7.6 Yer çekimi kuvveti	189
4.2.7.8 Kütle atanması.....	190
5. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	191
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	236
KAYNAKLAR.....	203
EKLER.....	205
ÖZGEÇMİŞ	222





KISALTMALAR

AISC	: American Institute of Steel Construction
AISC 360-16	: Specification for Structural Steel Buildings
ASCE	: American Society of Civil Engineers
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BKS	: Bina kullanım sınıfı
BYS	: Bina yükseklik sınıfı
ÇYTHYE	: Çelik Yapıların Tasarım,Hesap Ve Yapım Esasları
DGT	: Dayanıma göre tasarım
DTS	: Deprem tasarım sınıfı
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
GÖ	: Göçme öncesi performans düzeyi
KH	: Kontrollü hasar performans düzeyi
PEER	: Pacific Eathquake Engineering Research Center
PSA	: Pseudo spectral acceleration
SH	: Sınırlı hasar performans düzeyi
TBDY	: Türk Bina Deprem Yönetmeliği
TH	: Time history
TS EN	: Türk Standartları Enstitüsü
TS EN 1991-1-4	: Yapılar Üzerindeki Etkiler – Bölüm 1-4: Genel Etkiler – Rüzgâr Etkileri (Eurocode 1)
ŞGDT	: Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım
YDKT	: Yük ve dayanım katsayıları ile tasarım



SEMBOLLER

A	: Enkesit alanı
A_g	: Brüt Enkesit alanı
A_r	: Rüzgarın temas edip geçtiği alan
A_{ref}	: Referans alan
b_f	: Profil başlık genişliği
c_{dir}	: Rüzgar doğrultusu katsayısı
c_{fr}	: Rüzgar sürtünme katsayısı
c_o(z)	: Orografik katsayı
c_{pe}	: Bina dış basınç katsayıları
c_{pe}	: Bina dış basınç katsayıları
c_{pe,1}	: 1 m ² ve küçük yüzey alanları bina dış basınç katsayısı
c_{pe,10}	: 10 m ² ve büyük yüzey alanları bina dış basınç kat sayısı
c_{pe,10,D}	: Rüzgâr esme yönündeki yüzey basınç katsayısı
c_{pe,10,E}	: Rüzgâr uzaklaşma yönündeki yüzey basınç katsayısı
c_r(z)	: Engebelilik katsayısı
c_{scd}	: Yapısal katsayı
c_{season}	: Mevsim katsayısı
c_{prob}	: Olasılık katsayısı
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
DD-1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-4	: 50 yılda aşılma olasılığı %68 olan deprem yer hareketi düzeyi
E_{d(H)}	: Deprem kuvvetinin yatay bileşeni
E_{d(Z)}	: Deprem kuvvetinin düşey bileşeni
F_{cr}	: Kritik burkulma gerilmesi
F_{cre}	: Olası akma gerilmesi ile hesaplanan kritik burkulma gerilmesi
F_e	: Elastik burkulma gerilmesi
F_{fi}	: Deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etki ettirilen fiktif yük
F_s	: Kısa periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı
F_u	: Çelik kopma gerilmesi
F_y	: Çelik akma gerilmesi
F₁	: 1.0 periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_S	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_w	: Rüzgar kuvveti
F_{w,e}	: Dış basınç kaynaklı rüzgar sürtünme kuvveti

$F_{w,i}$	: İç basınç kaynaklı rüzgar sürtünme kuvveti
G	: Sabit yük
g	: Yerçekimi ivmesi
G	: Yapısal çelik kayma modülü
H_N	: Yapı yüksekliği
I	: Bina Önem Katsayısı
K_{eff}	: Efektif rijitlik
k_l	: Türbülans katsayısı
k_r	: Arazi katsayısı
k_p	: Tepe katsayısı
$I_{v(z)}$	: Türbülans şiddeti
P_{ns}	: Enkesit basınç kuvveti dayanımı
P_r	: YDKT veya GKT yük birleşimi altında hesaplanan gerekli eksenel kuvvet dayanımı
R	: Deprem azaltma katsayısı
$q_{p(z)}$	: Tepe hızı kaynaklı rüzgâr basıncı
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{aeD}(T)$	: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{de}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesi [m]
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_t	: Strouhal Sayısı
T	: Doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	: Tasarım spektrumu köşe periyotları
t_r	: Başlık kalınlığı
T_L	: Geçiş periyodu
t_w	: Gövde kalınlığı
v_b	: Rüzgâr hızı
V_{cr}	: Vorteks akımı için kritik rüzgâr hızı
$v_{m(h)}$	: Binanın tepe noktasındaki ortalama rüzgâr hızı
$v_{m(z)}$	: Ortalama rüzgâr hızı
w_e	: Rüzgâr basıncı
Y_i	: (i) katı döşemesine etkiyen toplam düşey yük
z_0	: Engebelik uzunluğu
z_{min}	: Minimum yükseklik
Δ_i	: Binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemesi
δ_{WL}	: Rüzgar etkileri altında yapının tepe deplasman değeri
μ_s	: Süneklik
θ_p	: Plastik dönme, Elastik olmayan ötelenme
θ_u	: Hedef tasarım ötelenmesi
θ_y	: Akma ötelenmesi
$\theta_p^{(KH)}$	: Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3. 1 : TS EN 1991-1-3 'e göre maruz kalma katsayısı.....	28
Çizelge 3. 2 : TS EN 1991-1-3 'e göre kar yükü katsayısı.	29
Çizelge 3. 3 : Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları.	30
Çizelge 3. 4 : Deprem ivmesi kayıtları ve değerleri.....	30
Çizelge 3. 5 : DD-2 Dizayn spektral ivme katsayısı ve köşe periyot değerleri.	32
Çizelge 3. 6 : Deprem tasarım parametreleri.	33
Çizelge 3. 7 : Deprem tasarım sınıfları (DTS).....	33
Çizelge 3. 8 : Yapı BYS ve deprem tasarım sınıfı-1.....	34
Çizelge 3. 9 : Yapı BYS ve deprem tasarım sınıfı-2.....	34
Çizelge 3. 10 : TBDY 2018 Tablo 4.1 taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları.....	35
Çizelge 3. 11 : DTS'ye göre yüksek yapılar için performans hedefi ve tasarım yaklaşımı	36
Çizelge 3. 12 : Bina deprem parametreleri özellikleri özet tablosu.	38
Çizelge 3. 13 : TS EN 1991-1-4 'e Arazi kategorileri ve arazi parametreler.	40
Çizelge 3. 14 : Dış basınç katsayısı değerleri.	44
Çizelge 3. 15 : İç basınç katsayıları.....	47
Çizelge 3. 16 : Dış basınç katsayıları.	47
Çizelge 3. 17 : Net basınç katsayıları.	47
Çizelge 3. 18 : Net basınç değerleri.....	47
Çizelge 3. 19 : B = 30 m için toplam rüzgar kuvveti	48
Çizelge 3. 20 : C _{pe} basınç katsayısı değerleri.....	50
Çizelge 3. 21 : İç basınç katsayıları.....	51
Çizelge 3. 22 : Dış basınç katsayıları.	51
Çizelge 3. 23 : Net basınç katsayıları.	51
Çizelge 3. 24 : Net basınç katsayıları.	51
Çizelge 3. 25 : B=15 m için toplam rüzgar kuvveti.	52
Çizelge 3. 26 : B=15m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri.	53
Çizelge 3. 27 : Yük birleşimleri – Part 1.	57
Çizelge 3. 28 : Yük birleşimleri – Part 2.	57
Çizelge 3. 29 : Yük birleşimleri – Part 3.	57
Çizelge 3. 30 : Yük birleşimleri – Part 4.	58
Çizelge 3. 31 : Bina model periyot ve frekans değerleri.	58
Çizelge 3. 32 : Bina kat kütleleri.....	59
Çizelge 3. 33 : Taban kesme kuvvetleri.....	60
Çizelge 3. 34 : Deprem parametreleri,görelî kat ötelemesi formülü.	62
Çizelge 3. 35 : X Yönü II.mertebe kontrolü.	64
Çizelge 3. 36 : Y yönü II.mertebe kontrolü.	64
Çizelge 3. 37 : A1 türü düzensizlik tipi kontrolü (EQX).....	66
Çizelge 3. 38 : A1 türü düzensizlik tipi kontrolü (EQY)	67
Çizelge 3. 39 : B2 türü düzensizlik kontrolü (EQX).....	68

Çizelge 3. 40 : B2 türü düzensizlik kontrolü (EQY).....	69
Çizelge 3. 41 : IPE 450 profil enkesit karakteristikleri.	84
Çizelge 3. 42 : İkincil kirişlere etkiyecek dizayn çizgisel yük değerleri.	86
Çizelge 3. 43 : İkincil (Tali) kirişinde oluşan iç kuvvetler.	86
Çizelge 3. 44 : IBC 2018 'e göre alınacak deplasman koşulu limit değeri.	87
Çizelge 3. 45 : İkincil kirişlere ekstra etkiyecek döşeme imalat yükleri.	90
Çizelge 3. 46 : İkincil kirişinde oluşan döşeme imalatı kaynaklı iç kuvvetler.	90
Çizelge 3. 47 : HEB 360 profil enkesit karakteristikleri.	93
Çizelge 3. 48 : Çerçeve Sistem kirişinde oluşan iç kuvvetler.	93
Çizelge 3. 49 : HEB 400 profil enkesit karakteristikleri.	97
Çizelge 3. 50 : Çerçeve sistem kirişinde oluşan iç kuvvetler.	97
Çizelge 3. 51 : L=5.830 m BÖÇ rijitlik değerleri.	102
Çizelge 3. 52 : L=4.25 m BÖÇ rijitlik değerleri.	103
Çizelge 3. 53 : BÖÇ Malzeme ve enkesit özellikleri.	104
Çizelge 3. 54 : Katlara göre BÖÇ enkesit özellikleri.	107
Çizelge 3. 55 : HD 400X818 profil enkesit karakteristikleri.	109
Çizelge 3. 56 : 1/B 1. Kat kolonu enkesit özellikleri.	113
Çizelge 3. 57 : 1/B 1. Kat kolonu enkesit özellikleri.	114
Çizelge 3. 58 : 2/A 1. kat kolonu enkesit özellikleri.	121
Çizelge 3. 59 : BÖÇ parametreleri özellikleri.	122
Çizelge 3. 60 : Kiriş kesit parametreleri.	133
Çizelge 3. 61 : Kiriş kesit parametreleri.	141
Çizelge 4. 1 : BÖÇÇ şekil değiştirme sınırları.	149
Çizelge 4. 2 : Çelik kolonlarda plastik dönme sınırları.	149
Çizelge 4. 3 : Çelik kirişlerde plastik dönme sınırları.	149
Çizelge 4. 4 : Seçilmiş deprem yer imesi kayıtları özellikleri.	153
Çizelge 4. 5 : 11 adet deprem yer ivmesi kaydı bilgileri	162
Çizelge 4. 6 : HEB 400 profil enkesit karakteristikleri.	169
Çizelge 4. 7 : 4.25 m 'lık BÖÇ için eksenel şekil değiştirme sınır değerleri.	173
Çizelge 4. 8 : 5.83 m 'lık BÖÇ için eksenel şekil değiştirme sınır değerleri.	175
Çizelge 4. 9 :HD 400x990 enkesit özellikleri.	177
Çizelge 5. 1 : Etabs ve OpenSEES analiz programlarından elde edilen X ve Y doğrultusunda BÖÇ uzama, kısalma ve sınır değerleri.	197
Çizelge A. 1 : D ve E Doğrultusunda Etkiyen Rüzgar Kuvvetleri	206
Çizelge A. 2 : D ve E Doğrultusunda Katlara Etkiyen Rüzgar Kuvvetleri.	206
Çizelge B. 1 : D ve E Doğrultusunda Etkiyen Rüzgar Kuvvetleri. (15 m genişlik).	208
Çizelge B. 2 : D ve E Doğrultusunda Etkiyen Rüzgar Kuvvetleri. (30 m genişlik).	209
Çizelge C. 1 : Deprem yükü etkisinde X doğrultusu için elde edilen görelî kat öteleme değeri.	210
Çizelge C. 2 : Deprem yükü Etkisinde Y doğrultusu için elde edilen görelî kat öteleme değeri.	211





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1: Tipik BÖÇ elemanı.....	7
Şekil 2. 2: Standart BÖÇ elemanı enkesit detayı (AISC 341-10).....	7
Şekil 2. 3: BÖÇ 'lerin mekanizma davranışları.....	8
Şekil 2. 4: MÇÇ ve BÖÇÇ akma mukavemeti mekanizmaları.....	8
Şekil 2. 5: Standart basınç altındaki yapısal eleman ve BÖÇ, kuvvet-şekildeğiştirme davranışı.....	9
Şekil 2. 6: Burkulması önlenmiş çelik çapraz enkesitleri.....	10
Şekil 2. 7: BÖÇ tipik birleşim detayları.....	11
Şekil 2. 8: BÖÇ ait eksenel kuvvet - yerdeğiştirme ilişkisi (AISC 341-10)	14
Şekil 2. 9: Çapraza ait eksenel kuvvet - yerdeğiştirme ilişkisi (AISC 341-10).	15
Şekil 2. 10:Çapraza ait eksenel kuvvet - yerdeğiştirme değerleri.....	16
Şekil 2. 11:Kolon mekanizma durumunda iç kuvvet şemaları.....	18
Şekil 2. 12:Mekanizma durumunda kiriş iç kuvvetleri.....	19
Şekil 3. 1 :Normal kat sistem planı.....	21
Şekil 3. 2 : Normal kat sistem planı ve kolon aplikasyon planı.....	22
Şekil 3. 3 : Sistem enkesiti (A ve 1 aksı çevresi).....	22
Şekil 3. 4 : Sistem enkesiti (A ve 1 aksı çevresi).....	23
Şekil 3. 5 :Etabs 3D yapı modeli.....	25
Şekil 3. 6:Etabs 3D yapı modeli.....	25
Şekil 3. 7 : Yapısal çeliklerde F_y ve F_u değerleri.....	26
Şekil 3. 8 : Yapısal bulonların F_{yb} ve F_{ub} değerleri (N/mm^2).....	26
Şekil 3. 9 : Tasarım spektral ivme katsayı değerleri-part 1.....	27
Şekil 3. 10 : Tasarım spektral ivme katsayı değerleri-part 2.....	27
Şekil 3. 11 : Yapının inşaa edilecek lokasyonu.....	30
Şekil 3. 12 : DD-2 deprem düzeyine ait yatay spektrum değerleri.....	31
Şekil 3. 13: DD-2 deprem düzeyine ait düşey spektrum değerleri.....	31
Şekil 3. 14 : DD -2 Düşey elastik tasarım spektrumu parametreleri.....	32
Şekil 3. 15 :TBDY 2018 performans düzeyleri.....	35
Şekil 3. 16 :Rüzgâr yönüne bağlı olarak A ve B yüzeyleri.....	43
Şekil 3. 17 : Yüksekliğe bağlı rüzgâr yükü.....	44
Şekil 3. 18 : EN 1991-1-4'e göre $H>2b$ durumu için rüzgar yükü dağılışı.....	45
Şekil 3. 19 : Yüksekliğe bağlı rüzgâr yükü.....	46
Şekil 3. 20 : Rüzgâr yönüne bağlı olarak A ve B yüzeyleri.....	49
Şekil 3. 21 : Rüzgâr yönüne bağlı olarak D ve E yüzeyleri.....	49
Şekil 3. 22 : EN 1991-1-4'e göre $H>2b$ durumu için rüzgar yükü dağılışı.....	50
Şekil 3. 23 : Yüksekliğe bağlı rüzgâr yükü.....	50
Şekil 3. 24 : İstanbul ili Sarıyer-Maslak ilçesi yıllık sıcaklık verileri.....	55
Şekil 3. 25 : İstanbul ili yıllık sıcaklık verileri.....	55
Şekil 3. 26 :Etabs'de fiktif yüklerin tanımlanması.....	56
Şekil 3. 27 : Bina orta aksı için devrilme momenti.....	71

Şekil 3. 28 : Bina kenar aksı için devrilme momenti.	71
Şekil 3. 29 : Binanın tabanında meydana gelen toplam devrilme momenti Yapının 0.00 kotunda oluşan toplam devirme momenti.	72
Şekil 3. 30 : Tepe noktası yer değiştirme değeri [mm].	83
Şekil 3. 31 : İkincil kirişlere etkiyecek yük dağılım mekanizması (G-Sabit Yük).	85
Şekil 3. 32 : İkincil kirişlere etkiyecek yük dağılım mekanizması (Q-Hareketli Yük).	85
Şekil 3. 33 : İkincil kirişlere etkiyecek yük dağılımı prensibi (G-Sabit Yük).	85
Şekil 3. 34 : Tasarımı yapılan ikincil (Tali) kirişi.	87
Şekil 3. 35 : TBDY 2018 Bölüm 9 Denklem 9.1 – Moment düzeltme katsayısı.	91
Şekil 3. 36 : IBC 2018'e göre alınacak deplasman koşulu limit değeri.	93
Şekil 3. 37 : Tasarımı yapılan çerçeve sistem kirişi.	94
Şekil 3. 38 : IBC 2018'e göre alınacak deplasman koşulu limit değeri.	98
Şekil 3. 39 : Tasarımı yapılan çerçeve sistem kirişleri.	98
Şekil 3. 40 : Burkulması önlenmiş çelik çapraz boyuna detay çizimi.	101
Şekil 3. 41 : Tasarımı Yapılan 23 katlı BÖÇÇ sistemi.	104
Şekil 3. 42 : Tasarımı yapılan çerçeve sistem kolonları.	108
Şekil 3. 43 : 1/B 1. kat kolonu.	112
Şekil 3. 44 : Deprem yönüne bağlı olarak çaprazlarda oluşan kuvvet durumları.	115
Şekil 3. 45 : B-1 Kolonunda mekanizma durumunda oluşan iç kuvvetler-1	116
Şekil 3. 46 : 2/A 1. kat kolonu.	121
Şekil 3. 47 : Deprem yönüne bağlı olarak çaprazlarda oluşan kuvvet durumları.	123
Şekil 3. 48 : Burkulması önlenmiş çaprazlarda olası eksenel kuvvet dayanımları.	123
Şekil 3. 49 : B-1 Kolonunda mekanizma durumunda oluşan iç kuvvetler-1	125
Şekil 3. 50 : Tasarımı yapılacak B-C / 1 aksı kirişi.	131
Şekil 3. 51 : Kiriş iç kuvvet diyagramı.	132
Şekil 3. 52 : Birinci kat kirişi el hesabı için iç kuvvet diyagramı.	132
Şekil 3. 53 : Tasarımı yapılacak A / 3-4 aksı kirişi.	138
Şekil 3. 54 : Kiriş iç kuvvet diyagramı.	139
Şekil 3. 55 : Birinci kat kirişi el hesabı için iç kuvvet diyagramı.	139
Şekil 4. 1 : PEER veritabanı arama filtresi.	151
Şekil 4. 2 : Ölçeklenmemiş bileşke davranış spektrumları.	155
Şekil 4. 3 : Düzce depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.	155
Şekil 4. 4 : Kobe (Japan) depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.	156
Şekil 4. 5 : Landers depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.	156
Şekil 4. 6 : Northridge depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.	157
Şekil 4. 7 : Kocaeli depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.	157
Şekil 4. 8 : Imperial valley depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.	158
Şekil 4. 9 : Hector Mine depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrum.	158
Şekil 4. 10 : El Mayor depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.	159
Şekil 4. 11 : Darfield depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.	159
Şekil 4. 12 : Big Bear 01 depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.	160
Şekil 4. 13 : Erzincan depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.	160
Şekil 4. 14 : 11 adet deprem kaydının ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumları.	161
Şekil 4. 15 : 11 adet deprem kaydının ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumları.	163
Şekil 4. 16 : S355 çelik malzeme akma-kopma gerilme değerleri.	164
Şekil 4. 17 : S355 çelik malzeme özellikleri parametre değerleri.	164
Şekil 4. 18 : S355 gerilme-şekildeğiştirme grafiği.	165
Şekil 4. 19 : S245 akma-kopma gerilme değerleri.	165
Şekil 4. 20 : S245 gerilme-şekildeğiştirme değerleri.	165
Şekil 4. 21 : S355 gerilme-şekildeğiştirme grafiği.	166

Şekil 4. 22 :Düzce depreminin kaydının tanımlanması.	166
Şekil 4. 23 : Hesabın başlangıç adımında kullanılacak olan yükleme durumu.	167
Şekil 4. 24 : Plastik mafsallı ve adi mafsalların şematik gösterimi.	168
Şekil 4. 25 : Çerçeve kirişi için örnek plastik mafsallı durumu.	169
Şekil 4. 26 : Frame assignment –hinges diyalog kutusu.	171
Şekil 4. 27 : P-M3 mafsallı için tanımlanan akma dönmesi değerleri.	172
Şekil 4. 28 : P-M3 mafsallı için tanımlanan akma dayanımı ve moment kapasitesi değerleri.	172
Şekil 4. 29 : 4.25 m’lik BÖÇ için P mafsallı modeli.	175
Şekil 4. 30 : BÖÇ çaprazının eksenel kuvvet -şekil değiştirme ilişkisi.	175
Şekil 4. 31 : Etabste otomatik olarak tanımlanan P-M2-M3 tipi mafsallı.	178
Şekil 4. 32 : Etab P-M2-M3 tipi mafsallı özellikleri.	178
Şekil 4. 33 : Etab tarafından otomatik olarak oluşturulan moment-dönme ilişkisi.	179
Şekil 4. 34 : OpenSEES Steel01 malzeme parametreleri.	181
Şekil 4. 35 : OpenSEES Steel02 malzemesi gerilme – şekil değiştirme parametreleri.	182
Şekil 4. 36 :Analitik olarak modellenen burkulması önlenmiş çelik çaprazların çevrimsel yükleme altındaki kuvvet –yerdeğiştirme grafiği.	183
Şekil 4. 37 :Etab eksenel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi grafiği.	183
Şekil 4. 38 : OpenSEES eksenel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi grafiği.	184
Şekil 4. 39 : Çubuk elemanlarda geometrik transformasyon.	186
Şekil 5. 1 : Adet deprem kaydı sonucunda elde edilmiş olan X doğrultusunda göreceli kat ötelemesi.	192
Şekil 5. 2 : Adet deprem kaydı sonucunda elde edilmiş olan Y doğrultusunda göreceli kat ötelemesi.	192
Şekil 5. 3 : Kocaeli Depremi – X Doğrultusu enerji diyagramı.	194
Şekil 5. 4 : Kocaeli Depremi – Y Doğrultusu enerji diyagramı.	194
Şekil 5. 5 : Adet deprem kaydına göre enerji sönüm değerleri-Etab.	194
Şekil 5. 6 : Adet deprem kaydına göre enerji sönüm değerleri-OpenSEES.	194
Şekil 5.7 : Etab ve OpenSEES analiz programlarından elde edilen X ve Y doğrultusunda ortalama kat kesme kuvvetleri.	195
Şekil 5. 8 : Etab ve OpenSEES programlarından elde edilen X ve Y doğrultusunda BÖÇ uzama ve kısalma değerleri.	196
Şekil 5. 9 : Etab analiz programı ile elde edilen plastik mafsallı dağılımı.	197
Şekil 5. 10 : Etab ve OpenSEES programlarından elde edilen tepe noktası yerdeğiştirmeleri.	198
Şekil 5. 11 : Etab ve OpenSEES analiz programlarından elde edilen X doğrultusu taban kesme kuvvetleri değerleri.	199
Şekil 5. 12 : Etab ve OpenSEES analiz programlarından elde edilen Y doğrultusu taban kesme kuvvetleri değerleri.	199
Şekil E. 1 : Kolon kiriş ve çapraz birleşiminin detayı.	217
Şekil E. 2 : Bağ levhası kaynak – bulon yerleşimleri ve ölçüleri.	217
Şekil E. 3 : Bağ levhasına etkiyen iç kuvvetler.	217
Şekil E. 4 : Kolon-kiriş –BÖÇ birleşim analiz sonucu.	218
Şekil E. 5 : Kiriş - çapraz birleşiminin detayı.	219
Şekil E. 6 : Kiriş bağ levhası kaynak –bulon yerleşimleri ve ölçüleri.	219
Şekil E. 7 : Kiriş -BÖÇ birleşim analiz sonucu.	220
Şekil E. 8 : HEB 400 – HEB 400 kiriş bulonlu tam ek detayı.	221
Şekil E. 9 : HEB 400 – HEB 400 kiriş bulonlu tam ek detayı.	221



YATAY YÜK TAŞIYICI SİSTEMİ BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVLERDEN OLUŞAN BİR YÜKSEK BİNANIN DEPREM ETKİLERİ ALTINDA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Aktif bir deprem coğrafyasında bulunan ülkemizde; binaların deprem etkilerini etkin bir şekilde karşılayabilmesi için, taşıyıcı sistem tasarımında rijitliği ve sünekliliği yüksek deprem kuvveti taşıyan yapı sistemlerinin tercih edilmesi uygun olmaktadır. Deprem kuvveti taşıyan bu tür sistemlerin içinde en uygun yapı sistemlerinden biri burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerdir.

Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin özel bir uygulaması olan burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeveler (BÖÇÇ) yüksek bir sünekliliğe ve yatay rijitliğe sahip olmaları yanında, dengeli ve büyük bir enerji sönmüleme kapasitesine sahiptir.

Bu çalışmada, yatay yük taşıyıcı sistemi burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan çok katlı yüksek bir çelik binanın tasarımı yapılarak deprem etkileri altında doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir. Çelik binanın taşıyıcı sisteminin tasarımında Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYE 2016) Yönetmeliği ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 esas alınmıştır.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazlar, çekme ve basınç etkisi altında simetrik bir doğrusal olmayan davranış gösteren, bu sebeple taşıyıcı sisteme önemli ölçüde enerji sönmüleme özelliği kazandıran yapısal elemanlardır.

Tez çalışması olarak yürütülen bu araştırmada; 23 katlı deprem etkilerinin tamamını karşılamak üzere burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin kullanıldığı yüksek bir çelik binanın tasarımı ile 11 adet deprem yer hareketi kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinin (ZTADO) gerçekleştirilmesi ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda taşıyıcı sistemin deprem performansının değerlendirilmesinden oluşmaktadır.

Bu kapsama uygun olarak, burkulması önlenmiş çelik çaprazların eksenel şekil değiştirme (uzama ve kısalma) durumları, kat hizası kesme kuvvetleri (diyafram kuvvetleri), sönmülenen deprem enerjisinin taşıyıcı sistem davranışı içindeki dağılımı, kat yer değiştirme değerleri ve görelî kat ötelemeleri irdelenmiştir.

Tez çalışmasının ilk bölümünde araştırmanın kapsamı ve amacı belirtilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde, burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin karakteristik özellikleri ile bu sistemlerin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin tasarımına yönelik hesap esasları ile bu tür sistemlerin modellenmesine yönelik bilgiler de bu bölümde yer almaktadır.

Üçüncü bölümde, model binaya ait genel özellikler, yükler ve yük birleşimleri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018) ve Çelik Yapıların Tasarım, Hesap İle Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ÇYTHYE 2016) esas alınarak yürütülen tasarım hesaplarına yer verilmiştir.

Dördüncü bölüm; tasarımı yapılan bina taşıyıcı sisteminin Etabs ve OpenSees (Open System for Earthquake Engineering Simulation) yazılımı ile üç boyutlu analitik modelinin hazırlanmasını ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerini kapsamaktadır.

Beşinci bölümde, analizlerden elde edilen sonuçlar incelenerek, binanın deprem etkilerine karşı performansı değerlendirilmiştir.

Tezin son bölümünde ise, elde edilen sonuçlar belirtilerek önerilerde bulunulmuştur.



SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF A HIGH-RISE STEEL BUILDING WITH BUCKLING-RESTRAINED BRACED STEEL FRAMES UNDER EARTHQUAKE EFFECTS

SUMMARY

In our country, which is located in an active earthquake geography, it is appropriate to prefer earthquake load bearing structural systems with high rigidity and ductility in the design of the structural system in order for the buildings to effectively withstand the earthquake effects.

Lateral earthquake forces acting on the structure affect the behaviour and strength of the structural elements directly. Anti-Seismic structures require horizontal load-bearing components to earthquake forces directly.

One of the most suitable building systems among such systems carrying earthquake forces is steel frames with buckling restrained braced steel frames. Diagonal frame systems are so efficient in withstanding earthquake loads, especially in regions prone to frequent earthquakes,

As a special application of center braced steel frames, buckling restrained braced steel frames have a high ductility and horizontal stiffness as well as a balanced and large energy absorption capacity. In this study, the nonlinear behavior of a multi-storey high-rise steel building consisting of steel frames with buckling restrained brace is investigated under earthquake effects.

Design and nonlinear dynamic analysis in time history in accordance with the Turkish Code for Design and Construction of Steel Structures 2016 (TCD CSS 2016) and Turkish Seismic Code for Buildings 2018 (TSCB 2018), and the results obtained from these analyses.

Buckling-restrained steel braces behave a symmetrical nonlinear behavior under the force of tension and compression. So buckling restrained steel braces reach the same yield stress value in compressive force and tensile force.

It forms a symmetrical graphic curve. Due to the fact that the buckling restrained steel braces do not buckle under compressive force, other structural elements are not damaged and thus most of the energy is accumulated in the braces.

Therefore, these are structural elements that provide the load-bearing system with significant energy damping properties.

In this research, which is carried out as a thesis study, the design of the 23-storey building is planned to bear all lateral load earthquake effects.

Steel frames with buckling restrained braced are used to resist the horizontal earthquake forces. The design of a tall steel building is based on 11 earthquake ground motion records.

Earthquake ground acceleration values were scaled in accordance with FEMA standards and ground acceleration records suitable for the structure were obtained.

Nonlinear analysis method in time history analysis is used. It consists of the evaluation of the earthquake performance of the structural system in line with the results obtained after the analyzes.

In accordance with this scope, axial deformation (elongation and shortening) of buckling restrained steel braces, storey level shear forces (diaphragm forces), distribution of absorbed earthquake energy within the structural system behavior, storey displacements and relative storey drifts were investigated. So, the buckling restrained steel braces demonstrated the anticipated performance concerning axial strain, encompassing both elongation and shortening.

In the first part of the thesis, the scope and purpose of the research are stated.

In the second part of the study, the characteristic properties of steel frames with buckling restrained brace and the advantages and disadvantages of these systems are discussed.

In addition to the second part, the standard guidelines for the analysis and modeling of buckling restrained steel bracing are mentioned in TSCB2018, AISC 341-10 and AISC Seismic Design Manual.

Calculation principles for the design of steel frames with buckling restrained braces and information on modeling of such systems are also included in this chapter.

In the third part of the study, design and nonlinear dynamic analysis in time history in accordance with the Turkish Code for Design and Construction of Steel Structures 2016 (TCD CSS 2016) and Turkish Seismic Code for Buildings 2018 (TSCB 2018), and the results obtained from these analyses.

The fourth chapter covers the preparation of a three-dimensional analytical model of the designed building structural system using OpenSees (Open System for earthquake Engineering Simulation) and Etabs (Integrated Building Design Software).

Parameters of nonlinear structural elements used in OpenSEES analysis programme, finite element properties are defined and information is given. Also analysis steps are explained in time history.

In the last chapter, the fifth chapter, In general, the master's thesis is summarised. Results are compared with the values given in the current regulations and the earthquake performance is evaluated.

In the results section buckling restrained steel braces demonstrated the anticipated performance concerning axial strain, encompassing both elongation and shortening. Inelastic deformations were observed in the diagonals and energy dissipation occurred in the structural system due to these deformations.

Storey level shear forces (diaphragm forces) and relative storey displacement ratio values were investigated and according to the results obtained.

The building structural system has provided the Controlled Damage performance target stipulated in TBDY 2018. It was observed that the relative storey drift ratios did not exceed 2% for DD-2 earthquake level.

It is observed that the buckling restrained steel braced frames have sufficient strength and ductility against earthquake forces. It is understood that the capacity design principles stipulated in TBDY 2018 and TCDCSS 2016 are adequate. A similar study can be done using eccentric crosses.



1. GİRİŞ

1.1 Motivasyon

Türkiye, coğrafi konumu gereği sık sık depremlerle karşılaşan bir ülkedir. Bu depremler, hem maddi hem de manevi olarak büyük yıkımlara neden olabilmektedir. Bu durum, yapıların depreme karşı dayanıklı olmasını, sağlam ve dayanıklı yapı sistemlerinin varlığını önemli kılmaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne bağlı, bir binanın tasarımı, hafif depremlerde herhangi bir yapısal veya yapısal olmayan hasara izin vermemeyi, orta şiddetteki depremlerde ise sınırlı düzeyde hasarın onarılabilir olmasını öncelikli olarak hedeflemektedir. Yüksek şiddetteki depremlerde ise kalıcı yapısal hasarın sınırlandırılması, yapının çökmesinin engellenmesi ve can kaybının minimum seviyelere indirilmesi hedeflenir. Bu yönetmelikler, yapı sektöründe güvenli ve dayanıklı binaların inşası için belirleyici bir rol oynar.

Çok katlı binalar, rüzgar ve deprem gibi yatay kuvvetler altında büyük iç kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu durum, yapısal elemanlarda ve bina taşıyıcı sistemi bütününde görelî kat ötelemesi, taban kesme ve kat kesme gibi kuvvetlerin artmasına neden olmaktadır. Bu yatay kuvvetler, yapı elemanlarının dayanımını doğrudan etkilemektedir. Çok katlı binaların deprem ve rüzgar gibi etkenlere karşı stabilitesini sağlamak için en etkili yöntem, merkezi çaprazlı sistemlerin kullanılmasıdır. Bu sistemler, yapıya etkiyen yatay kuvvetlerin etkilerin dengelenmesinde, bina genelinde süneklilik ve yapısal rijitlik sağlamak için uygulanır. Ancak, orta ve yüksek katlı binalarda, tekrar eden yükler, rüzgar ve deprem gibi yatay kuvvetlerin etkisiyle büyük kat ötelemesi değerleri ortaya çıkabilmektedir.

Geleneksel olan çapraz sistemleri, bu gibi durumlarda dayanım kayıpları ile karşılaşabilmektedir. Özellikle basınç kuvveti durumunda, geleneksel çapraz sistemleri, narin elemanlar olarak kabul edildiklerinden dolayı dayanımları yetersiz kalabilmekte ve büyük yer değiştirmeler yapabilmektedir. Bu sorunlar, kesit dayanımı eksikliklerine ve yapısal düzensizliklere sebep olarak diğer yapısal elemanlarda da dayanım kayıplarına yol açmaktadır.

Çelik çerçeve sistemin oluşan yapılar şiddetli yatay deprem kuvvetleri altında büyük yanal yerdeğiştirmeler yapmaya elverişlidir. Yapısal taşıyıcı sistemlerde görelî kat ötelemesi değerlerinin yüksek değerlerde olması taşıyıcı yapısal elemanların ve bağlantı detaylarının doğrudan olumsuz şekilde etkilenmesine neden olmakta bu nedenle yapısal elemanlarda bu olumsuzlukların gözlenmemesi için merkezi çelik çapraz sistemleri tercih edilmektedir. Taşıyıcı sistemlerde tercih edilen geleneksel merkezi çelik çapraz sistemlerinin düşük süneklilik ve enerji sönümleme özelliklerinden dolayı, alternatif geliştirilmiş ve iyileştirilmiş merkezi çelik çapraz sistemlerinin bir alt kolu olan merkezi burkulması önlenmiş çapraz çelik sistemi geliştirilmiştir.

Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeveler (BÖÇ), merkezi çelik çaprazlara göre, çevrimsel histerik davranış altında oluşan basınç ve çekme kuvveti durumlarında simetrik (histerik) davranış göstermektedirler. BÖÇ'lerin çekme ve basınç durumlarına karşı sergilediği benzer davranış etkisinin yapıya sağladığı en önemli faktörlerden biri olan enerji sönümleme etkisidir. Enerji sönüm etkisi ise temel olarak yapısal sistemde sünek davranışın oluşmasına katkı sağlamaktadır. Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin enerji absorbtasyonu ve yüksek sünek davranışa olan desteklerinden dolayı orta ve yüksek katlı yapılarda özellikle, deprem ve rüzgar etkilerine karşı yaklaşık 30 yıldır tüm dünyada kullanılmaktadır. Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin ülkemizde de kullanım örneklerinin mevcut olduğu ve gün geçtikçe kullanım alanlarının artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu alalar ise, özellikle çelik yapılarda depreme karşı dayanıklılık ve güçlendirilmesi planlanan betonarme binalarda tercih edilmektedir. Bu gelişim ve yaygınlaşma sürecine paralel olarak, burkulması önlenmiş çelik çaprazlar 2018 yılında yayımlanan deprem yönetmeliği ile de (TBDY 2018), yönetmelik çerçevesi altına alınmıştır.

1.2 Amaç

Bu çalışmanın amacı, taşıyıcı sistemini çelik kolon ve çelik kirişlerin oluşturduğu süneklilik düzeyi yüksek burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan, yüksek katlı bir binanın, ÇYTHYE 2016 ile TBDY 2018 esaslarına göre tasarımının yapılması, doğrusal olmayan dinamik analizler ile, zaman tanım alanında elde edilen sonuçların araştırılmasıdır. Dinamik analizler için yapının inşaa edileceği konuma uygun olacak şekilde seçilmiş 11 adet deprem yer hareketi ivme kaydı seçilmiş ve

Etabs, OpenSEES bilgisayar yazılım analizleri gerçekleştirilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları kapsamında, yapısal elemanlarda oluşan plastik şekil değiştirme değerlerine göre kiriş, kolon ve burkulması önlenmiş çelik çaprazlarda hasar durumları saptanarak bina taşıyıcı sisteminin genel deprem performansı araştırılmıştır. Kat kesme kuvvetleri, burkulması önlenmiş çelik çaprazlarda oluşan plastik şekil değiştirme (uzama, kısalma) durumları, 11 adet deprem ivme değerlerine bağlı olarak oluşan enerji diyagramları, tepe noktası deplasman değerleri ve görelî kat ötelemeleri TBDY 2018 yönetmeliği kapsamında irdelenmesi yapılmıştır. Etabs, OpenSEES bilgisayar analiz programlarından elde edilmiş sonuçların birbirleri ile kıyaslanarak, iki model arasındaki tutarlılıklarda değerlendirilmiştir.

1.3 Konuyla İlgili Önceki Araştırmalar

Deprem yükleri yapıya yatay yönde tersinir yük olarak etki etmektedir. Bu tersinir yük özelliğinden dolayı yapıda oluşturduğu büyük iç kuvvetler geleneksel merkezi çaprazlarda çeşitli taşıma gücü tükenmesi ve burkulma sorunları gibi sorunlara neden olmaktadır. Bu gibi sorunlar ise bilim adamlarını çeşitli çözüm yöntemleri araştırmalarına sevk etmiş ve bu çözüm yöntemlerine karşılık olacak yenilikçi yapısal elemanlar bulmalarının önünü açmıştır.

Bu tarz yenilikçi yapısal elemanlardan kabul edilen örneklerden biri de burkulması önlenmiş çelik çaprazlardır. İlk yapılan çalışma 45 yıl önce, burkulma önleyici çaprazlar olarak adlandırılan, Japonların yapmış olduğu çalışmadır. İlk deneysel olarak yapılan çalışmada benzer şekilde Japonya da ise 1971 yılında yapılmıştır. Yapılan ilk deneysel çalışmalarda, imalatı yapılmış ilk burkulması önlenmiş çelik çapraz elemanlarda tekrarlı yükler altında testler yapılmış ve çapraz elemanın yapısal davranışı incelenmiştir. Kimura ve diğ. (1976) Burkulması önlenmiş çelik çaprazların, enkesit tipleri ve boyutları üzerine odaklanmışlardır. Daha yapılan çalışmalar ile burkulması önlenmiş çelik çaprazlı sistemlerde yapıda yüksek enerji sönümleme kapasitesine erişilebileceği ve bu duruma bağlı olarak yapının yüksek süneklik seviyelerinde bulunabileceği fark edilmiştir. Burkulması önlenmiş çelik çaprazların Amerika Birleşik Devletlerinde aktif olarak kullanılmaya başlanması ise 2000'li yılların başına denk gelmektedir. Burkulması önlenmiş çelik çaprazların Türkiye'ye yönetmelik kapsamında aktif olarak giriş yapması ve uygulamalarda kullanılması

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ile olmuştur. Türkiye’de aktif olarak toplamda 10 yıla yakın olacak şekilde burkulması önlenmiş çaprazlar üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

1.4 Kapsam

Yüksek lisans tezinin ilk kısmında genel olarak kapsam belirtilmiştir. Tez kapsamı altında genel hedeflenen amaçlar verilmiş ve konu ile ilgili günümüze kadar yapılmış olan çalışmalardan örnekler ile bahsedilmiştir. Yüksek lisans tezin ikinci kısmında, burkulması önlenmiş çaprazların (BÖÇ) tanımlaması yapılmış ve burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve sistemlerinden bahsedilmiştir. Çok katlı yapılarda yüksek süneklilik özelliği göstermesi ve çevrimsel histerik simetrik davranış sergilemesinden dolayı, klasikleşmiş merkezi çaprazlara göre daha efektif olduğundan bahsedilmiştir. Tezin 3. bölümünde, TBDY 2018 yönetmeliğine göre doğrusal elastik ve doğrusal olmayan elastik hesap yöntemlerine ait genel kurallar verilmiştir. Tezin dördüncü kısmında, 23 katlı binanın üç boyutlu analitik model bilgisi, geometrik özellikleri, taşıyıcı sistem özellikleri, taşıyıcı sisteme etkiyen ölü yük, hareketli yük, kar yükü, rüzgar yükü ve deprem yükü değerleri ile birlikte yüklere ait karakteristik özellikleri verilmiştir. Etabs analiz programı yardımı ile, TBDY 2018 ve ÇYTHYE 2016 yönetmeliğine göre yapısal elemanların boyutlandırılması, yapısal sistemlerin enkesitlerinin bilgisinin verilmesine de bu bölümde yer verilmiştir.

Yüksek lisans tezinin 5. kısmında, dördüncü bölümde tasarım işlemi tamamlanan taşıyıcı sistemin üç boyutlu doğrusal olmayan analitik modellerinin OpenSEES (Open System for Earthquake Engineering Simulation) analiz programıyla hazırlanması ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi (Time History) ile taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan plastik şekil değiştirmelerin (uzama, kısalma) sonuçları ve elde edilmiş olan sonuçlara bağlı, deprem performansı parametreleri ve bu parametre analizleri bilgileri verilmiştir. Tezin son bölümünde ise, taşıyıcı sisteme ait hesap adımları kısaca özetlenerek, plastik şekil değiştirme değerleri ve elastik olmayan şekil değiştirme noktaları, yapının taşıyıcı sistemine ait elastik deprem yükleri, tasarım taban kesme kuvvetleri, yapının her bir katında oluşan kat kesme kuvveti değerleri, burkulması önlenmiş çelik çaprazlarda basınç ve çekme durumları altında oluşan uzama, kısalma değerleri ve OpenSEES analiz programı sonucunda oluşan yatay yüklere bağlı taşıma kapasitesi değerleri incelenmiştir.

2. BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELER

2.1 Genel Özellikler

Yapısal sistemi çelik çerçevelerden veya betonarme çerçeveden oluşan sistemler, genel olarak çelik çaprazlar kullanarak inşa edilmektedir. Çaprazların yapısal sistemlerde kullanılmasının temel amacı, yapıya etki edecek olan yatay kuvvetleri dayanım düzeyi yeterli kalacak şekilde karşılamaktır. Çaprazların taşıyıcı sistemlerinde kullanılmalarının en temel amacı ise, yapının yanal rijitliğini ve yatay doğrultudaki stabilitesini sağlamak, yeterli düzeyde sünek, rijit ve dayanımı yüksek bir deprem performansı elde etmektir. Bu durum özel olarak orta ve yüksek katlı yapılarda rüzgar ve deprem kuvvetleri etki durumlarında ortaya çıkmaktadır. Yapıya etkileyen yatay kuvvetlerin özellikle tersinir durumda etkimesi de yapıda büyük taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetlerinin oluşmasına ve görelî kat öteleme değeri yüksek çıkmasına sebebiyet vermektedir.

Ek olarak çevrimsel yükleme durumunda oluşan çekme ve basınç kuvvetleri doğrudan çaprazların yapısal davranışına etki etmekte ve taşıyıcı sistemin diğer elemanlarına da etkileyebilmektedir. Bu gibi çevrimsel yükleme durumlarında oluşan kuvvetler çapraz elemanlarda elastik olmayan (plastik) şekil değiştirmelere sebebiyet vermektedir. Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerde oluşan çekme ve basınç kuvveti durumlarında kuvveti karşılayan çaprazlar bu kuvvet durumlarına karşı farklı davranış durumları sergilemektedir. Özet olarak çekmeye maruz kalmış bir klasik çapraz elemanda akma dayanımına ulaşılma söz konusu olmakta, basınç durumunda ise, narin enkesitte olma durumuna bağlı olarak düzlem dışına doğru büyük şekil değiştirmeler (burkulma) meydana gelebilmektedir. Bu nedenle bu tür yapısal elemanlarda taşıma gücü kaybı, yapısal elemanların düzlem dışı ötelenmesinin istenmeyen düzeylere ulaşması gibi durumlarla karşılaşmak kaçınılmazdır.

Yapı mühendisliği genel kuramlarına göre, taşıyıcı sistemi tasarlanan bir yapıda sürdürülebilir dayanım ve kararlı enerji sönmeme özellikleri başlıca istenen özelliklerdendir. Bu nedenle yapısal taşıyıcı sisteme etkimesi düşünülen deprem ve rüzgar gibi tersinir yüklerin, görelî kat öteleme oranlarının ve tepe noktası yer

değiştirme değerlerinin tolere edilmesi gerekmektedir. Bu durum özellikle ülkemiz gibi aktif deprem riski taşıyan bölgelerde, yapıların tasarımında bu faktörlerin en öncelikli olarak göz önünde bulundurulması kritik öneme sahiptir.

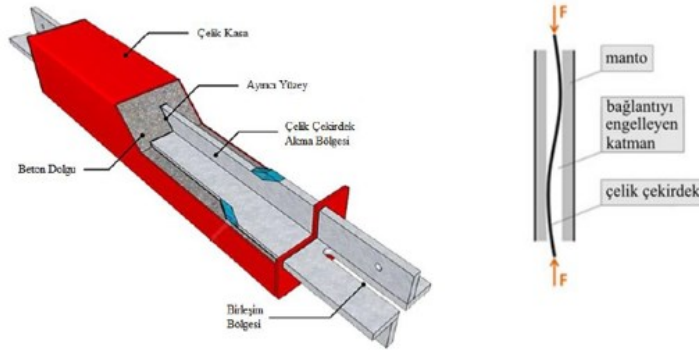
Yapıların taşıyıcı sistemlerinde bu davranış biçimlerini sağlamak amacıyla birden fazla araştırma yapılmış, bu araştırma sonuçlarına göre yapısal tasarım modelleri geliştirilmiş ve günümüz teknolojisi imkanları ile geliştirilmeye devam edilmektedir.

Merkezi çaprazlı çerçeveler (MÇÇ) sınırlı süneklilik düzeyi ve enerji yutma kapasitesine sahiptirler. Tersinir yatay yüklemeler altında yapısal elemanlar olarak özellikle çaprazlar, histerik davranış sergileyememektedirler. Genel olarak bu gibi olumsuz durumda klasik çaprazlar yüksek çekme kuvvetinden dolayı ya akma davranışı göstermekte ya da yüksek basınç kuvvetinden dolayı burkulmaktadır. İki olumsuz durum sonucunda da oluşan taşıma gücü kaybından dolayı gelen büyük değerdeki kuvvetler yapının diğer yapısal ana taşıyıcı elemanlarının da zorlanmasına, taşıma gücü kaybının oluşmasına, tasarım aşamasında büyük enkesit özelliklerinin elde edilmesine bağlı yüksek maliyetlerin oluşmasına sebebiyet vermektedir.

Bu sorunların çözülmesi ve önüne geçilmesi amacıyla, yapılan çalışmalar sonucu geliştirilmiş olan, merkezi çaprazlı çelik çerçevelere kıyasla daha iyi deprem performansına sahip merkezi çelik çapraz sisteminin özel bir kolu olan Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçeveler (BÖÇÇ) geliştirilmiştir.

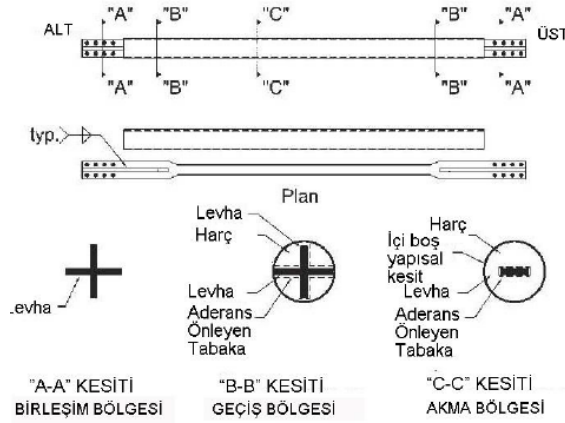
Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerde hedeflenen temel amaç, mevcut çelik çaprazların burkulmasının önüne geçmektir. Bu duruma ek olarak burkulmayı önleyen sargı tabakası ile çelik arasında gerekli aderansın da önlenmesi ile, çaprazlarda çekme ve basınç durumlarına karşın histerik davranışın elde edilmesini sağlamaktır. Bu sayede yapıya yatay olarak etkiyecek olan tersinir kuvvetler altında, basınca maruz kalacak çaprazların burkulması önlenmiş olacaktır. Sonuç olarak taşıyıcı sistemi oluşturulan yapıya ait burkulması önlenmiş çaprazlı çelik sisteminde, çekme ve basınç kuvvetlerinde akma mukavemetine ulaşılması ve bu duruma bağlı elastik olmayan şekil değiştirmelerin çapraz elemanlarında oluşması istenmektedir.

Genel olarak burkulması önlenmiş çelik çaprazlar üç temel parçadan oluşmaktadır. Sırası ile bu kısımlar, çelik çekirdek, beton manto tabakası ve çelik çekirdek ile beton mantonun arasında bulunan sürtünmeye bağlı çekirdek elemanına doğru oluşacak yük akışını engelleyen katmandır.



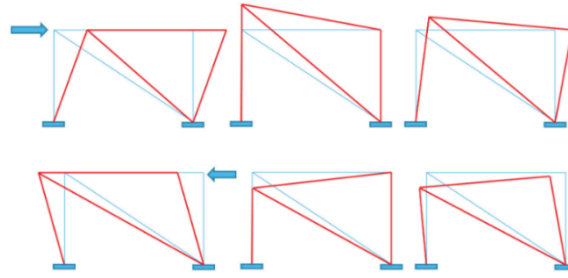
Şekil 2. 1: Tipik BÖÇ elemanı.

İlk ana kısım olan çelik çekirdek, burkulması önlenmiş çelik çaprazda yatay kuvvetlerden dolayı oluşacak olan çekme ve basınç kuvvetlerinin karşılandığı kısımdır. Oluşacak çekme ve basınç kuvvetlerine karşı davranışı sergileyecek ana kısım burasıdır. Beton mantonun temel görevi ise, tersinir yatay yüklerden dolayı oluşacak olan basınç kuvvetinin çaprazın burkulmasının önüne geçmesi ve engellemesidir.

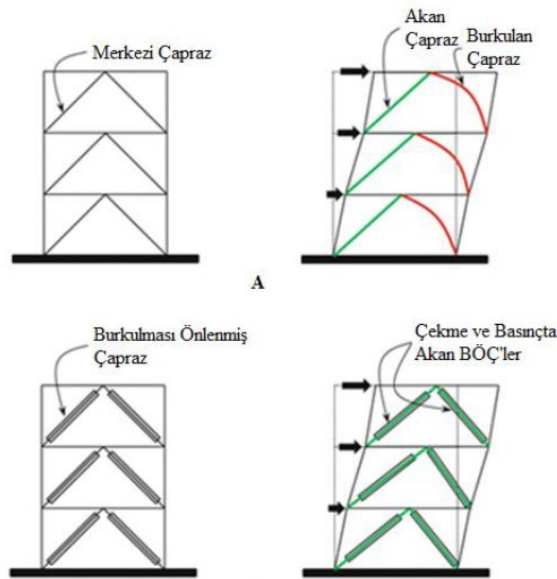


Şekil 2. 2 : Standart burkulması önlenmiş çelik çapraz elemanı enkesit detayı (AISC 341-10).

Üçüncü ve son temel parça olan katman ise, beton kaplaması ile çekirdek enkesiti arasındaki sürtünme etkisini düşürecek bir bölüm oluşturmaktır. Şekil 2.1’de standart bir burkulması önlenmiş çelik çapraz elemanı mevcuttur. Tipik bir burkulması önlenmiş çelik çapraz boyuna doğrultudaki eksene göre incelendiğinde ise üç kısımdan oluşmaktadır. Birleşim bölgesi, geçiş bölgesi ve orta bölgedir. Orta bölge aksinel kuvvetin karşılandığı ve çekme kuvveti durumuna karşılık akmanın gerçekleştiği kısımdır. Akmanın gerçekleşmediği, enkesit alanı olarak orta kısma göre daha büyük enkesit alanına ve rijitliğe sahip geçiş bölgesi kısmıdır. Son olarak da akmanın gerçekleşmediği, beton mantonun olmadığı birleşim bölgesidir. Birleşim bölgesi kısmı çaprazların birleşim plakalarına olan bağlantısını sağlamaktadır. BÖÇ’lerin taşıyıcı çelik çerçeve sistemlerinde tekrarlı yüklemeler altında sergilediği mekanizma davranışı ise Şekil 2.3 - 2.4 ‘de belirtilmiştir.

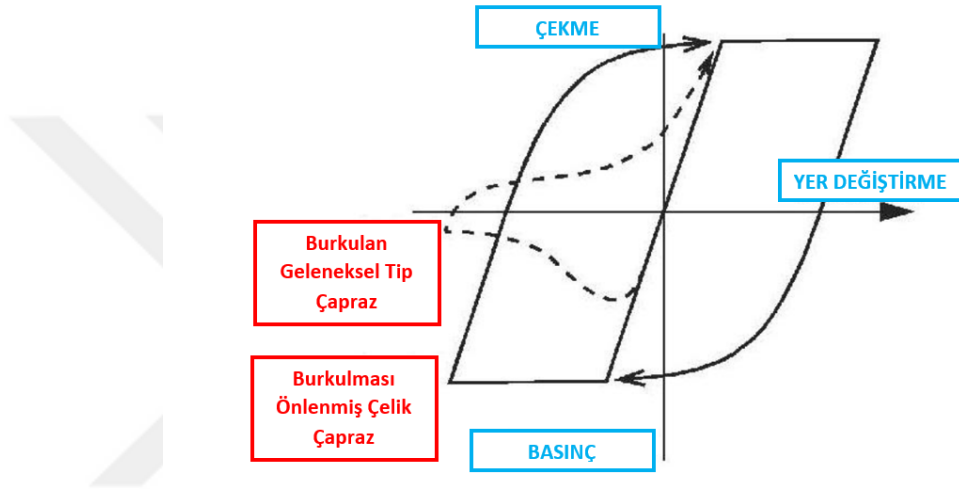


Şekil 2. 3:BÖÇ ‘lerin mekanizma davranışları.



Şekil 2. 4 : Merkezi Çelik Çapraz Ve Burkulması Önlenmiş Çaprazlı çelik taşıyıcı sistemlerinin akma mukavvemeti mekanizmaları.

Şekil 2.5’de görüldüğü üzere merkezi çelik çaprazlar, tersinir çekme kuvveti altında iyi bir performans sergilemesine rağmen, basınç durumunda aynı davranış durumunu sergileyememektedir. Basınç davranış durumu olarak performansı çekmeye göre yetersiz kalmaktadır. Oluşan bu olumsuz durum ise genellikle çaprazların düzlem dışı burkulması ile sonuçlanmaktadır. Sürecin diğer adımında ise burkulan çaprazlar bir sonraki yük çevriminde dayanımı kaybederek kopmaktadır. Sonuç olarak klasik merkezi çelik çaprazlar, burkulması önlenmiş çelik çaprazlara göre düşük enerji sönümleme ve düşük şekil değiştirme özelliğine sahiptir.



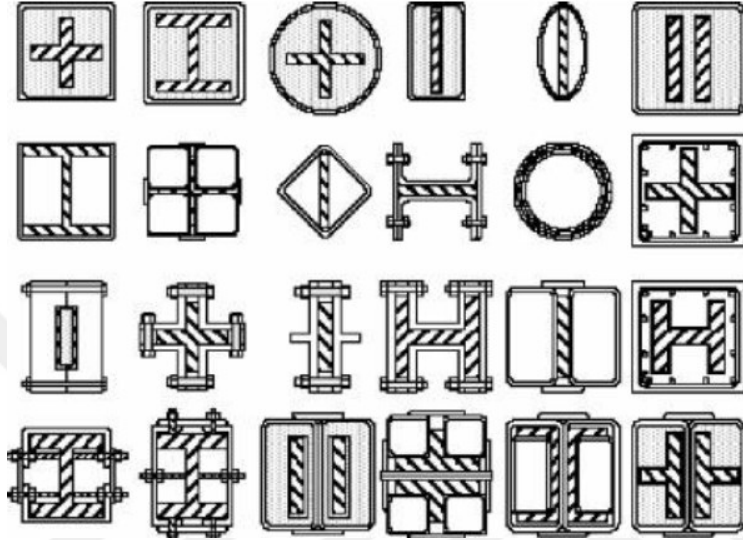
Şekil 2. 5 : Standart basınç altındaki yapısal eleman ve BÖÇ, kuvvet-şekildeğiştirme davranışı.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazın avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

- Çekme ve basınç durumlarına karşı simetrik histerik davranışa sahip olması,
- Yüksek enerji sönümleme özelliğine sahip olması,
- Tekrarlı ve çevrimsel davranışa karşı uyumlu olması,
- Yapıda estetik olarak montajının yapılabilmesi ve mimari kısıtlamalara takılmayarak, kısıtların önüne geçmesi,
- Yapıda özellikle yanal rijitliği artırması ve dayanımı sağlaması,
- Sismik güçlendirmeye uygun olması,
- Çekme ve basınçta akmanın meydana gelmesi. Basınç durumunda burkulmaması.
- Büyük yatay kuvvetlerde (rüzgar, deprem) yapıda sigorta görevi görmesi, diğer yapısal elemanların zarar görmesini engellemesi.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazın dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

- Çelik çekirdek kısmının akması,
- Birleşme bölgesindeki guse plakasının burkulma problemi oluşturması,
- Çelik çerçeve ile çapraz arasındaki bağlantının güvenilirliğinin yeterli teorik altyapı araştırmasının olmayışı.



Şekil 2. 6 : Burkulması önlenmiş çelik çapraz enkesitleri.

2.2 Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazların En Kesit Özellikleri

Burkulması önlenmiş çelik çaprazlarda önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere ana kısımları, çelik çekirdek, aderansı önleyici tabaka ve beton manto tabakasıdır. Bu kısımlar çeşitli kombinasyon ve şekillerde biraraya gelebilmekte, birden fazla burkulması önlenmiş çelik çapraz enkesiti oluşturabilmektedir.

Genel olarak enkesitin değişkenlik gösterebildiği kısım çekirdek bölgesi olmaktadır. Çekirdek bölgesinde kullanılan ana profilin enkesiti, standart kesitlerden kare, dikdörtgen ve dairesel şekillerde olabilmektedir. Şekil 2.6 ‘ da oluşturulabilecek farklı enkesit şekilleri de belirtilmiştir.

2.3 Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçeve Sistemlerinin Özellikleri

2.3.1 Çapraz çerçeve sistemi ve özellikleri

Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin, çelik çerçevelerdeki yerleşimleri ve konfigürasyonları TBDY 2018 ve AISC 341-10 standartlarında detaylı olarak

bahsedilmektedir. Bu bahsedilen standartlara göre merkezi çaprazların K-tipindeki çapraz konfigirasyonu hariç diğer tüm konfigirasyonları çelik çerçeve sisteminlerinde kullanılabilmektedir. Ayrıca X- tipi çapraz konfigirasyonu için yalnızca 2 katta bir kullanılması koşulu söz konusudur. Bu tezde iki katta bir X-tipi çapraz kullanılmıştır.

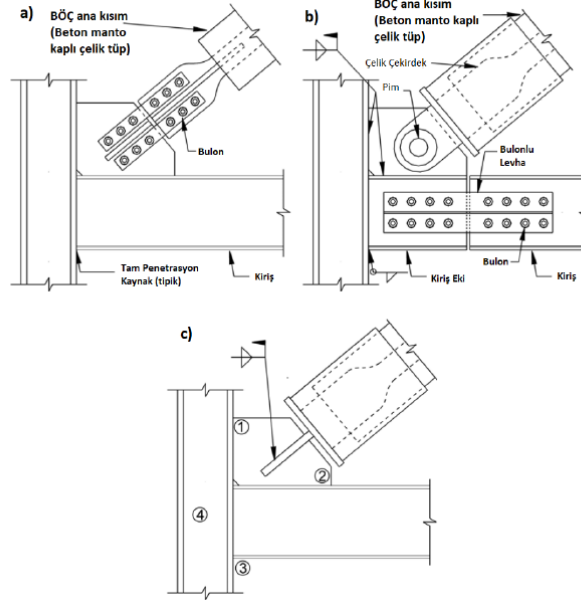
2.3.1.1 Merkezi ters V-tipi / Merkezi Ters V-tipi çelik çaprazlı çerçeveler

Bu çelik çaprazlı sistemlerde daha önceden belirlenmiş olan standart koşulları sağlamalıdır. Bu koşullar;

- Kirişler ve bu kirişlere bağlanan çapraz elemanların, kirişe bağlanmış olan çapraz elemanların destek sağlamadığı kabulü yapılarak, düşey sabit ve hareketli yüklere göre yapısal kiriş elemanlarının boyutlandırılmasının yapılması gerekmektedir.
- Kiriş uç noktalarına, çelik çapraz elemanlarının uç noktalarının birleştiği bölgelerde, çelik çapraz elemandan kaynaklı oluşan dengelenmemiş çekme ve basınç kuvveti durumlarına göre yapısal eleman dayanım hesapları ve bağlantı detay tasarımlarının yapılması gerekmektedir.
- Bu kirişlere genellikle açıklık noktalarından çapraz sistemlerinin bağlanması planlandığından, açıklık noktalarında kesinlikle tam ek detayı bulunmamalı, tasarımı yapılan kirişler, iki kolon arasında sürekli olmalıdır.

2.4 Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlar İçin Uç Birleşim Detayları

Burkulması önlenmiş çelik çaprazların birleşim bölgesi, çaprazın kolon-kiriş-bağ levhasının bağlandığı noktalardan oluşmaktadır. Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere bu birleşim bölgesi herhangi bir manto tabaksı ile kaplanmamıştır. Kaplanmadığı için de birleşim bölgesinde burkulma problemleri ortaya çıkabilmektedir. Bu kısımda da burkulmanın önüne geçilmesi için çözüm yöntemi olarak çelik kısmın genişletilip, birleşim bölgesinin kısa tutulması ile plastik şekil değiştirme sınır değerinin aşılmaması sağlanmaktadır. Birleşim detayına ait bölgenin kısa tutulması ile önüne geçilen plaka narinlik sorunun yanında dengeli ve kararlı çevrimsel davranış elde edilebilmektedir.



Şekil 2. 7 : BÖÇ tipik birleşim detayları.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazların birleşim detaylarında genel olarak 3 tipten bahsedilmektedir. En çok tercih edilen detay çeşidi ise, bulonlu birleşimlerdir. İkinci detay türü olarak ise, farklı tipte kullanılan mafsallı birleşimler bulunmaktadır.

Mafsallı birleşimler genellikle her iki ucundan olmak üzere, pinli sistem şeklinde tasarlanıp bu amaçla kullanılmaktadır. Son olarak tercih edilen 3.tipik birleşim detayı ise kaynaklı birleşimdir. Birleşim detaylarının şekilleri Şekil 2.7’de verilmiştir.

Tüm tipik detay birleşimlerinin tasarımları yapılırken BÖÇ’de dikkate alınması gereken en önemli etken faktör, en fazla eksenel kuvvetin olduğu durumun dikkate alınarak tasarım yapılmasıdır.

2.5 Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazların Tasarımı

Bu yüksek lisans tezinde, burkulması önlenmiş çelik çaprazlar için TBDY 2018, TS500 ve ÇYTHYE 2016, IBC, AISC, ASCE, FEMA yönetmelikleri kurallarından faydalanılmıştır. TBDY 2018’e göre burkulması önlenmiş çelik çaprazların tasarımında dikkate alınması gereken temel tasarım maddeleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Burkulması önlenmiş çelik çaprazların tasarımı ve boyutlandırılması, %2 göreceli kat ötelemesi oranına göre yapılacaktır.

- Burkulması önlenmiş çelik çapraz elemanlarının uzama ve kısılma durumlarına bağlı oluşan şekildeğiştirme değerlerinin belirlenmesinde, çerçeve sistemine etki eden düşey yük etkilerinden kaynaklı oluşan yerdeğiştirme değerleri de dikkate alınacaktır.
- Burkulması önlenmiş çelik çaprazlı çerçeveler, çapraz elemanların çekme ve basınç kuvvetleri altında çapraz elemanın akma gerilmesine ulaşması durumuna bağlı olarak, elastik olmayan şekil değiştirme sınır değerlerine göre boyutlandırılacaktır.

Yukarıda verilmiş olan bu maddelere ek olarak burkulması önlenmiş çelik çapraz elemanların boyutlandırılmasında TBDY 2018 Bölüm 9.9'a koşulları da göz önüne alınacaktır. Bu koşullara göre:

- Burkulması önlenmiş çelik çaprazın çelik çekirdeği, enkesit kalınlığı olarak 50 mm veya daha kalın levhalardan imal edilmesi durumunda, çekirdek enkesiti TBDY 2018 9.2.3.1(b)'de verilen minimum çentik tokluğu koşulunu sağlamalıdır.
- Çaprazın ana kısmını oluşturan çelik çekirdek enkesitlerinde ek detayı oluşturulmasına kesinlikle izin verilmemektedir.
- Çapraz çelik çekirdek enkesitinin yerel ve genel burkulması sınırlandırılmalıdır.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazlarda, çapraz elemana etkiyen çekme ve basınç eksenel kuvvet durumlarının tamamının çaprazın çekirdek enkesiti tarafından karşılandığı kabul edilecektir. Burkulması önlenmiş çelik çaprazlar tarafından etkiyecek olan çekme ve basınç kuvveti durumlarına göre boyutlandırılma işlemleri yapılacaktır. Burkulması önlenmiş çelik çapraza ait eksenel kuvvet etkisi altında oluşacak basınç veya çekme kuvveti dayanımı, denklem 2.1 referansı ile hesaplanacaktır.

$$P_{y_{sc}} = F_{y_{sc}} \cdot A_{sc} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'e göre, eksenel kuvvet dayanımı hesaplanmaktadır.

YDKT'ye göre minimum burkulması önlenmiş çelik çapraz enkesit alanı denklem 2.2 ile hesaplanmaktadır.

$$A_{scmin} = \frac{P_{y_{sc}}}{\phi F_{y_{sc}}} \quad (2.2)$$

2.5.1 Burkulması önlenmiş çelik çapraz dayanımı

Önceki bölümlerde anlatıldığı üzere burkulması önlenmiş çelik çaprazın çekirdek kısmı dayanımı, çelik malzemesi akma gerilmesine ve çekirdeğin enkesit alanına doğrudan bağlı olmaktadır. Enkesit alanı BÖÇ tipine göre hesaplanabilmektedir, fakat çekirdek malzemesinin akma dayanımı kesin olarak bilinmemekte fakat akma dayanımına dair bir aralık değerleri verilebilmektedir. Bu aralık değerleri ise genellikle çeliğin $\pm 10\%$ 'u olacak şekilde olmaktadır. Bu çapraz elemana ait F_{ymin} ve F_{ymax} şeklinde temsil edilmiştir. Burkulması önlenmiş çelik çapraz malzemesindeki bu değişikliklerden dolayı genel olarak 2 farklı sistem yaklaşımı kullanımı tercih edilmektedir. Burkulması önlenmiş çelik çaprazla ait enkesit alanı esaslı yaklaşım ve çaprazla ait basınç ve çekme kuvvetlerine göre belirlenen dayanım esaslı yaklaşımdır.

Alan esaslı yaklaşımda çeliğin çekirdek enkesit alanı tanımlanmakta ve alana bağlı olarak çaprazın dayanımı, çekirdek alanı gibi parametreler, çelik akma gerilmesine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Çelik çekirdek akma gerilmesinde F_{ymin} yani alt sınır akma gerilmesi kullanımı tercih edilmiştir. F_{ymax} ile de çaprazın maksimum dayanım değeri hesaplanmaktadır. Tasarım hesap adımlarında akma gerilmesinde üst sınır değerinin tercih edilmesindeki diğer bir önemli amaç, pekleşme katsayısı ve basınç dayanımı değer fazlalığının hesaplarda göz önünde bulundurulmasını sağlamaktır. Çaprazla ait maksimum dayanım sınır değeri genel olarak birleşim detaylarında, ek elemanlarının tasarımında kullanılmaktadır.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazların ilk aşama tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken diğer bir konu ise efektif rijitliktir (eksenel rijitlik). Çaprazın dayanım değeri genel olarak çaprazın çekirdek alanı ile tanımlanmaktadır. Fakat aynı durum rijitliğin tanımlanması yapılırken geçerli olmamaktadır. Bu olumsuz durumun oluşmasına en büyük sebep çaprazın alanını sadece çekirdek alanından oluştuğu varsayımı ile hareket edip diğer parçaların göz ardı edilmesidir. Bu durumda doğrudan modelde çapraz elemanının uygun davranışı göstermemesine sebep olmaktadır.

Özetlemek gerekirse, burkulması önlenmiş çelik çapraz elemanın rijitliği sadece çekirdek enkesitinin akmasından gelen katkıyı içermemekte, ek olarak çapraz elemanın ve birleşim detay bölgesinin katkısını, malzemenin akmaya ulaşmış kısımlarının katkılarının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazın rijitliği, KF rijitlik düzeltme katsayısı ile ayarlanmalıdır. Bu duruma göre üç boyutlu yapısal modelde tanımlanacak olan çapraz elemanın rijitliği denklem 2.3 ve denklem 2.4 ile hesaplanmaktadır.

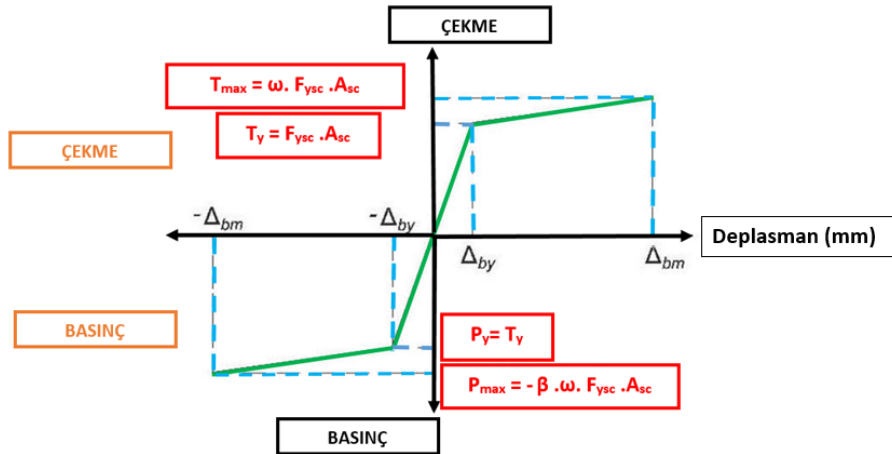
Eksenel Rijitlik Formülleri :

$$K_{eff} = \frac{E \cdot A_c \cdot A_j \cdot A_t}{A_c \cdot A_j \cdot L_t + A_j \cdot A_t \cdot L_c + A_c \cdot A_t \cdot L_j} \quad (2.3)$$

$$K_{\text{çekirdek}} = \frac{E \cdot A_c}{L} \quad (2.4)$$

Yapısal çelik malzemesinin sahip olduğu içsel belirsizlikler, değişkenlikler ve rijitlikte tüm çapraz elemanın bölümlerinin etkili olması durumu hesaplara negatif etken durumu olarak dahil edilmelidir.

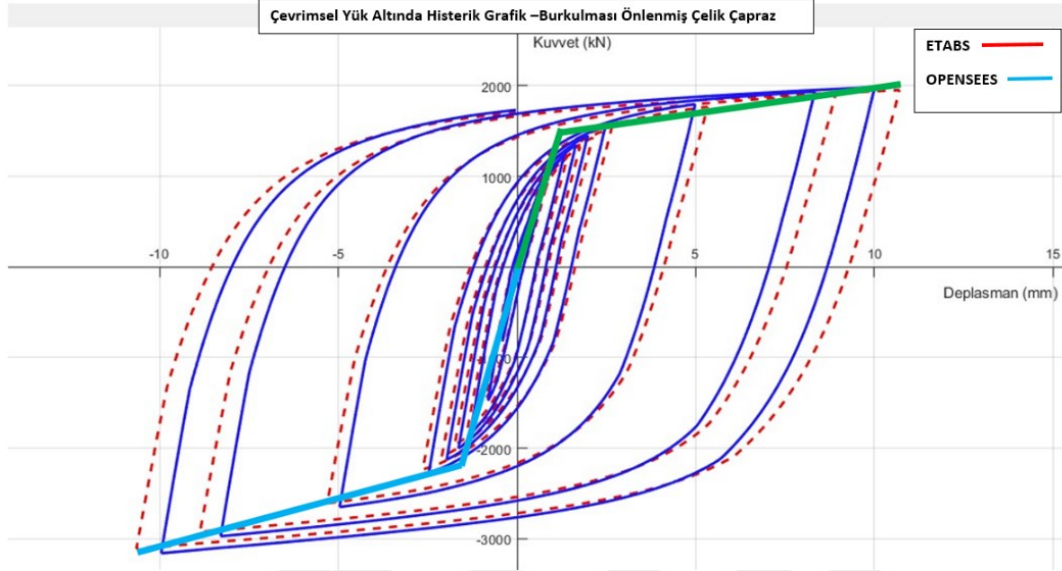
Bu yüksek lisans tez çalışmasında, çaprazın enkesiti dikkate alınarak alan esaslı yaklaşım metodu kullanılacaktır. Burkulması önlenmiş çelik çaprazlara ait basınç dayanımı düzeltme katsayısının (β) ve pekleşme düzeltme katsayılarının elde edilebilmesinde malzeme dayanım deneyleri sonucunda oluşturulmuş yük-yerdeğiştirme grafikleri kullanılmaktadır.



Şekil 2. 8: BÖÇ'e ait eksenel kuvvet - yerdeğiştirme ilişkisi.

Üç boyutlu modelin ve analizlerin tamamlanması ardından, saptanan yer değiştirme değeri olarak, genel olarak yapısında plastik şekil değiştirmeleri bulunduran katlara ait öteleme değerleri veya kata ait yükseklik değerinin 2% oransal değerine denk gelen yerdeğiştirme değerleri kullanılmaktadır.

Deplasman değerleri belirlendikten sonra, bu iki yerdeğiştirme değerinden büyük olana göre eksenel kuvvet- yerdeğiştirme grafiğinden, bu yerdeğiştirme değerine karşılık gelen maksimum basınç kuvveti değeri belirlenmekte ve çekme kuvveti değeri de elde edilip bu iki değer oranlanmaktadır.



Şekil 2. 9: Çapraza ait eksenel kuvvet - yerdeğiştirme değerleri.

Bu oranlama işlemi sonucunda β katsayısı değer olarak elde edilmiş olacaktır. β katsayısı değer olarak 1.0' den büyük olmalıdır. Pekleşme düzeltme katsayısı (ω) ise, benzer şekilde kuvvet – yerdeğiştirme grafiğinden elde edilecektir.

Bir önceki adımda belirlenmiş olan maksimum yer değıştirme değeri karş ı gelen maksimum çekme kuvvetinin, çelik çekirdek enkesitine ait alan ile çarpımından elde edilen sonuç ve belirlenmiş olan kuvvete bölünmesi ile elde edilmektedir.

2.5.2 Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin taşıyıcı sistem analizi

BÖÇÇ sistemlerinin yapısal elemanlarının tasarımında dayanım fazlalığı katsayısı esas alınmaktadır.

Yapısal elemanlara ait (kolon, kiriş, çapraz ve birleşimlerinin) boyutlandırılmasında, hesap edilen dayanımlar dayanım fazlalığı katsayısı ile birlikte göz önüne alınarak hesaplanacaktır.

Kolon, kiriş ve birleşimlerin mekanizma durumuna ait iç kuvvetlerinin hesabında aşağıdaki denklemler kullanılacaktır.

$$T = \omega \cdot R_y \cdot P_{y_{sc}} \quad (\text{TBDY 2018 9.2.3}) \quad (2.5)$$

$$V_{cr} > 1.25 \cdot V_m(H)$$

$$P = \beta \cdot \omega \cdot R_y \cdot P_{y_{sc}} \quad (\text{TBDY 2018 9.2.4}) \quad (2.6)$$

ω katsayısı pekleşme etkisi düzeltme katsayısı formülizasyonu, maksimum çekme dayanımının, akma dayanımına oranı olarak aşağıdaki denklem 2.7 ile hesaplanmaktadır.

$$\omega = \frac{\omega \cdot F_{y_{sc}} \cdot A_{sc}}{F_{y_{sc}} \cdot A_{sc}} = \frac{T_{max}}{F_{y_{sc}} \cdot A_{sc}} \quad (2.7)$$

Çelik çekirdeğe ait eksenel akma dayanımı, üretici firma tarafından belirlenmesi durumunda, R_y katsayısının kullanılmasına gerek kalmamaktadır.

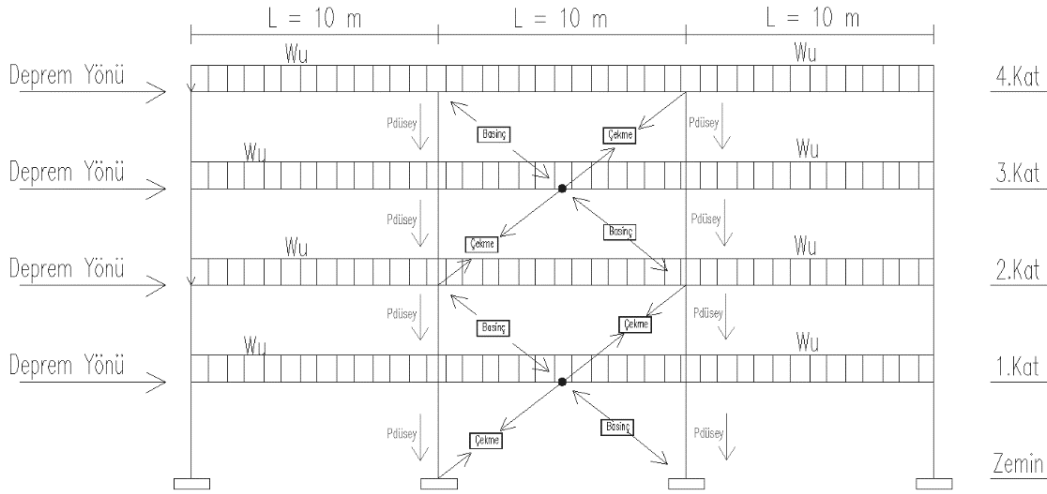
β basınç dayanımı düzeltme katsayısı formülizasyonu ise, maksimum basınç kuvvetinin, maksimum çekme kuvvetine oranı olarak aşağıdaki denklem 2.8 ile hesaplanmaktadır.

β basınç dayanım katsayısı değerinin oran olarak 1.0 değerinden küçük olmaması gerekmektedir.

$$\beta = \frac{\beta \cdot \omega \cdot F_{y_{sc}} \cdot A_{sc}}{\omega \cdot F_{y_{sc}} \cdot A_{sc}} = \frac{P_{max}}{T_{max}} \quad (2.8)$$

2.6 Kolon Tasarımı

Kolon tasarımı için göz önüne alınacak yük durumları eksenel yüklerdir. Çerçeve kirişleri ve ikincil tali kirişler kolonlara mafsallı bağlandığından dolayı moment aktarmamakta sadece eksenel yük aktarmaktadır.



Şekil 2. 10: Kolon mekanizma durumunda iç kuvvet şemaları.

Değerlendirmesi yapılan kolonlara ve kirişlere etkiyecek olan eksenel çekme ve basınç kuvvetleri doğrultusunda öncelik olarak düşey yükleme durumlarından kaynaklanan yük değerleridir.

Bu düşey yük değerlerine eklenecek olan ilave eksenel yükler ise çapraz kuvvetlerinden düşey bileşenlerinden gelecek olan yük değerleridir.

Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelere ait mekanizma durumu Şekil 2.10'da belirtilmiştir. Şekil 2.11'den de görüleceği üzere iç kuvvetler sonucunda kolonda çaprazdan gelen düşey birleşen kaynaklı ekstra eksenel kuvvetler oluşabilmekte ve bu durum düşey yük hesaplarında göz önünde bulundurulmaktadır.

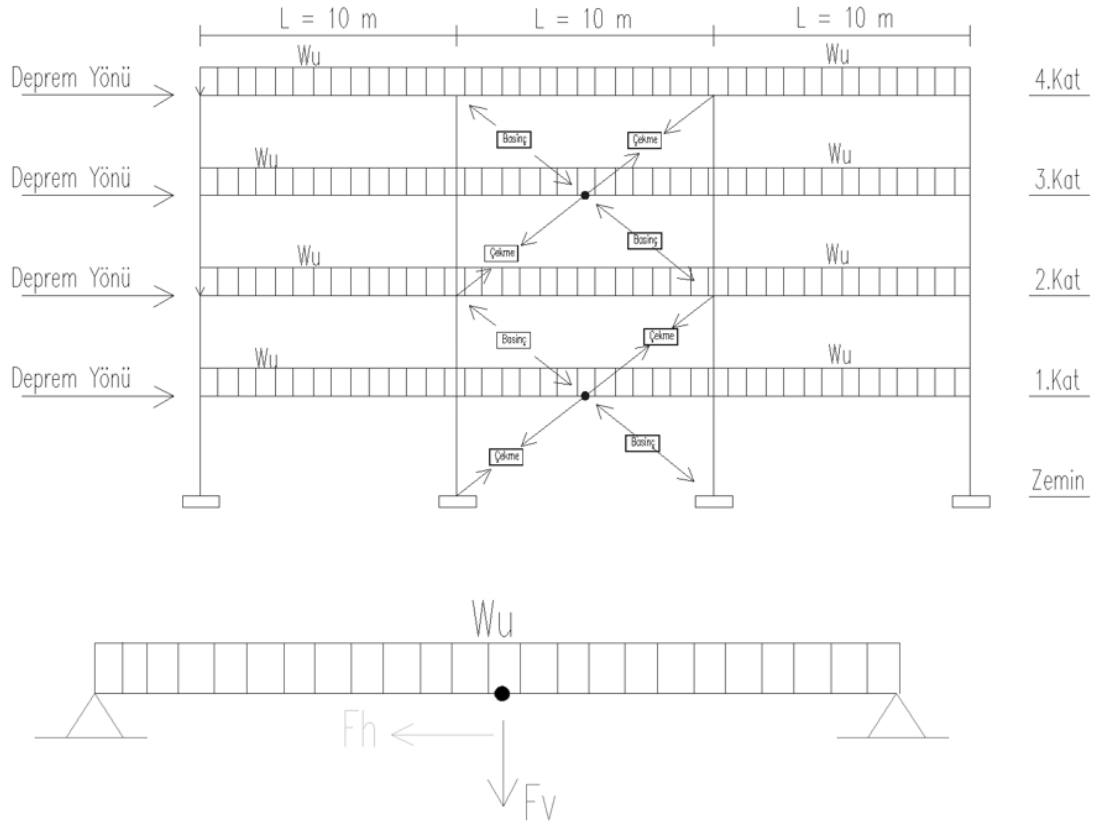
$$P_{\text{kolon}} = \sum P_{\text{transfer}} + \sum P_{\text{kiriş}} + (P_{\text{uc}})_{i+1} \cdot (\sin \alpha)_{i+1} + \frac{(F_v)_i}{2} \quad (2.9)$$

denklem 2.9 'da kolonlar için iç kuvvet talebi verilmiştir.

2.7 Kiriş Tasarımı :

Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerde çaprazlar simetrik histerik davranış göstermektedir. Burkulması önlenmiş çelik çapraz bağlanan kirişler genel olarak, çapraz elemanların düşey yük almadığı durumlarına göre tasarlanması yapılacaktır.

Kirişlere etkiyecek olan yatay ve düşey yük değerlerini hesap etmek için aşağıdaki denklem 2.10 ve denklem 2.11 'de belirtilmiştir.



Şekil 2. 11: Mekanizma durumunda kiriş iç kuvvetleri.

Yatay Kuvvet

$$(F_h)_i = (P_{cekme})_i \cos \alpha + ((P_{Basıncı})_i) \cdot \cos \alpha \quad (2.10)$$

Düşey Kuvvet

$$(F_v)_i = (P_{cekme})_i \sin \alpha - ((P_{Basıncı})_i) \cdot \sin \alpha \quad (2.11)$$

Burada F_h ve F_v , kuvvet çifti değerleri burkulması önlenmiş çelik çapraz elemanlarından kirişe gelen yatay (eksenel) ve düşey (kesme) yükleri temsil etmektedir.

Yatay ve düşey yükler yük dengesi yöntemine göre, yük birleşmelerinin yönlerine göre birbirleri ile toplanıp çıkarılacaktır.

Yük yönleri deprem kuvveti yönüne göre belirlenecek olup, Bölüm 3 'te kirişlere gelen yükler ayrıntılı olarak verilmiştir. Hesaplanacak olan bileşke kuvvet değerine göre kiriş boyutlandırılması yapılacaktır. Birbirini nötrleyen kuvvet çiftleri kirişte herhangi bir ekstra yük durumu oluşturmayacaktır.



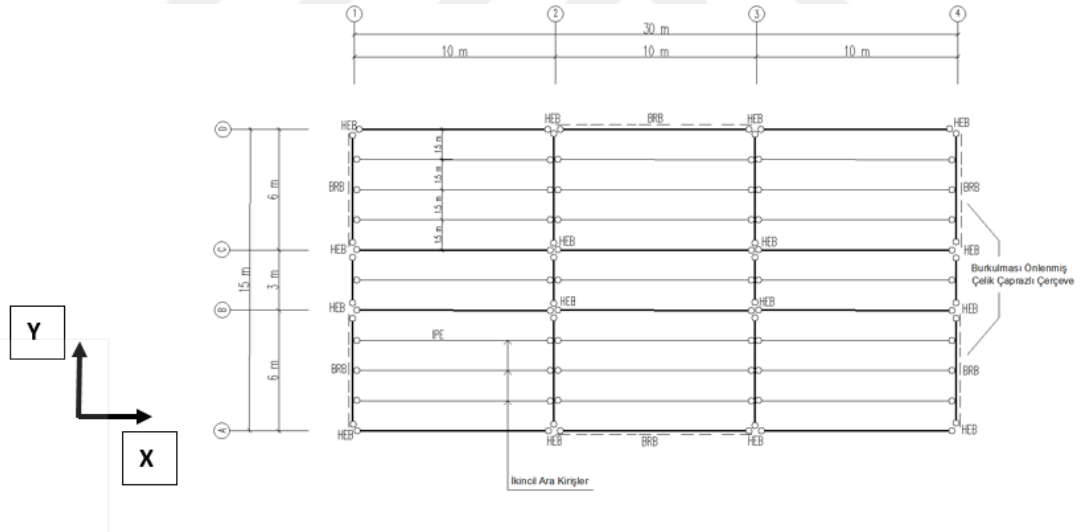
3. MODEL YAPININ TASARIMI

3.1 Yapı Geometrik Bilgileri

İnşa edilmesi planlanan bina, İstanbul Sarıyer Maslak' da 41.064809 enleminde, 29.009828° boylamında bulunan bir otel binasıdır. Bu bina 23 katlı olup toplam bina yüksekliği 69 m'dir.

Kat yüksekliği tüm katlarda eşit olmakla birlikte 3 metredir. Yatay akslara ait açıklıklar arası mesafeler 10'ar metre olup eşit uzunluktadır. Düşey akslara ait açıklıklar sırası ile 6m, 3m, 6m olacak şekilde belirlenmiştir.

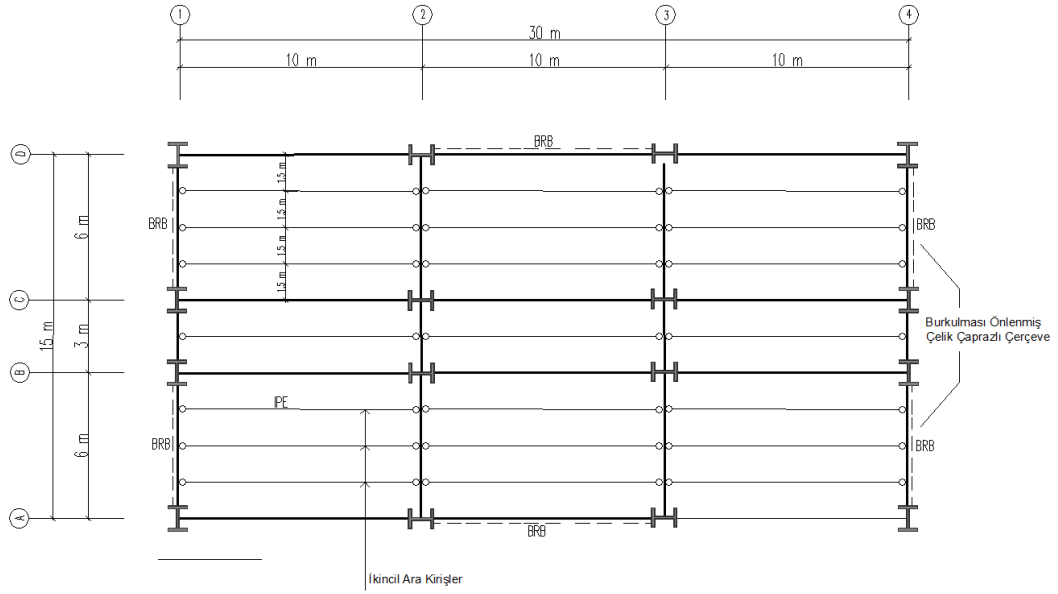
Yapı da Şekil 3.1 'de görüldüğü üzere, belirli çerçeve açıklıklarında V ve ters V tipi burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve sistemleri kullanılmıştır.



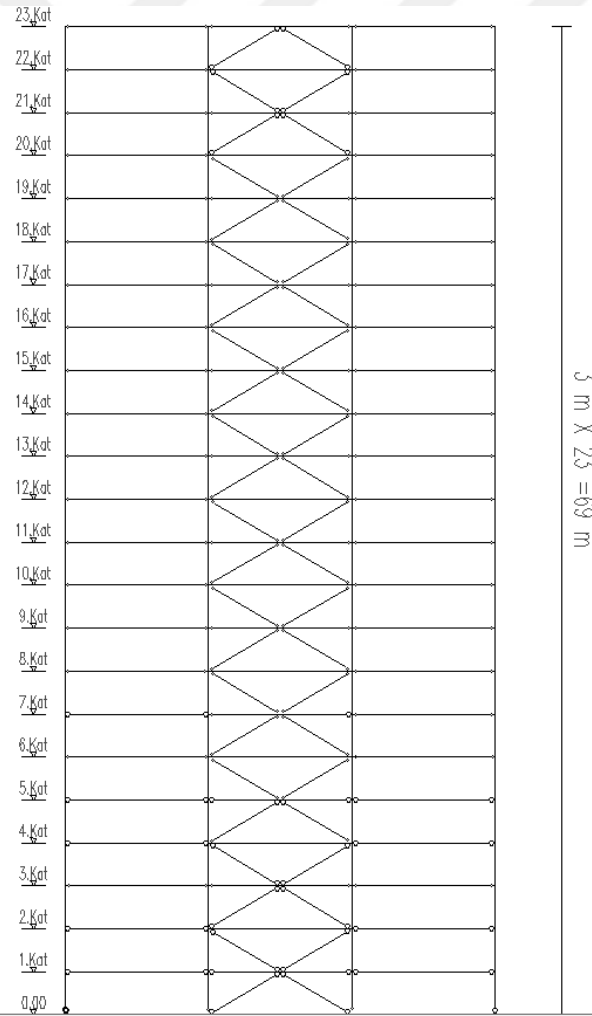
Şekil 3. 1 :Normal kat sistem planı.

Deprem yer hareketi derece olarak DD-2 kabul edilmiştir. Yapının bulunacağı konuma ait zemin sınıfı ise ZC'dir. Yapı her iki yönde de 3'er adet açıklıktan oluşmaktadır.

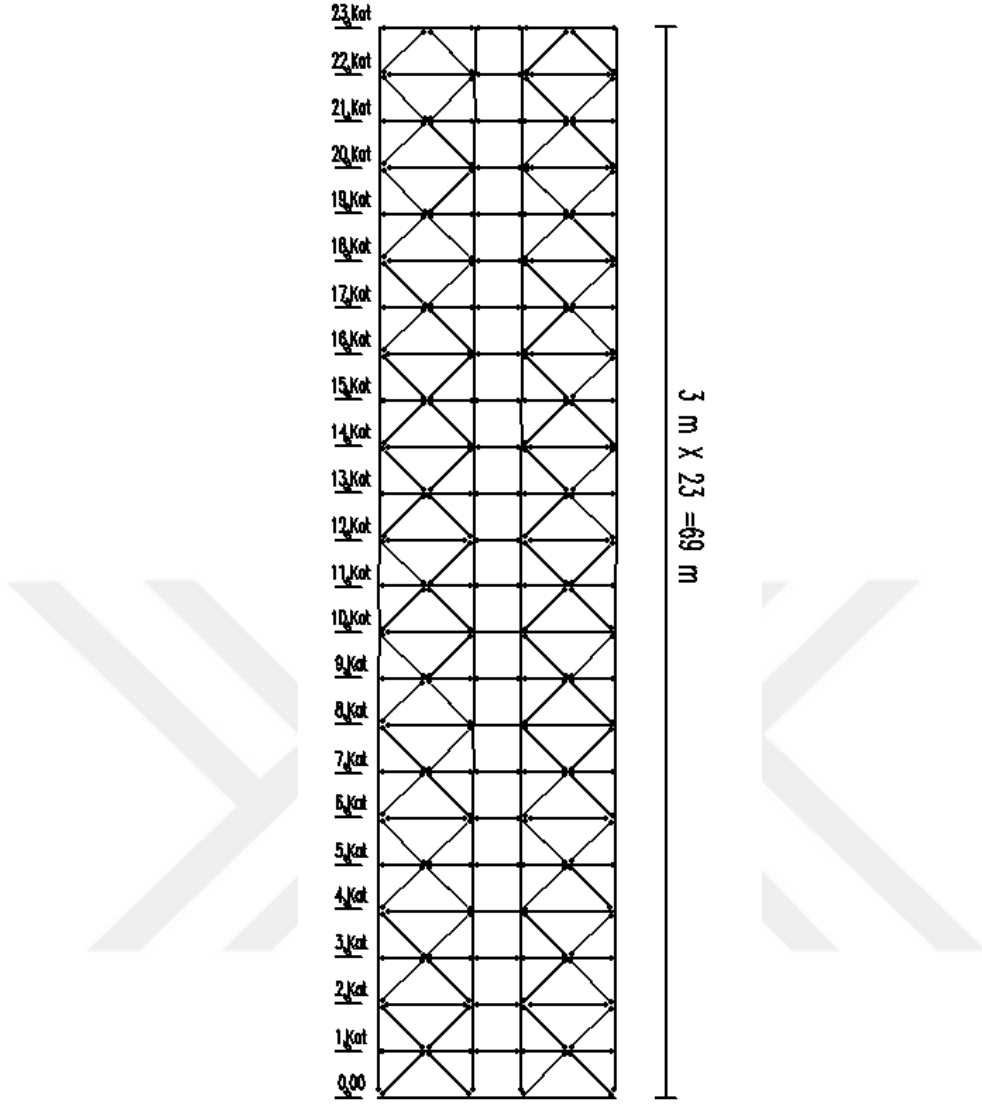
Bina inşaatının planlandığı zeminin deprem ivmesi değerleri Şekil 3.9 - 3.10'da belirtilmiştir.



Şekil 3. 2 : Normal kat sistem planı ve kolon aplikasyon planı.



Şekil 3. 3 : Sistem enkesiti (A ve 1 aksı çevresi).



Şekil 3. 4 : Sistem enkesiti (A ve 1 aksı çevresi).

3.2 Bina Taşıyıcı Sistemi

Yapının 3D görünümü ve analitik hesap modeli Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da gösterilmiştir.

Otel olarak kullanılması planlanan 23 katlı binanın analizine göre sonuçlar ve yapısal taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırması ilerleyen kısımlarda detaylı hesaplar ile açıklanacaktır. Binanın her iki doğrultuda yatay yük taşıyıcı sistemi, burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerden oluşmaktadır.

Binanın tasarımı deprem anında sünek davranış sergileyecek şekilde tasarlanılacaktır.

Taşıyıcı sistem çerçevesine eklenecek olan burkulması önlenmiş çelik çaprazların ilave deprem enerjisi sönümlemesi planlanmaktadır.

Deprem enerjisinin büyük bir kısmı yapısal elemanlara ve burkulması önlenmiş çelik çaprazlara ait plastik şekil değiştirmeler ile sönümlenmesi planlanmaktadır.

Bu duruma ek olarak çaprazların dışındaki yapısal elemanların akma noktasına ulaşmaması, plastik şekildeğiştirmeler göstermemesi öngörülmektedir.

Kat döşemeleri, yerinde dökme betonarme döşeme sisteminden oluşmaktadır.

Betonarme döşemenin çelik kirişlere bağlantısında, başlıklı çelik ankrajlar kullanılmıştır. Bu sayede, döşeme sisteminin düzlemi içinde rijit bir diyafram oluşturması sağlanmıştır.

1.5 m aralıklarla montajı yapılması planlanan ikincil ara kirişler, ana kirişlere mafsallı olacak şekilde bağlanmaktadır. Akslarda bulunan ana çerçeve kirişlerinin kolonlara bağlantısı da mafsallı teşkil edilecektir.

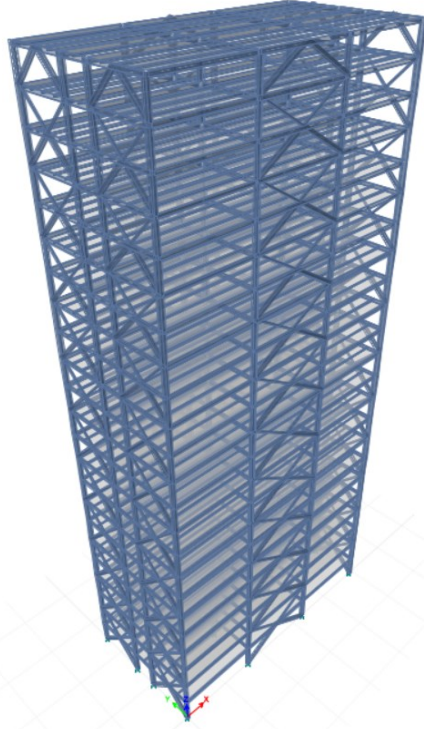
Çapraz-kiriş kolon birleşim bölgelerinde, çaprazların düğüm noktasına bağlantısı ile kirişlerin kolonlara bağlantısı mafsallı olacaktır.

Yapıya ait taşıyıcı sistem elemanları boyutlandırma işlemlerinde, ÇYTHYE 2016 ve TBDY 2018 esasları dikkate alınacaktır.

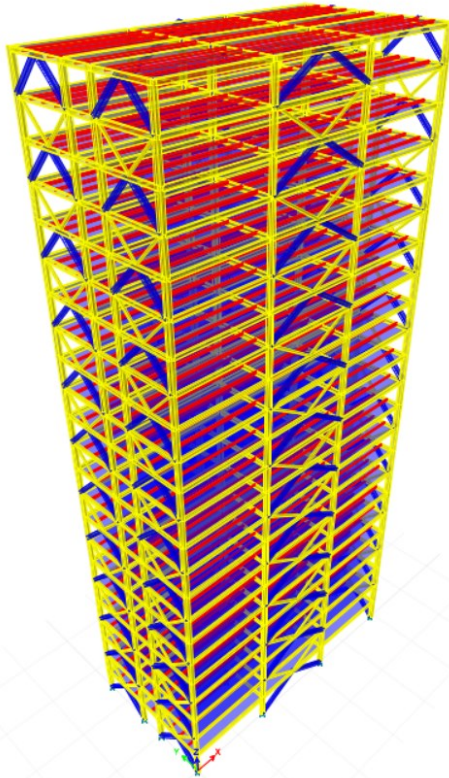
BÖÇ'lerde ise AISC 341-10, AISC Tasarım Kılavuzu ve AISC 360-10 yönetmeliklerinden faydalanılmıştır.

Boyutlandırma hesaplarında, ÇYTHYE 2016 Bölüm 5.3.1'de verilmiş olan Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım Yöntemi (YDKT) kullanılmıştır.

Kolon birleşiminin tasarımında TBDY 2018, AISC 358-16 ve AISC Steel Design Guide 4'ten faydalanılacaktır.



Şekil 3. 5 : Etabs 3D yapı modeli.



Şekil 3. 6 : Etabs 3D yapı modeli.

3.3 Yapı Malzeme ve Kesit Özellikleri

Binada kullanılan tüm yapısal çelik profillerin kalitesi S355'dir. Yapısal çelik malzemelerin farklı kalınlıklar için mekanik özellikleri ise aşağıda Şekil 3.7'de belirtilmiştir.

Kaliteler - EN 10025 DIN 17100		Minumum Akma Dayanımı						Çekme Dayanımı (N/mm ²)		Minumum Uzama			
		Kalınlık (mm)						Kalınlık (mm)		Kalınlık (mm)			
		≤16	>16	>40	>63	>80	>100	≥3	>100	≥3	>40	>63	>100
		≤40	≤63	≤80	≤100	≤125	≤100	≤125	≤40	≤63	≤100	≤125	≤125
S355 JRG2	Rst 37-2	235	225	215	215	195	340-370	26	25	24	22	22	22
S275 JR	St 44-2	275	265	255	245	235	225	410-560	400-540	22	21	20	18
S355 JR	St 52-3	355	345	355	325	315	295	490-630	470-630	22	21	20	18

Şekil 3. 7 : Yapısal çeliklerde F_y ve F_u değerleri.

Bu yapıda profil ve plakaları çentik darbe testi sonucu 21°C derece sıcaklıkta en az 21 J değerini sağlaması gerekmektedir.

Yapıda tercih edilen bulon sınıfı 10.9'dur. Bulonların mekanik özellikleri Şekil 3.8'de verilmiştir.

Bulon Sınıfları	F_{yb} (N/mm ²)	F_{ub} (N/mm ²)
4.6	240	400
4.8	320	400
5.6	300	500
5.8	400	500
6.8	480	600
8.8	640	800
10.9	900	1000

Şekil 3. 8 : Yapısal bulonların F_{yb} ve F_{ub} değerleri (N/mm²).

Kullanılan kaynak kalitesi tüm bağlantılar ve kolonlar için E550 olacak şekilde belirlenmiştir. Kaynak metali çekme mukavemeti $F_E = 550$ N/mm² akma mukavemeti $F_y = 460$ N/mm²'dir.

3.4 Yapı Zemin Bilgileri

Yerel zemin sınıfı ZC'ye bağlı olarak elde edilen $S_1 = 0.225$ elde edilmiştir. ZC zemin sınıfına bağlı olarak $F_1 = 1.5$ elde edilmiştir.

Tasarım Spektral İvme Katsayı Değerleri-Part 1		
S_s	0.792	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_1	0.225	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
PGA	0.327	En büyük yer ivmesi [g]
PGV	20.46	En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 3. 9 : Tasarım spektral ivme katsayı değerleri-part 1.

Zemin parametrelerinden elde edilen bu değerlere bağlı olarak yeni elde edilmiş S_{DS} ve S_{D1} zemin parametreleri değerleri Şekil 3.10' da belirtilmiştir.

Tasarım Spektral İvme Katsayı Değerleri-Part 2		
S_{DS}	0.95	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_{D1}	0.337	1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

Şekil 3. 10 : Yapı zeminin deprem ivmesi değerleri.

3.5 Yapı Yükleri

3.5.1 Sabit yük

Normal kat döşemelerinde dikkate alınan sabit yük değerleri aşağıda verilmiştir.

a) Normal kat döşemesi yük değerleri :

Yüzey kaplama = 0.5 kN/m²

Yalıtım = 0.4 kN/m²

Kompozit döşeme = 2.1 kN/m²

Çelik asma tavan + tesisat = 0.5 kN/m²

Yapısal çelik = 0.8 kN/m²

Duvar = 1.0 kN/m²

Toplam Sabit Yük (G) = 5.3 kN/m²

b) Çatı katı döşemesi yük değerleri : Teras döşemesi üzerine izolasyon uygulaması yapılacaktır. Döşemelerin altında asma tavan ve mekanik ve elektrik tesisatlar olacağı düşünülmüştür. Çatı katı çevre kirişlerinde parapet teşkil edilecektir. Çatı katı döşemesinde yürünebileceği durumu göz önüne alınmıştır.

Buna göre ;

$$\text{Kaplama} = 0.5 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\text{İzolasyon} = 0.4 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\text{Trapez sac} + \text{betonarme döşeme} = 2.1 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Asma tavan} + \text{tesisat} = 0.5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Çelik konstrüksiyon} = 0.5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Toplam Sabit Yük (G)} = 4.0 \text{ kN/m}^2$$

c) Parapet yükü (çatı katı döşemesi)

$$G_{\text{parapet}} = 2 \text{ kN/m}$$

d) Normal katlarda cephe duvar yükü

$$G_{\text{duvar}} = 3 \text{ kN/m}$$

3.5.2 Hareketli yük

Normal katlarda ve çatı katında hesaplarda ele alınacak yük değerleri TS 498 Çizelge 7 ‘den alınmıştır. TS498’e göre alınan hareketli yük değerleri:

a) Çatı döşemesi hareketli yük 2.00 kN/m^2

b) Normal kat döşemesi hareketli yük 3.50 kN/m^2

3.5.3 Kar yükü

Kar yükü TS EN 1991-1-3’e göre hesaplanacaktır. Kar yükü hesap formülü denklem 3.1’de verilmiştir.

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (3.1)$$

Yapı İstanbul ili, Sarıyer ilçesi, Maslak mahallesine inşa edilecektir. Bu bölge TS EN 1991-1-3’e göre II. Bölgede bulunmaktadır.

Sarıyer-Maslak bölgesine ait karakteristik zemin kar yükü, $s_k = 2.0 \text{ kN/m}^2$, TS EN 1991-1-3’e göre maruz kalma katsayısı yapının bulunduğu topoğrafyaya göre 3 farklı sınıfa ayrılmaktadır. Buna göre maruz kalma katsayısı $C_e = 1$ dir.

Çizelge 3. 1 : TS EN 1991-1-3 ‘e göre maruz kalma katsayısı.

Topoğrafik Bölge	C_e
Rüzgara açık	0.8
Normal	1.0
Korunmuş	1.2

Isı Katsayısı, $C_t = 1$ alınmalıdır.

Çatı eğim derecesine göre kullanılacak katsayı ise; TS EN 1991-1-3 'de bulunan Çizelge 3.2 'ye göre belirlenecektir. Çatı eğim açısı 0° 'dir. Çatı eğimi açısına bağlı olarak kar yükü şekil kat sayısı $\alpha = 0.8$ alınmıştır.

Çizelge 3. 2 : TS EN 1991-1-3 'e göre kar yükü katsayısı.

Topoğrafik Bölge	$0^\circ < \alpha < 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$60^\circ < \alpha$
μ_1	0.8	$0.8(60 - \alpha)/30$	0.0
μ_2	$0.8 + 0.8 \cdot \alpha/30$	1.6	-

Kar Yükü Hesabı :

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0.8 \cdot 1.0 \cdot 2.0 \cdot 0.75 = 1.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (3.2)$$

Not = Meteorolojik verilere göre, İstanbul geneli için yerdeki maksimum kar yüksekliği 75 cm olarak varsayılmaktadır.

Bu duruma göre, TS EN 1-3'e uygun olarak, karın ortalama birim hacim ağırlığı TS EN 1-3 Çizelge E.1 uyarınca 2.0 kN/m^3 alınarak, düzgün yayılı olarak etkiyen çatı kar yükü;

$$0.8 \times (2.0 \text{ kN/m}^3 \times 0.75 \text{ m}) = 1.2 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak hesaplanmaktadır.}$$

3.5.4 Deprem yükü

23 katlı binanın tasarımı yapılacak olan burkulması önlenmiş çaprazlı yapısal çelik çerçeve sistemlerinden oluşan deprem özellikleri ve ilgili yönetmelik maddeleri aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

BKS ve I Değerleri

Binanın otel olarak hizmet vermesi öngörülmektedir.

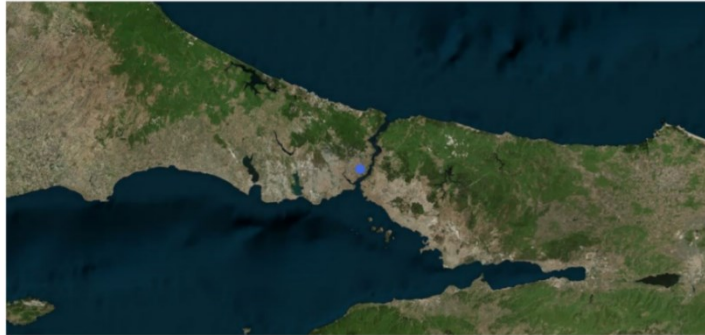
Buna göre, TBDY 2018 'den alınmış aşağıdaki Çizelge 3.3'e göre bina kullanım sınıfı, BKS = 3 ve bina önem katsayısı, $I = 1.0$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. 3 : Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları.

Bina Kullanım Sınıfı	Bina Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı(I)
BKS = 3	Diğer binalar	1.0
	BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanıma girmeyen diğer binalar(Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları vb.)	

DTS

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (<https://tdth.afad.gov.tr/>)’ndan alınan DD-2 deprem yer hareketi düzeyi parametreleri, Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) belirlemek için aşağıdaki gibi sıralanmıştır. Tasarımı yapılacak olan 23 katlı çelik binanın TDTH adresindeki konumu Şekil 3.11 ‘de verilmiştir. ZC yerel zemin sınıfına ait bu lokasyon için geçerli parametreler Çizelge 3.4 ‘ de verilmiştir.



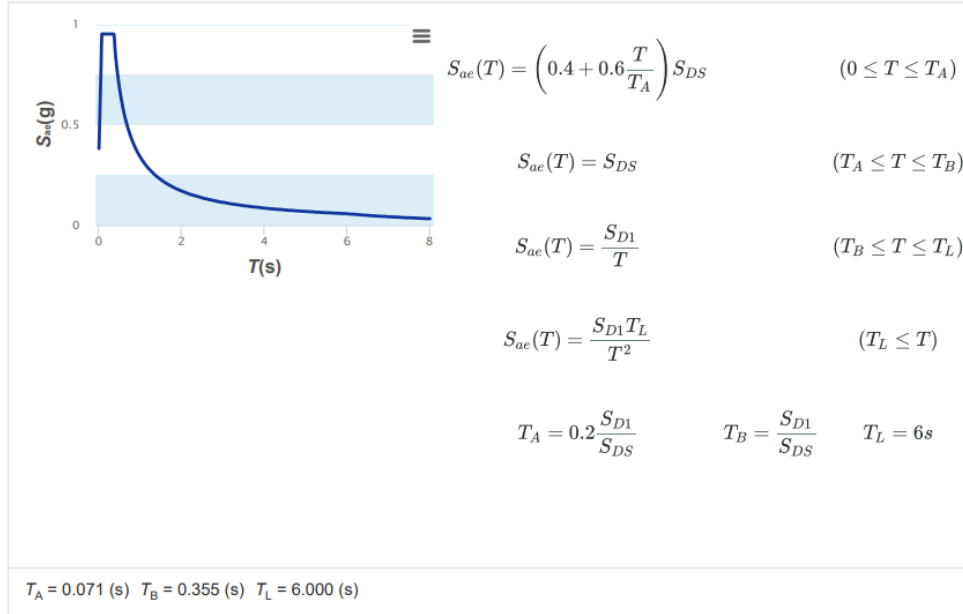
Şekil 3. 11 : Yapının inşaa edilecek lokasyonu.

Çizelge 3. 4: Deprem ivmesi kayıtları ve değerleri.

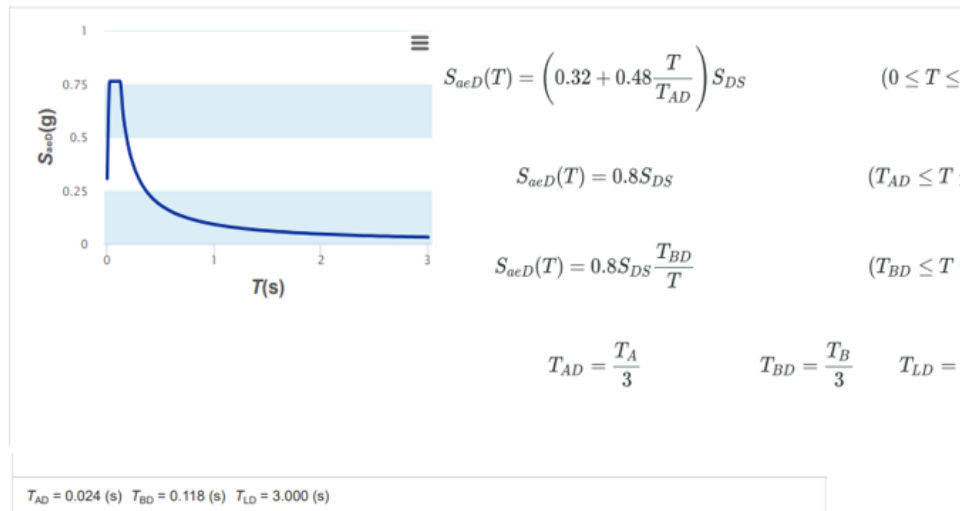
Konum	Yerel Zemin Sınıfı	Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Ss	S1	PGA	PGV
Enlem:	ZC	DD1	1.396	0.389	0.566	34.92
41.064809°		DD2	0.792	0.225	0.327	20.460
Boylam:		DD3	0.313	0.092	0.136	8.585
29.009828°		DD4	0.205	0.060	0.089	5.670

Elastik yatay tasarım spektrumları

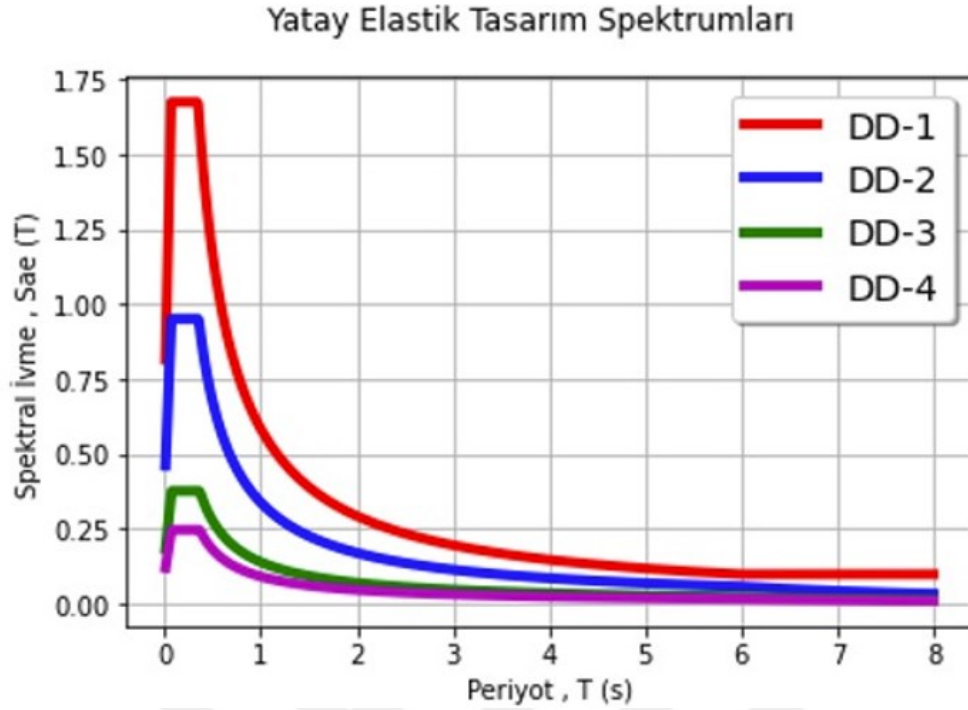
TBDY 2018 Bölüm 2.3'te bulunan elastik spektrum değerleri, ek olarak <https://tdth.afad.gov.tr> sitesinden düşey ve yatay spektrumlar alınmıştır. DD2 deprem düzeyine göre elde edilen yatay ve düşey spektrum grafikleri Şekil 3.12 ve Şekil 3.13 'de belirtilmiştir. Ayrıca her bir deprem düzeyine ait için yatay elastik spektrum eğrileri Şekil 3.14'de verilmiştir.



Şekil 3. 12 : DD-2 deprem düzeyine ait yatay spektrum değerleri.



Şekil 3. 13: DD -2 deprem düzeyine ait düşey spektrum değerleri.



Şekil 3. 14: DD -2 Düşey elastik tasarım spektrumu parametreleri.

Çizelge 3. 5 : DD -2 Dizayn spektral ivme katsayısı değerleri ve köşe periyot değerleri.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Tasarım Spektral İvme Katsayıları		Tasarım Spektrumu Köşe Periyotları		Geçiş Periyodu
	S_{DS}	S_{D1}	$T_A(s)$	$T_B(s)$	$T_L(s)$
DD-1	1.675	0.584	0.070	0.348	6.0
DD-2	0.95	0.337	0.071	0.355	6.0
DD-3	0.407	0.138	0.068	0.399	6.0
DD-4	0.266	0.090	0.068	0.338	6.0

Buna göre, TBDY 2018 2.3.2.2'ye göre, tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} ,

TBDY 2018 Denk.(2.1) ile,

$$S_{DS} = S_s \cdot F_s = 0.792 \cdot 1.2 = 0.9504 \quad (3.3)$$

$$S_{D1} = S_1 \cdot F_1 = 0.225 \cdot 1.5 = 0.3375 \quad (3.4)$$

elde edilmektedir.

Çizelge 3. 6 : Deprem tasarım parametreleri.

Deprem Tasarım Parametreleri	Deprem Düzeyi (DD2)
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s)	0.792
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0.225
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS})	0.9504
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{D1})	0.3375

Bu duruma göre, BKS = 3 olan bina kullanım sınıfı ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için S_{DS} tarafından belirlenen kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, TBDY 2018 Tablo 3.2'de gösterilmektedir. $S_{DS} = 0.9504 \geq 0.75$ koşulunu karşıladığından DTS= 1 olacaktır.

Çizelge 3. 7 : Deprem tasarım sınıfları (DTS).

S_{DS}	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1

Bina yükseklik sınıfı (BYS) :

Yapının yüksekliği $H_N = 69$ m'dir. Taşıyıcı sistemin deprem yüklerine göre tasarımı yapılırken, yapının yüksekliği ve inşaa edileceği bölgesel deprem parametreleri dikkate alınmaktadır.

Bu yapıya ait bina yükseklik sınıfı $BYS = 2$ olarak belirlenmiştir. Yapının deprem hesabı TBDY 2018 Bölüm 13'e göre üç bölümden oluşacak şekilde yapılacaktır.

Çizelge 3. 8 : Yapı BYS ve deprem tasarım sınıfı-1.

BYS	DTS 1, 1a, 2, 2a
BYS = 2	DTS = 1

Çizelge 3. 9 : Yapı BYS ve deprem tasarım sınıfı-2.

DTS	H _N
1, 1a, 2, 2a	H _N > 70 m
3, 3a	H _N > 91 m
4, 4a	H _N > 105 m

Bu durumda binanın DTS değeri, BKS = 3 olmak üzere DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan S_{DS} 'nin, TBDY 2018 Tablo 3.2'ye göre $0.75 \leq S_{DS} = 0.95$ koşulunu sağlaması nedeniyle, DTS = 1 olarak belirlenmiştir.

TBDY 2018' e göre ön deprem hesabı

Yapı genel bilgileri

Bu çalışmada dikkate alınan yapı BYS = 2 ve DTS = 1 değerleri için yüksek bina sınıfında değerlendirilecektir.

Mevcut yapı TBDY 2018 gereğince süneklik düzeyi yüksek sistem olarak tasarlanacaktır.

Bu tez çalışmasına ait bina taşıyıcı sistemi, çelik yapılar için TBDY 2018 Tablo 4.1'de C12, C14 ve C15 ile tanımlanan süneklik düzeyi yüksek çelik taşıyıcı sistemlerden oluşacaktır.

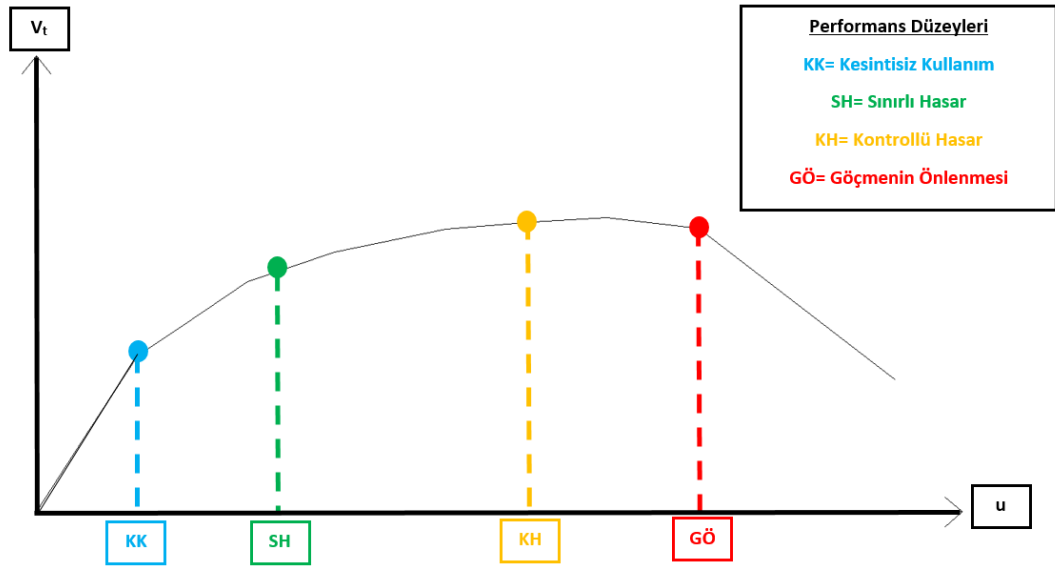
Özellikle dikkate alınan yapı sistemi tablodaki C12 satırına benzemektedir.

Çizelge 3. 10 : TBDY 2018 Tablo 4.1 taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları.

Bina Taşıyıcı Sistemi	R	D	BYS
Çelik Bina Taşıyıcı Sistemleri			
C12. Deprem etkilerinin tamamının süneklilik düzeyi yüksek dış merkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	8	2.5	$BYS \geq 2$

Bina performans düzeyleri

Yapısal sisteme ait genel performans hedefleri Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3. 15 : TBDY 2018 performans düzeyleri.

Çizelge 3. 11 : DTS'ye göre yüksek yapılar için performans hedefi ve tasarım yaklaşımı.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi (DD)	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme /Tasarım Yaklaşımı
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾

23 katlı binaya ait performans hedefi

TBDY 2018 Tablo 3.4(a)'ya göre, DD-2 ve DTS=1 parametrelerinde, yeni yapılacak olan çelik yapının performans hedefi KH, belirlenmiştir. Değerlendirme/tasarım yaklaşımı, DGT yaklaşımı olarak belirlenmiştir.

23 katlı yapının bina performans hedefi ve tasarım aşamaları

Bina tasarımı üç adımda yürütülecektir.

1. Adım : Yapının TBDY 2018 Bölüm 4,7,8,9 göre ön tasarımı işlemleri yapılacaktır.

2.Adım : $I = 1.0$ alınarak uygulanacaktır.

İlk Adım olarak, DD-2 deprem düzeyine göre deprem yükleri hesaplanacak ve tasarım DGT'ye göre yapılacaktır. Bu hesap sonuçlarına göre KH performans düzeyi sağlanacaktır.

İkinci adımda, önceden tasarlanmış taşıyıcı sisteminin standart performans hedefi olan DD-4 deprem düzeyi kullanılarak deprem yükleri hesaplanacak ve DGT'ye göre tasarlanacaktır. Bu hesap sonuçları KK performans düzeyini belirleyecektir. Bu hesap sonucu etkisi altında KK performans düzeyi sağlanacaktır.

İkinci adımda kullanılan hesaplarda TBDY 2018 Bölüm 4'ün veya Bölüm 5'in yanında Bölüm 9'daki şartlar dikkate alınacaktır. Üçüncü adımda ilk iki adımı tamamlanan yüksek binanın deprem yükleri tekrardan hesaplanacak olup ŞDGT'ye göre tasarımı yapılacaktır. Bu hesap sonucu etkisi altında GÖ performans düzeyi sağlanacaktır. Tasarım hesapları sonucunda gerek duyulması halinde, yapılan tasarımda yeniden düzenlemeler yapılarak son tasarım aşamasına geçilecektir.

1. Adım tasarım hesabı (ön tasarım)

Birinci adım deprem hesaplarında DD2 deprem yer hareketi için Mod Birleştirme Analizi kullanılacaktır.

Bu duruma göre yatay elastik tasarım ivme spektrumu hesabı için belirlenmiş olan köşe periyodları T_A ve T_B sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$T_A = 0.2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \cdot \frac{0.3375}{0.9504} = 0.071 \quad (3.5)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.3375}{0.9504} = 0.355 \quad (3.6)$$

Yatay elastik tasarım ivme spektrumu sırasıyla aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanacaktır.

Hesaplanan bu değerler mod birleştirme yönteminde kullanılacaktır.

$$S_{ae} = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) \cdot S_{DS} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (3.7)$$

$$S_{ae} = S_{DS} \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (3.8)$$

$$S_{ae} = \frac{S_{D1}}{T} \quad T_B \leq T \leq T_L \quad (3.9)$$

$$S_{ae} = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2} \quad T \leq T_L \quad (3.10)$$

Yapıya etki edecek olan deprem yükleri denklem 3.11-3.12 ile hesaplanan azaltma katsayısı ile azaltılmıştır.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} = 2.5 \quad T > T_B - \text{TBDY 2018 4A.3.2. (Denk. (4A.5a))} \quad (3.11)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \cdot \frac{T}{T_B} = 2.5 \quad T \leq T_B \quad (3.12)$$

Düşey deprem etkisinde de deprem azaltma katsayısı kullanılacaktır. Bu tasarım adımında yapıya ait sönüm oranı %5 kabul edilmiştir.

Bu çalışmada ilk 50 modun katkısı her iki yatay doğrultu için %99.97 elde edilmiştir.

Çizelge 3. 12 : Bina deprem parametreleri özellikleri özet tablosu.

Parametreler	Değerler	Referanslar
Bina Yüksekliği (HN)	69 m	TBDY 2018 Tablo (3.3)
Bina Önem Katsayısı (I)	1.0	TBDY 2018 Tablo (3.1)
Çelik Bina Taşıyıcı Sistem Özelliği	Süneklik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çelik çaprazlı çerçeveler	TBDY 2018 Tablo (4.1)
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	TBDY 2018 Bölüm 2.2
Normal Performans Hedefi	Kontrollü Hasar	TBDY 2018 Tablo (3.5)
Taşıyıcı Sistem Davranışı Katsayısı (R)	8	TBDY 2018 Tablo (4.1)
Dayanım Fazlalığı Katsayısı	2.5	TBDY 2018 Tablo (4.1)
Tasarım Yaklaşımı	Dayanıma Göre Tasarım	TBDY 2018 Tablo (3.5)

3.5.5 Rüzgar yükü

Rüzgar yüklerine ait tüm hesap adımları ve işlemleri TS EN 1991-1-4 standardına göre yapılmıştır.

Rüzgar yüklerinden kaynaklanan yapıya yatay olarak etkiyecek olan kuvvetler denklem 3.13 ile hesaplanmıştır.

Rüzgar hızı,

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} - \text{(TS EN 1991 – 1 – 4 Denk. (4.1))} \quad (3.13)$$

TS EN 1991-1-4 standardına göre, rüzgar temel hız değeri, $V_{b,0} = 28$ m/sn (100 km/sa)'dir.

Binanın ana taşıyıcı sistemine, dış cephe kaplamalarına , rüzgar ile etkileşimde olan yapısal ve yapısal olmayan elemanlarına gelen etkiyen rüzgar yük değeri 0.50 kN/m^2 değerinden az olmayacaktır.

Buna göre, rüzgar hızının değeri, $V_{b,o} = 28 \text{ m/sn}$ (100 km/sa) olarak alınmıştır.

c_{dir} ve c_{season} sırası ile doğrultu katsayısı ve mevsim katsayısı olup değer olarak 1.0 alınmıştır. Böylece rüzgar hızı, $V_{b,o} = 28 \text{ m/sn}$ (100 km/sa) olarak belirlenmiştir.

$$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} - (\text{TS EN 1991 - 1 - 4 Denk. (4.1)}) \quad (3.14)$$

$$\text{Rüzgar Hızı} = 1.0 \times 1.0 \times 28 \text{ m/sn} = 28 \text{ m/sn}$$

69 metre yükseklikteki 23 katlı yapıya ait $v_m(z)$, inşa edilmesi planlanan arazinin engebelilik durumuna, orografik özelliklerine ve diğer faktörlere doğrudan bağlıdır.

Bu rüzgar hızı Denklem (3.15) ile kullanılarak hesaplanacaktır.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b - (\text{TS EN 1991 - 1 - 4 Denk. (4.3)}) \quad (3.15)$$

Hesaplarda orografi değerleri 1.0 kabul edilmiştir.

Rüzgar hesaplarında arazi kategorisi IV olarak varsayıldığında, TS EN 1991-1-4 Çizelge (4.1)'e göre arazi parametreleri denklem 3.16' ya göre hesap edilecektir.

$$z_0 = 1.0 \text{ m}$$

$$z_{min} = 10 \text{ m}$$

Arazi ve engebeliliği katsayıları

Otel binasının, 0.00 kotundan yüksekliği 69 m olduğu için k_r ve $c_r(z)$ sırasıyla arazi katsayısı ve engebelik katsayısı hesap değerleri için kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) , \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (3.16)$$

$$z_{0,II} = 0.3 \text{ (Arazi kategorisi III, Çizelge 4.1),}$$

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} - (\text{TS EN 1991 - 1 - 4 Denk. (4.5)}) \quad (3.17)$$

$$z_{min} \leq z \leq z_{max} = 10 \text{ m} \leq z = 69 \text{ m} \leq 200 \text{ m}$$

Çizelge 3. 13 : TS EN 1991-1-4 ‘e Arazi kategorileri ve arazi parametreler.

Arazi Kategorisi	z_0 (m)	$Z_{\text{en küçük}}$ (m)
III .Düzgün yayılı şekilde bir bitki örtüsüne veya binalara veya aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip olan (kasabalar, yörekent, ormanlık alan gibi)	0.3	5

Yapının bulunduğu konum itibariyle III.bölgeye denk gelmektedir. TS EN 1991-1-4

Çizelge 4.1 ‘e göre elde edilen arazi katsayıları aşağıdaki gibidir.

$$k_r = 0.206 \quad (z = 69 \text{ m})$$

$$k_r = 0.206 \quad (z = 39 \text{ m})$$

$$k_r = 0.206 \quad (z = 37.2 \text{ m})$$

$$k_r = 0.206 \quad (z = 35.4 \text{ m})$$

$$k_r = 0.206 \quad (z = 33.6 \text{ m})$$

$$k_r = 0.206 \quad (z = 31.8 \text{ m})$$

$$k_r = 0.206 \quad (z = 30 \text{ m})$$

Engebelik katsayıları,

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \text{(TS EN 1991 – 1 – 4 Denk. (4.6))} \quad (3.18)$$

$$c_r(z) = 0.872 \quad (z = 69 \text{ m})$$

$$c_r(z) = 0.821 \quad (z = 54 \text{ m})$$

$$c_r(z) = 0.754 \quad (z = 39 \text{ m})$$

$$c_r(z) = 0.744 \quad (z = 37.2 \text{ m})$$

$$c_r(z) = 0.734 \quad (z = 35.4 \text{ m})$$

$$c_r(z) = 0.724 \quad (z = 33.6 \text{ m})$$

$$c_r(z) = 0.713 \quad (z = 31.8 \text{ m})$$

$$c_r(z) = 0.70 \quad (z = 30 \text{ m})$$

$$c_r(z) = 0.557 \quad (z = 15 \text{ m})$$

Bu değerler ortalama rüzgar hızı denkleminde kullanılacak olup, binaya ait ortalama rüzgar hızı hesaplanmıştır.

$$v_m(z) = 24.416 \text{ m/sn} \quad (z = 69 \text{ m})$$

$$v_m(z) = 22.928 \text{ m/sn} \quad (z = 54 \text{ m})$$

$$v_m(z) = 21.112 \text{ m/sn} \quad (z = 39 \text{ m})$$

$$v_m(z) = 20.832 \text{ m/sn} \quad (z = 37.2 \text{ m})$$

$$v_m(z) = 20.552 \text{ m/sn} \quad (z = 35.4 \text{ m})$$

$$v_m(z) = 20.272 \text{ m/sn} \quad (z = 33.6 \text{ m})$$

$$v_m(z) = 19.964 \text{ m/sn} \quad (z = 31.8 \text{ m})$$

$$v_m(z) = 19.6 \text{ m/sn} \quad (z = 30 \text{ m})$$

$$v_m(z) = 15.596 \text{ m/sn} \quad (z = 15 \text{ m})$$

Türbilans şiddeti

Yapıya ait z metre yükseklikteki türbilans şiddeti, $I_v(z)$ denklem (3.19) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$I_v = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (\text{TS EN 1991 – 1 – 4 Denk. (4.7)}) \quad (3.19)$$

Bu denklemdede,

k_1 = Türbilans katsayısı, k_1 için tavsiye edilen değer 1.0'dır.

c_0 = Orografi katsayısı,

z_0 = Engebelilik uzunluğu,

$$I_v = 0.236. \quad (z = 69 \text{ m})$$

$$I_v = 0.250. \quad (z = 54 \text{ m})$$

$$I_v = 0.273. \quad (z = 39 \text{ m})$$

$$I_v = 0.276. \quad (z = 37.2 \text{ m})$$

$$I_v = 0.280. (z = 35.4 \text{ m})$$

$$I_v = 0.285. (z = 33.6 \text{ m})$$

$$I_v = 0.289. (z = 31.8 \text{ m})$$

$$I_v = 0.294. (z = 30 \text{ m})$$

$$I_v = 0.369. (z = 15 \text{ m})$$

Rüzgâr basıncı

Z metre yükseklikteki tepe rüzgâr basıncının ortalama ve kısa süreli hız değişiklikleri, $q_p(z)$ denklem (3.20) ile hesaplanacaktır.

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad (3.20)$$

Bu denklemde kullanılan parametreler;

$I_v(z)$ =Türbilans şiddeti değeri,

ρ =Fırtına durumunda bölgede gerçekleşmesi tahmin edilen sıcaklık ve basınç durumları ve rakıma bağlı olan hava yoğunluğu değeri,

$v_m(z)$ = Ortalama rüzgar hızı,

Değerler yerine konulursa;

$$q_p(z = 69\text{m}) = [1 + 7.0.236] \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 24.416^2 = 0.988 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(z = 54 \text{ m}) = [1 + 7.0.250] \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 22.928^2 = 0.903 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(z = 39 \text{ m}) = [1 + 7.0.273] \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 21.112^2 = 0.8109 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(z = 37.2 \text{ m}) = [1 + 7.0.276] \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 20.832^2 = 0.795 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(z = 35.4 \text{ m}) = [1 + 7.0.280] \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 20.552^2 = 0.7814 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(z = 33.6 \text{ m}) = [1 + 7.0.285] \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 20.272^2 = 0.7693 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(z = 31.8 \text{ m}) = [1 + 7.0.289] \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 19.964^2 = 0.753 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(z = 30 \text{ m}) = [1 + 7.0.294] \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 19.6^2 = 0.734 \text{ kN/m}^2$$

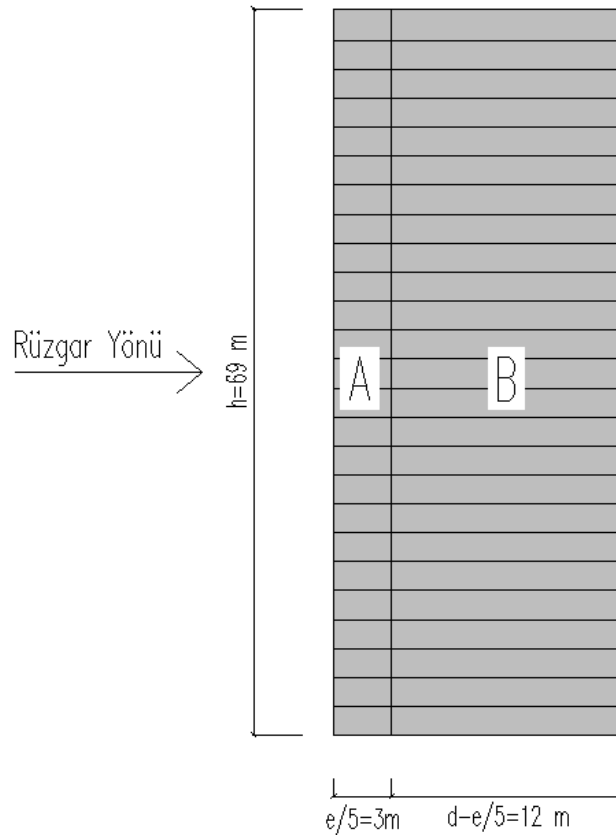
$$q_p(z = 15 \text{ m}) = [1 + 7.0.369] \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 15.596^2 = 0.544 \text{ kN/m}^2$$

Ø=0° Doğrultusunda yüzeylere etkiyen iç ve dış rüzgar basıncı değerleri

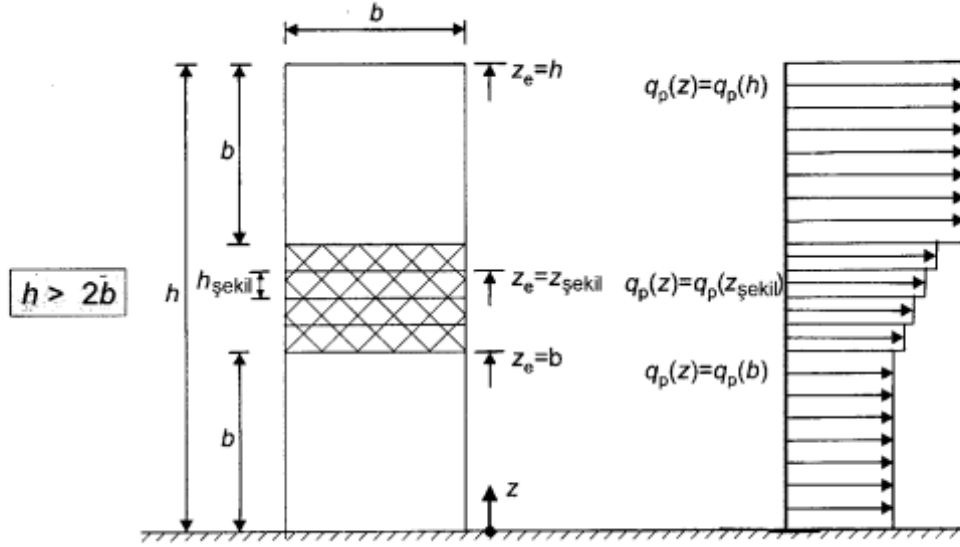
Yapının yüzeylerine etkiyen dış w_e ve iç w_i rüzgar basınçları, tepe hız basıncı değeri, $q_p(z)$, z yüksekliği, z_i olmak üzere, dış ve iç basınç katsayılarına bağlı olarak, aşağıda sırasıyla verilen TS EN 1991-1-4 Denk.(5.1) ve Denk.(5.2) ile elde edilir.

Yüzeylere etkiyen dış (w_e) ve iç rüzgar (w_i) basınçları, denklem (3.21) ve denklem (3.22) ile hesaplanacaktır.

$$w_e = q(z_e) \cdot c_{pe} \quad (\text{TS EN 1991 - 1 - 4 Denk. (5.1)}) \quad (3.21)$$



Şekil 3. 16 : Rüzgâr yönüne bağlı olarak A ve B yüzeyleri.



Şekil 3. 17 : Yüksekliğe bağlı rüzgâr yükü.

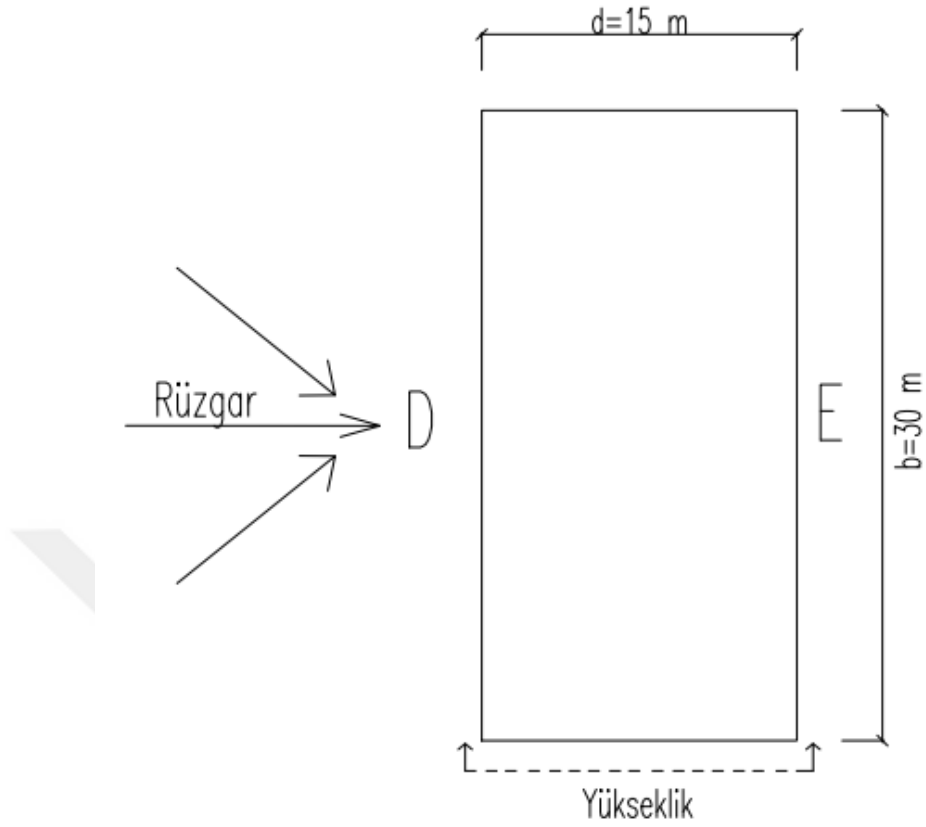
$$w_i = q(z_i) \cdot c_{pi} \quad (\text{TS EN 1991 – 1 – 4 Denk. (5.2)}) \quad (3.22)$$

Bu durumda, TS EN 1991-1-4 7.2.2'de belirtilen etki bölgelerinde yapının cephe yüzeyleri için dış basınç, $c_{pe,10}$ ve iç basınç, c_{pi} katsayıları bulunacaktır.

Çizelge 3. 14 : Dış basınç katsayısı değerleri.

Bölge	A	B	D	E
5	-1.4	-1.1	1.0	-0.7
1	-1.4	-1.1	1.0	-0.5

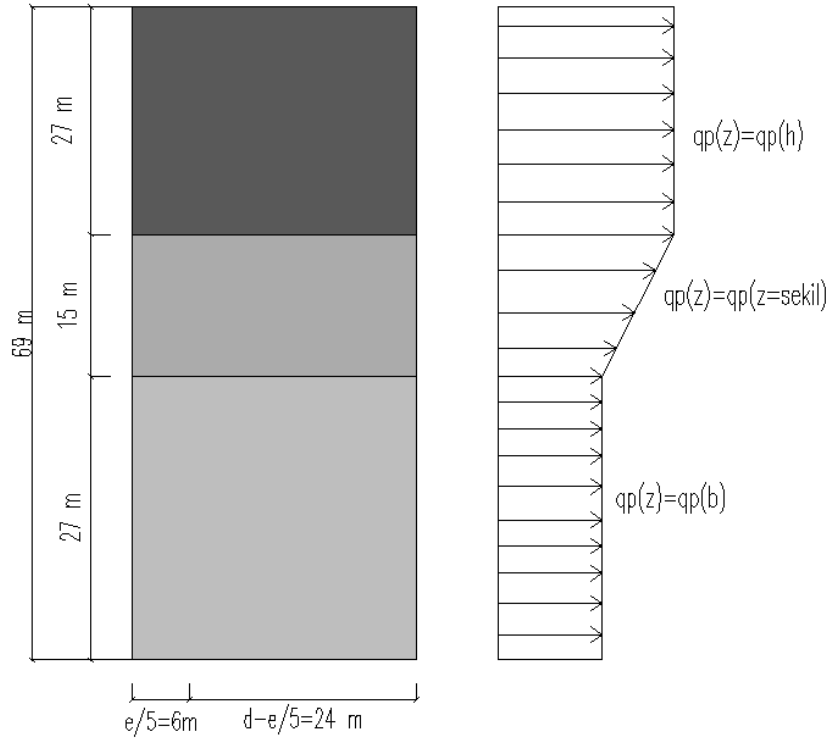
$h = 69 \text{ m} > 2b = 2 \times 30 = 60 \text{ m}$ olduğu için rüzgâr yükleri bina yüksekliği boyunca Şekil 3.17' deki gibi dağılım gösterecektir.



Şekil 3. 18 : EN 1991-1-4 'E göre $H > 2b$ durumu için rüzgar yükü dağılışı.

TS EN 1991-1-4 5.2 denklemine göre, bir yüzeye etkiyen net basınç kuvveti, elemanın karşılıklı cephe yüzlerinde oluşan basınçların, işaretleri de dikkate alınarak hesaplanan değerlerin fark işlemine eşittir.

Binaya etkiyen rüzgar basınçları aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.



Şekil 3. 19 : Yüksekliğe bağlı rüzgâr yükü.

$$w = q(z) \cdot c_{pnet} \quad (3.23)$$

(Y) doğrultusu rüzgar kuvveti hesabı,

$b = 30 \text{ m}$, $h = 69 \text{ m}$ ve $d = 15 \text{ m}$ 'dir

$0.25 \leq h/d = 69/15 = 4.6 < 5.00$ olduğundan,

(X) doğrultusu rüzgar kuvveti hesabı,

$b = 15 \text{ m}$, $h = 69 \text{ m}$ ve $d = 30 \text{ m}$ 'dir

$1.00 < h/d = 69/30 = 2.3 < 5.00$ elde edilmektedir.

Dış basınç katsayıları, TS EN 1991-1-4'e göre verilen h/d değerine göre (Y) yönünde rüzgarın yapıya doğru esme yönünde $c_{pe} = 0.8$ ve rüzgarın yapıdan uzaklaşmasına doğru $c_{pe} = -0.63$ olarak belirlenmiştir.

(X) doğrultusundaki hesap için rüzgarın yaklaşma yönünde $c_{pe} = -1.2$, rüzgarın uzaklaşma yönünde $c_{pe} = -0.8$ olacak şekilde seçilmiştir.

Bina cephelerinde bulunan boşluk dağılımlarının ve boyutlarının iç basınç katsayısını doğrudan etkiler.

Genellikle boşluk oranı tam olarak saptanamadığından dolayı, iç basınç katsayısı, c_{pi} , TS EN 1991-1-4 7.2.9 'a göre belirlenecektir.

Not 2'ye göre, İç basınç katsayıları tavsiye edilmiş olan değerler olarak, +0.2 veya -0.3'ten en elverişsiz durumu oluşturan değer kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. 15 : İç basınç katsayıları.

Bölge	A	B	D	E
c_{pi}	0.20	0.20	-0.30	0.20

Çizelge 3. 16 : Dış basınç katsayıları.

Bölge	A	B	D	E
c_{pe}	-1.2	-0.8	0.8	-0.63

Çizelge 3. 17 : Net basınç katsayıları.

Bölge	A	B	D	E
c_{pnet}	-1.4	-1.0	1.1	-0.83

Çizelge 3. 18 : Net basınç değerleri.

Bölge	Z (m)	$q_p(z)$	W_A (kN/m ²)	W_B (kN/m ²)	W_D (kN/m ²)	W_E (kN/m ²)
$q_p(h)$	69	0.988	-1.3832	-0.988	1.0868	-0.820
$q_p(b)$	30	0.734	-1.028	-0.734	0.8074	-0.609

Çizelge 3. 19 : B = 30 m için toplam rüzgar kuvveti.

Kat	Dış Kuvvet (kN)
1.Kat	127.5
2.Kat	127.5
3.Kat	127.5
4.Kat	127.5
5.Kat	127.5
6.Kat	127.5
7.Kat	127.5
8.Kat	127.5
9.Kat	127.5
10.Kat	132.9
11.Kat	144.9
12.Kat	153.09
13.Kat	165.15
14.Kat	166.8
15.Kat	169.2
16.Kat	169.2
17.Kat	169.2
18.Kat	169.2
19.Kat	169.2
20.Kat	169.2
21.Kat	169.2
22.Kat	169.2
23.Kat	84.6

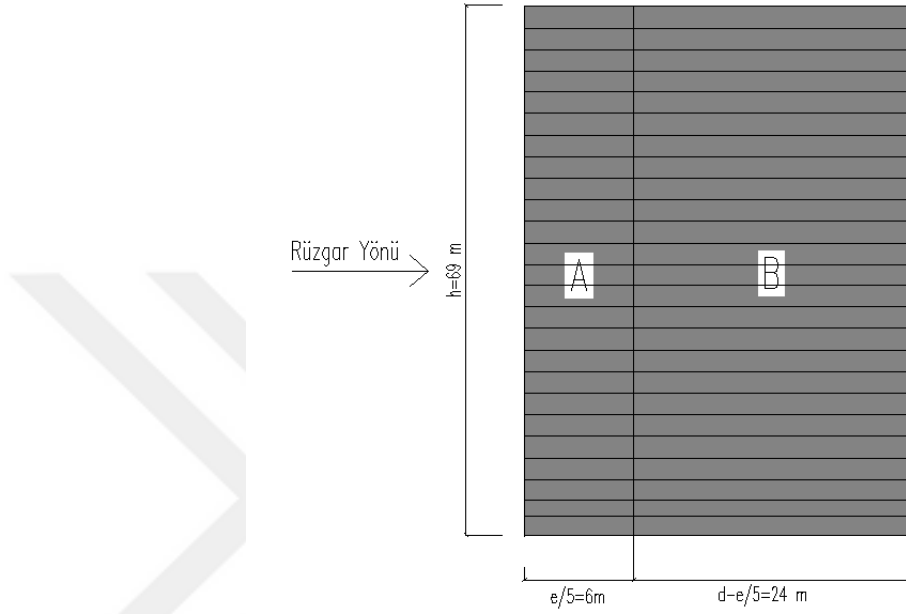
$$\text{Toplam Rüzgar Kuvveti} = \sum F_{we} = 3348.6 \text{ kN}$$

Kat hizalarına etki eden toplam yatay yöndeki rüzgar yükü değerleri, (Y) doğrultusu için Şekil 3.20’de, (X) doğrultusu için Şekil 3.21’de, verilmiştir. $q_p(h)$ ve $q_p(b)$ sırasıyla h ve b yükseklikleri parametrelerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

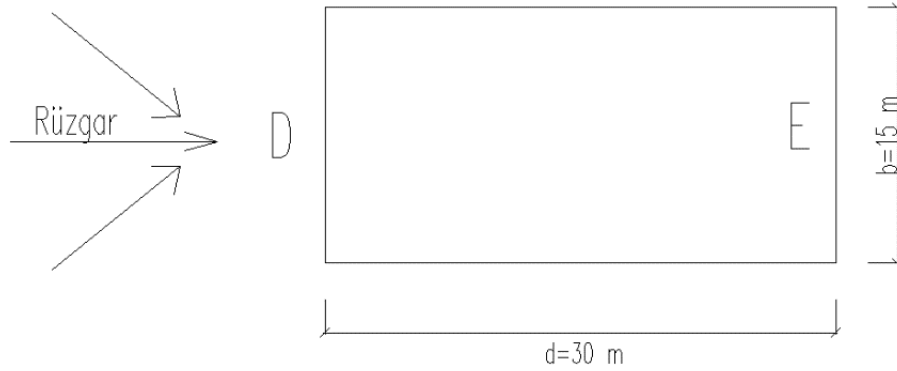
Bu yüksekliklere ve her bir yüzeye denk gelecek olan net rüzgâr basınç kuvvetleri Çizelge 3.19’da belirtilmiştir.

$\theta=90^\circ$ doğrultusunda yüzeylere etkiyen iç ve dış rüzgâr basıncı kuvveti değerleri

Yüzeylere etkiyen dış (w_e) ve iç rüzgâr (w_i) basınçları, denklem 3.24 ve denklem 3.25 ile hesaplanacaktır.



Şekil 3. 20 : Rüzgâr yönüne bağlı olarak A ve B yüzeyleri.



Şekil 3. 21 : Rüzgâr yönüne bağlı olarak D ve E yüzeyleri.

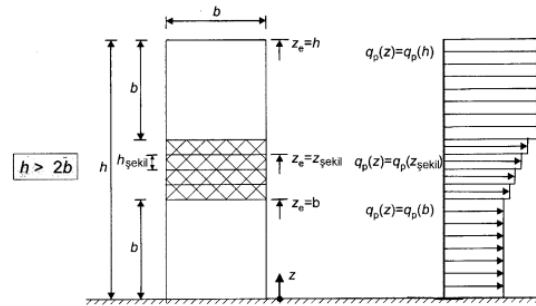
$$w_e = q(z_e) \cdot c_{pe} \quad (\text{TS EN 1991 – 1 – 4 Denk. (5.1)}) \quad (3.24)$$

$$w_i = q(z_i) \cdot c_{pi} \quad (\text{TS EN 1991 – 1 – 4 Denk. (5.2)}) \quad (3.25)$$

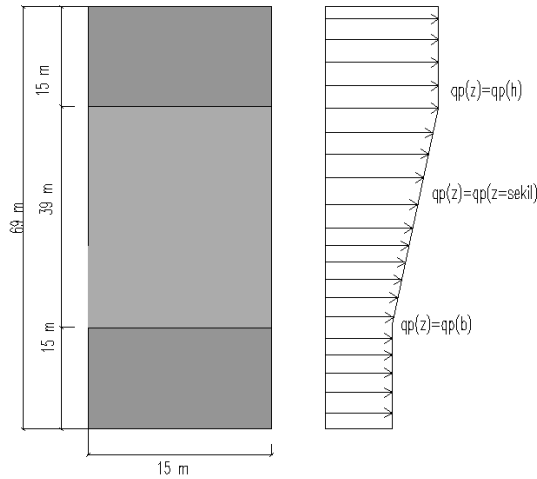
Çizelge 3. 20 : C_{pe} basınç katsayısı değerleri.

Bölge	A	B	D	E
5	-1.4	-1.1	1.0	-0.7
1	-1.4	-1.1	1.0	-0.5

$h = 69 \text{ m} > 2b = 2 \times 15 = 30 \text{ m}$ olduğu için rüzgâr yükleri bina yüksekliği boyunca Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'deki gibi dağılım gösterecektir.



Şekil 3. 22 : EN 1991-1-4 'e göre $H > 2b$ durumu için rüzgar yükü dağılışı.



Şekil 3. 23 : Yüksekliğe bağlı rüzgâr yükü.

Rüzgar standardına göre, yapının bir yüzeyine etki eden net rüzgar basıncı kuvveti, elemanların karşıt yüzeylerinde oluşan basınç değerleri, yönleri de dikkate alınarak hesaplanan kuvvetlerin farkına eşit olmaktadır. Yapıya etkiyen rüzgar basınçları denklem 3.26 ile hesaplanmaktadır.

$$w = q(z) \cdot c_{pnet} \quad (3.26)$$

(X) doğrultusundaki rüzgar kuvveti için, $b = 15 \text{ m}$, $h = 69 \text{ m}$ ve $d = 30 \text{ m}$ olmak

üzere h/d oranı, $0.25 \leq h/d = 69/30 = 2.3 < 5.00$, TS EN 1991-1-4'de verilen h/d oranları kullanılarak dış basınç katsayıları, (Y) doğrultusunda $c_{pe} = 0.8$, $c_{pe} = -0.60$ değerleri kabul edilmiştir.

(X) doğrultusu olarak incelendiğinde ise, $c_{pe} = -1.2$, $c_{pe} = -0.8$ olarak kabul edilmiştir.

İç basınç katsayısı, bina cephelerinde bulunan boşluk dağılımlarına ve bu boşlukların boyutlarına doğrudan bağlıdır. Yapılarda genellikle boşluk oranı tam olarak saptanamadığından dolayı, iç basınç katsayısı, c_{pi} , TS EN 1991-1-4 7.2.9'a göre belirlenecektir. Not 2'ye göre, İç basınç katsayıları tavsiye edilmiş olan değerler olarak, $+0.2$ veya -0.3 'ten en elverişsiz durumu oluşturan değer kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. 21 : İç basınç katsayıları.

Bölge	A	B	D	E
c_{pi}	0.20	0.20	-0.30	0.20

Çizelge 3. 22 : Dış basınç katsayıları.

Bölge	A	B	D	E
c_{pe}	-1.2	-0.8	0.8	-0.63

Çizelge 3. 23 : Net basınç katsayıları.

Bölge	A	B	D	E
c_{pnet}	-1.4	-1.0	1.1	-0.83

Çizelge 3. 24 : Net basınç katsayıları.

Bölge	Z (m)	$q_p(z)$	W_A (kN/m ²)	W_B (kN/m ²)	W_D (kN/m ²)	W_E (kN/m ²)
$q_p(h)$	69	0.988	-1.3832	-0.988	1.0868	-0.820
$q_p(b)$	15	0.544	-0.7616	-0.544	0.5984	-0.451

Çizelge 3. 25 : B = 15 m için toplam rüzgar kuvveti.

Kat	Dış Kuvvet (kN)
1.Kat	54
2.Kat	54
3.Kat	54
4.Kat	54
5.Kat	54
6.Kat	55.125
7.Kat	57.375
8.Kat	59.625
9.Kat	62.625
10.Kat	64.125
11.Kat	66.375
12.Kat	68.625
13.Kat	70.875
14.Kat	73.125
15.Kat	75.375
16.Kat	78.75
17.Kat	85.5
18.Kat	87.5
19.Kat	90.0
20.Kat	90.0
21.Kat	90.0
22.Kat	90
23.Kat	45

$$\text{Toplam Rüzgar Kuvveti} = \sum F_{we} = 1580 \text{ kN}$$

Çizelge 3. 26 : B = 15m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri.

Kat	Yükseklik (m)	Rüzgar Kuvveti (kN)
23.Kat	3	49.5
22.Kat	3	90
21.Kat	3	90
20.Kat	3	87.5
19.Kat	3	85.5
18.Kat	3	78.75
17.Kat	3	75.375
16.Kat	3	73.125
15.Kat	3	70.875
14.Kat	3	68.625
13.Kat	3	66.375
12.Kat	3	64.125
11.Kat	3	62.625
10.Kat	3	59.625
9.Kat	3	57.375
8.Kat	3	56.25
7.Kat	3	55.125
6.Kat	3	54
5.Kat	3	54
4.Kat	3	54
3.Kat	3	54
2.Kat	3	54
1.Kat	3	54

$q_p(h)$ ve $q_p(b)$ sırasıyla h ve b yükseklikleri parametrelerine bağılı olacak şekilde hesaplanmıştır. 23 katlı yapıda, kat hizalarına etkiyen toplam rüzgar kuvvetleri, (X) doğrultusu için Çizelge 3.26'da verilmiştir.

3.5.6 Termal yükü

Yapının dış ortamında gelişen ısıl değişimler taşıyıcı sistem elemanlarında genleşme veya büzülme gibi davranış eğilimleri yaratmaktadır.

Bu sebeple sistemin elemanlarının serbest olmadığı gibi koşullarda, yapısal elemanlarda iç gerilme ve kuvvetler oluşmaktadır.

Oluşan bu iç gerilme ve kuvvetler sonucunda ortaya çıkan gerilme ve deformasyonlar yapısal tasarım aşamalarında mutlaka dikkate alınmalıdır.

Isı değerlerindeki değişimlerde dikkate alınan hesapsal parametreler ise, inşaa aşamasındaki ısı derecesine, binanın bulunduğu bölgeye ve yapının cephe yüzey rengi gibi parametrelerdir. Hesap işlemlerinde, TS EN 1991-1-5 standardı kullanılmıştır.

Çizelge 3.28'de belirtilen parametreler,

- a) Kesit merkezi boyunca düzgün değişim (Eksenel)
- b) Z-Z eksen M_z momenti
- c) Y-Y eksen M_y momenti
- d) Doğrusal olmayan değişim

Termal bilgiler

İlk olarak yapılması plananan otel projesinin, bölgesel termal verileri elde edilmiştir.

Termal veriler Şekil 3.25'de belirtilmiştir.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıcaklık (° C)	5.9	6.5	8.6	12.1	17.1	21.9	24.5	24.8	21.1	16.3	12.1	7.9
Min. Sıcaklık (° C)	3.5	3.8	5.3	8.3	13.2	18	20.9	21.7	18.1	13.8	9.7	5.7
Maks. Sıcaklık (° C)	8.3	9.3	12	16.1	21.1	25.7	28.2	28.3	24.4	19.1	14.8	10.2
Yağış / Yağış (mm)	75	67	68	44	35	36	29	27	55	78	68	94
Nem(%)	78%	77%	73%	72%	70%	67%	66%	67%	68%	74%	76%	77%
Yağmurlu günler (g.)	9	9	8	6	5	4	4	4	5	7	7	10
Güneşli saatler (s)	4.8	5.5	7.3	9.4	10.7	11.8	11.6	10.4	8.7	6.4	5.6	4.8

Data: 1991 - 2021 Min. Sıcaklık (° C), Maks. Sıcaklık (° C), Yağış / Yağış (mm), Nem, Yağmurlu günler. Data: 1999 - 2019: Güneşli saatler

Şekil 3. 24 : İstanbul ili Sarıyer-Maslak ilçesi yıllık sıcaklık verileri.

İSTANBUL/FLORYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1937 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.7	5.8	7.4	11.6	16.5	21.1	23.8	23.9	20.4	16.0	11.9	8.1	14.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	8.5	9.1	11.3	16.2	21.2	25.9	28.8	28.8	25.2	20.1	15.3	10.9	18.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.1	3.2	4.4	7.9	12.5	16.6	19.3	19.6	16.3	12.7	9.0	5.5	10.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.0	3.6	4.6	6.5	8.8	10.6	11.5	10.7	8.3	5.7	4.0	2.8	6.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.71	13.12	12.18	8.41	7.76	7.53	3.65	3.00	6.18	10.18	10.65	13.29	110.7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	84.3	69.6	60.5	46.9	29.8	27.6	21.4	25.2	38.1	66.5	81.0	97.2	648.1
Ölçüm Periyodu (1937 - 2021)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	20.5	21.0	26.0	30.5	33.5	36.2	37.4	38.6	39.5	32.3	26.4	23.1	39.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-12.6	-10.0	-9.6	-1.4	1.4	8.4	11.0	11.4	6.7	1.8	-4.6	-11.5	-12.6

Şekil 3. 25 : İstanbul ili yıllık sıcaklık verileri.

Proje planlaması bilgileri kapsamında, otel yapısının inşaatına Kasım ayında başlanması düşünülmekte ve Eylül ayında ise teslim edilmesi planlanmaktadır. Zaman parametresine ek olarak, güneşe maruz kalan cephe yüzeyi olarak, Güney-Batı doğrultusudur. Yüzey emme özelliği olarak açık renkli yüzey özelliği belirlenmiştir.

Uniform termal yük hesabı

$$T_{\text{çalışma}} = 15^{\circ}\text{C}, \quad T_{\text{kış max}} = -12.6^{\circ}\text{C}$$

ΔT_v : Uniform sıcaklık bileşeni

$$\Delta T_v = -15^{\circ}\text{C} + (-12.6)^{\circ}\text{C} = -27.6^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{çalışma}} = 15^{\circ}\text{C}, \quad T_{\text{yaz max}} = 39.5^{\circ}\text{C}$$

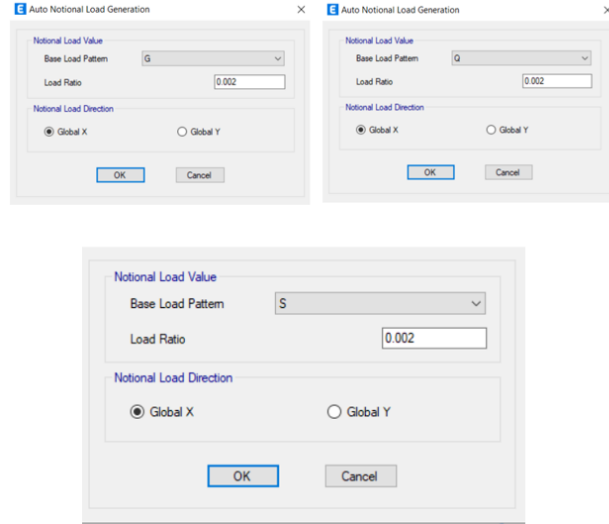
ΔT_v : Uniform sıcaklık bileşeni

$$\Delta T_v = 39.5^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C} = 24.5^{\circ}\text{C}$$

Termal yük analizlerine Etabs programı üzerinden devam edilecektir. Yapısal taşıyıcı sisteme etki ettirilecek ortalama $\pm 26^{\circ}\text{C}$ uniform termal sıcaklık etkisi öngörülmüştür.

3.5.7 Fiktif yükler

Fiktif yükler, yapıdaki ön kusurların, yapıda ilave yük durumu olarak ele alındığı yükleme durumudur. denklem 3.27 ile tüm katlar için ayrı ayrı hesaplanmaktadır.



Şekil 3. 26 : ETABS’de fiktif yüklerin tanımlanması.

Fiktif yükler her bir kata etkiyen düşey yük olarak modelde dikkate alınmış ve yük kombinasyonlarının içine dahil edilmiştir.

Fiktif yüklerin dahil edildiği yük kombinasyonları ise sadece düşey yükleri içeren kombinasyonlardır.

$$N_i = 0.002 \cdot \alpha \cdot Y_i \quad (3.27)$$

3.6 Yük Birleşimleri

Bina yapısına ait yükler önceki bölümlerde detaylı olarak açıklanmış olup ilgili yönetmeliklere bağlı kalınarak hesapları tamamlanmıştır. Bina taşıyıcı sistemine ait sabit ve hareketli yükler ile deprem ve rüzgar kuvvetleri altında analizleri sonucunda elde edilen iç kuvvetler, ÇYTHYE 2016 5.3.1, TBDY 2018 4.4 ve TBDY2018 9.2.5’e uygun olacak şekilde birleştirilmiştir. ÇYTHYE 2016 6.2 uyarınca, sadece düşey yükleri içeren yük birleşimlerinde dikkate alınan fiktif yükler, bina üzerinde yatay doğrultuda etkisi bulunan ve stabilite analizinde başlangıç kusurlarının etkisini de hesaba dahil etmek amacıyla tanımlanmıştır. Yapı tasarımında kullanılacak olan tasarım yöntemi YDKT yöntemidir. YDKT’ye göre tasarımda esas alınan yük

kombinasyonları ve katsayıları Çizelge 3.29, 3.30, 3.31, 3.32’de belirtilmiştir. Belirtilen bu yük birleşimlerine göre yapısal çelik elamanlar üzerinde oluşan en büyük karakteristik yük ve yer değiştirme değerleri elde edilecektir.

Yük birleşimleri

Çizelge 3. 27 : Yük birleşimleri – Part 1.

Düşey Yük Birleşimleri
$1.4(G+N_g)$
$1.2(G + N_G) + 1.6(Q_r + NQ_r)$
$1.2(G+N_g) + 1.6(Q+N_q) + 0.5(S+N_s)$
$1.2(G+N_g) + 1.6(S+N_s) + 0.5(Q+N_q)$
$1.2(G + N_G) + 1.6(Q + N_Q) + 0.5(Q_r + NQ_r)$
$1.2(G + N_G) + 1.6(Q_r + NQ_r) + 1.0(Q + N_Q)$
$1.2(G+N_g) + 1.6(S+N_s)$

Çizelge 3. 28 : Yük birleşimleri – Part 2.

Depremli Yük Birleşimleri
$1.39G+0.5Q+0.2S \pm E_d(x) \pm 0.3E_d(y)$
$1.39G+0.5Q+0.2S \pm 0.3E_d(x) \pm E_d(y)$
$0.71G+0.5Q+0.2S \pm E_d(x) \pm 0.3E_d(y)$
$0.71G+0.5Q+0.2S \pm 0.3E_d(x) \pm E_d(y)$

Çizelge 3. 29 : Yük birleşimleri – Part 3.

Rüzgarlı Yük Birleşimleri
$1.2G + 1.6S + 0.8W$
$1.2G + 1.0Q + 0.5S + 1.6W$
$0.9G + 1.6W$
$1.2G + 1.6Q_r \pm 0.8W$
$1.2G + 1.0Q + 0.5Q_r \pm 1.6W$

Çizelge 3. 30 : Yük birleşimleri – Part 4.

Dayanım Fazlalığı Katsayısı İle Artırılmış Depremlî Yük Birleşimleri
$1.39G + 1.0Q + 0.2S + 2.5E_x + 0.75E_y$
$1.39G + 1.0Q + 0.2S + 2.5E_xP + 0.75E_y$
$0.71G + 2.5E_x + 0.75E_y$
$0.71G + 2.5E_xP + 0.75E_y$

3.6.1 YDKT'ye göre tasarım

YDKT'ye göre tasarım, denklem 3.28'de verilen koşula uygun olarak yapılacaktır.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (3.28)$$

3.7 Yapısal Analiz Sonuçları

Bu tez çalışmasında burkulması önlenmiş çelik çapraz sistemleri ile oluşturulan 23 katlı bir yapı sisteminin analizi Etabs V.19.02 programı ile yapılmıştır.

Analiz sonucunda yapının verilmiş olan 10 moduna ait periyot değerleri ve yapıya ait kütle değerleri Çizelge 3.31'de verilmiştir.

Mod birleştirme analizi sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti, birinci adımda depreme göre hesaplanmış olan minimum taban kesme kuvvetinde büyük olmalıdır.

Çizelge 3. 31 : Bina model periyot ve frekans değerleri.

Yük Durumu	Mode	Periyot (sn)	Frekans(cyc/sn)
Modal	1	3.55	0.282
Modal	2	3.44	0.291
Modal	3	2.523	0.396
Modal	4	1.145	0.873
Modal	5	1.141	0.877

Minimum taban kesme kuvveti değeri Denklem 3.29 ile hesaplanacaktır. Yapı 105 m'den küçük olduğu için $\alpha_H = 1.0$ alınmıştır.

$$V_{tmin} = 0.04 \cdot \alpha \cdot m_t \cdot S_{DS} \cdot g \quad (3.29)$$

$$V_{tmin} = 0.04 \cdot 1.0 \cdot 80561.95 \cdot 0.9504 = 3062.6 \text{ kN}$$

Yapıda, düzensizlik durumlarından, A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden herhangi birinin bulunmaması durumunda $\gamma_E = 0.90$ alınacaktır. Bu düzensizliklerin herhangi birinin bulunması durumunda $\gamma_E = 0.80$ alınacaktır. Bu binada herhangi bir düzensizlik söz konusu olmadığı için $\gamma_E = 0.80$ alınmıştır.

Çizelge 3. 32 : Bina kat kütleleri.

Kat	U_x (kg)	U_y (kg)	U_z (kg)
23.	337446.64	337446.64	0.0
22.	343707.32	343707.32	0.0
21.	343707.32	343707.32	0.0
20.	343707.32	343707.32	0.0
19.	343707.32	343707.32	0.0

Çizelge 3. 32 (devam) : Bina kat kütleleri.

Kat	U_x (kg)	U_y (kg)	U_z (kg)
18.	344256.91	344256.91	0.0
17.	344996.29	344996.29	0.0
16.	345005.47	345005.47	0.0
15.	344953.43	344953.43	0.0
14.	344892.21	344892.21	0.0
13.	344892.21	344892.21	0.0
12.	344892.21	344892.21	0.0
11.	344892.21	344892.21	0.0
10.	344892.21	344892.21	0.0
9.	344892.21	344892.21	0.0

8.	344892.21	344892.21	0.0
7.	344892.21	344892.21	0.0
6.	345614.63	345614.63	0.0
5.	346594.19	346594.19	0.0
4.	346594.19	346594.19	0.0
3.	346594.19	346594.19	0.0
2.	346594.19	346594.19	0.0
1.	346594.19	346594.19	0.0
Taban	7918.39	7918.39	0.0
Toplam	4845641.7	4845641.7	0

$V_{tx} > \gamma_E \cdot V_{tmin}$ olduğu için βE katsayısının hesaplanmasına ihtiyaç duyulmamıştır.

Bu formülde $\gamma_E = 1$ alınmıştır.

Çizelge 3. 33 : Taban kesme kuvvetleri.

Mod	$V_x(kN)$	$V_y(kN)$
Vt	3418	3418
Vw	3672	5673

Rüzgar yüklerinden kaynaklanan taban kesme kuvveti, deprem yüklerinden kaynaklanan taban kesme kuvvetinden daha büyük elde edilmiştir.

Bundan sebeple yatay yüklerde rüzgar yükleri deprem yüklerine göre baskın durumdadır. Fakat taşıyıcı sistemlerin tasarımında ve analizinde deprem kuvvetleri referans olarak alınacaktır.

3.7.1 Göreli kat ötelenmelerinin değerlendirilmesi

3.7.1.1 Deprem kuvvetleri altında kontrol

TBDY 2018 4.9.1'e göre, etkin göreli kat ötelemesi kontrolleri yapılmıştır. X veya Y doğrultusunda birbirini takip eden iki kat arası yatay yer değiştirme miktarı arasındaki fark, Δ_i denklem 3.30 ile hesaplanacaktır. Katlara ait ötelemeler, Etabs programından elde edilmiştir.

$u_{i(X)}$ ve $u_{i-1(X)}$, (X) doğrultu parametreleri için yapısal taşıyıcı sistemin ardışık iki katında, yapısal kolon elemanları uç kısımlarında azaltılmış deprem yükleri etkisinde meydana gelen en büyük yatay yer değiştirmeleri temsil etmektedir. Denklem 3.30'da verilmiştir. Tasarımı yapılan binada u_i yatay yer değiştirmelerinin en büyükleri, %5 ek dışmerkezlilik uygulanan azaltılmış deprem yüklerinden elde edilmektedir.

$$\Delta_i^{(X)} = u_i^{(X)} - u_{i-1}^{(X)} \quad \text{TBDY 2018 4.9.1.1 (Denklem 4.32)} \quad (3.30)$$

X yada Y doğrultusunda ardışık iki kat arası yatay yer değiştirme miktarı arasındaki fark, $\delta_{i(X)}$ Denklem 3.31 ile hesaplanacaktır.

$$\delta_i^{(X)} = \frac{R}{I} \cdot \Delta_i^{(X)} \quad \text{TBDY 2018 4.9.1.2 (Denklem 4.33)} \quad (3.31)$$

Her bir katta binanın kolon uçlarında oluşan maksimum göreli etkin kat ötelenmesi değeri denklem 3.32 ile kontrol edilecektir.

$$\frac{\delta_{i,\max}^{(X)} \lambda}{h_i} < 0.016 K \quad \text{TBDY 2018 4.9.1.3 (Denklem 4.34b)} \quad (3.32)$$

λ katsayısı, taşıyıcı sistemin hakim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareketine göre belirlenmiş olan $S_{ae}(T)_{DD-3}$, DD-2 deprem yer hareketine göre belirlenmiş $S_{ae}(T)_{DD-2}$ oranı olarak tanımlanmaktadır. κ katsayısı TBDY 2018 4.9.1.4'e göre, çelik binalar için verilen değer olan 0.5 olarak alınacaktır.

$$\frac{\delta_{i,\max}^{(X)} \lambda}{h_i} < 0.008$$

$$S_{ae}(T^{(X)})_{DD-2} = 0.114$$

$$S_{ae}(T^{(X)})_{DD-3} = 0.047$$

$$S_{ae}(T^{(Y)})_{DD-2} = 0.125$$

$$S_{ae}(T^{(Y)})_{DD-3} = 0.051$$

$$\lambda_X = \frac{S_{ae}(T^{(X)})_{DD-3}}{S_{ae}(T^{(X)})_{DD-2}} \quad (3.33)$$

$$\lambda_X = 0.4123$$

$$\lambda_Y = \frac{S_{ae}(T^{(Y)})_{DD-3}}{S_{ae}(T^{(Y)})_{DD-2}} \quad (3.34)$$

$$\lambda_Y = 0.408$$

Yapının X ve Y doğrultusundaki asal eksenleri için uygulanan azaltılmış deprem yükleri altında, yapıya ait taşıyıcı sistem analizi ile elde edilen u_i^X ve u_i^Y yatay yerdeğiştirme değerlerinin her bir kata ait belirlenmiş olan ve katlar arasındaki azaltılmış kat ötelemesi değerleri (X) ve (Y) doğrultuları için çizelgeler halinde verilerek görel kat ötelemesi oranlarının sınır değerleri içerisinde kaldığı Çizelge 3.36'da belirtilmiştir.

Görel kat ötelemesi oranları olarak X ve Y doğrultuları için elde edilen en büyük değer sırasıyla,

$$\frac{\delta_{i,max}^{(X)}\lambda}{h_i} = \frac{0.007133.0.4123}{3.0} = 0.000989657 < 0.008$$

$$\frac{\delta_{i,max}^{(Y)}\lambda}{h_i} = \frac{0.004542.0.4123}{3.0} = 0.000617712 < 0.008$$

verilmiştir.

Çizelge 3. 34 : Deprem parametreleri,görel kat ötelemesi formülü.

Parametre	Değer
R_x	8
R_y	8
I	1
λ_x	0.4123
λ_y	0.4123
k	0.5
h_i	3

3.7.1.2 Rüzgar kuvvetleri altında kontrol

Deprem yükü ve rüzgar yükü etkisinde X ve Y doğrultuları için elde edilen göreceli kat öteleme değerleri E_k 'de verilmiştir.

3.7.2 İkinci merteye etkilerinin değerlendirilmesi

Tüm ardışık olan katlarda, X veya Y doğrultusu için ikinci merteye değerleri Denklem 3.35 ile hesaplanacaktır.

Hesap sonuçları Çizelge 3.37 ve Çizelge 3.38'de her bir doğrultu için verilmiştir.

$$\theta_{II,i} = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{k=i}^N W_k}{V_i h_i} \quad (\text{TBDY 2018 4.9.2.1 Denk.(4.35)}) \quad (3.35)$$

Tüm katlar için hesaplanan $\theta_{II,i}$ değerlerinin maksimum değeri $\theta_{II,maks}$ bulunmuş ve denklem 3.36 ile karşılaştırma yapılmıştır.

$$\theta_{II,maks} = 0.12 \cdot \frac{D}{C_{hR}} = 0.0375 \quad (\text{TBDY 2018 4.9.2.2 Denk.(4.36)}) \quad (3.36)$$

Çizelge 3. 35 : X Yönü II.mertebe kontrolü.

Kat No :	H (m)	Ortalama Görelî Kat Ötelemesi(mm)	Ø
23	3	0.966	0.00132
22	3	1.442	0.00344
21	3	1.807	0.00551
20	3	2.084	0.00738
19	3	2.328	0.00915
18	3	2.329	0.00992
17	3	2.501	0.0113
16	3	2.658	0.0128
15	3	2.8	0.0142
14	3	2.928	0.0155
13	3	3.044	0.0169
12	3	3.155	0.0182
11	3	3.256	0.0196
10	3	3.355	0.0210
9	3	3.449	0.0225
8	3	3.544	0.0240
7	3	3.642	0.0256
6	3	3.438	0.0251
5	3	3.502	0.0281
4	3	3.553	0.0281
3	3	3.538	0.0291
2	3	3.261	0.0297
1	3	1.926	0.0172

Çizelge 3. 36 : Y yönü II.mertebe kontrolü.

Kat No :	H (m)	Ortalama Görelî Kat Ötelemesi(mm)	Ø
23.	3	1.777	0.0243
22.	3	2.151	0.0513
21.	3	2.466	0.0075
20	3	2.708	0.0095
19	3	2.908	0.0114
18	3	2.935	0.0125
17	3	3.054	0.0139
16	3	3.156	0.0152
15	3	3.231	0.0163
14	3	3.291	0.0175
13	3	3.33	0.0185
12	3	3.368	0.0195
11	3	3.385	0.0204
10	3	3.412	0.0214
9	3	3.418	0.0222
8	3	3.439	0.0232
7	3	3.431	0.0241
6	3	3.247	0.0238
5	3	3.242	0.0247
4	3	3.242	0.0257
3	3	3.185	0.0262
2	3	2.941	0.0253
1	3	1.766	0.0158

Yapı 23 katlı yüksekliğinde olması ve deprem ve rüzgar etkilerine doğrudan maruz kalmasından dolayı ikinci mertebe göz önüne alınmıştır.

3.7.3 Yapısal düzensizliklerin kontrolü

Düzensizlik kontrolleri TBDY 2018 Bölüm 3.6.1 Çizelge 3.6'ya göre yapılmıştır. Yapısal sistemde döşemelerde veya merdiven bölgelerinde herhangi bir süreksizlik yada büyük boşluklar bulunmamaktadır. Binanın hiçbir katında konsol döşeme durumu veya balkon bulunması durumu söz konusu değildir. Yukarıdaki kriterler dikkate alındığında A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunmadığı anlaşılmaktadır.

3.7.3.1 A1 düzensizliği kontrolü

Yapıya ait taşıyıcı sistemin her iki doğrultuda da simetrik olmasından dolayı, A1 türü düzensizlik durumu söz konusu değildir. Etabs analiz sonuçlarına göre maksimum kat ötelemesi değerinin, normal kat ötelemesi değerine oranı X ve Y doğrultuları için 1 elde edilmiştir. Bu durum A1 türü düzensizliğin yapıda mevcut olmadığını doğrudan göstermektedir.

Çizelge 3. 37 : A1 türü düzensizlik tipi kontrolü (EQX).

Kat No :	Yük	Doğrultu	Maksimum (mm)	Ortalama (mm)	Oran
23.	EQX	X	369.7	369.5	1
22.	EQX	X	362.4	362.2	1
21.	EQX	X	353.8	353.6	1
20	EQX	X	343.7	343.5	1
19	EQX	X	332.3	332.1	1
18	EQX	X	319.7	319.5	1
17	EQX	X	305.8	305.6	1
16	EQX	X	290.8	290.6	1
15	EQX	X	274.8	274.6	1
14	EQX	X	257.8	257.6	1
13	EQX	X	239.8	239.6	1
12	EQX	X	221.0	221.0	1
11	EQX	X	201.5	201.3	1

Çizelge 3. 37 (devam) : A1 türü düzensizlik tipi kontrolü (EQX).

Kat No :	Yük	Doğrultu	Maksimum (mm)	Ortalama (mm)	Oran
10	EQX	X	181.4	181.1	1
9	EQX	X	160.6	160.4	1
8	EQX	X	139.4	139.2	1
7	EQX	X	117.9	117.7	1
6	EQX	X	96.3	96.1	1
5	EQX	X	74.88	74.78	1
4	EQX	X	54.13	54.10	1
3	EQX	X	34.74	34.5	1
2	EQX	X	17.84	17.6	1
1	EQX	X	5.243	5.1	1

Çizelge 3. 38 : A1 türü düzensizlik tipi kontrolü (EQY) .

Kat No :	Yük	Doğrultu	Maksimum (mm)	Ortalama (mm)	Oran
23.	EQY	Y	242.6	242.5	1
22.	EQY	Y	237.7	237.4	1
21.	EQY	Y	231.9	231.4	1
20	EQY	Y	224.8	224.4	1
19	EQY	Y	216.8	216.5	1
18	EQY	Y	208.2	207.9	1
17	EQY	Y	198.8	198.6	1
16	EQY	Y	188.8	188.6	1
15	EQY	Y	178.2	178.0	1
14	EQY	Y	177	176.7	1
13	EQY	Y	155.4	155.2	1
12	EQY	Y	143.4	143.1	1
11	EQY	Y	130.9	130.6	1

Çizelge 3. 38 (devam) : A1 türü düzensizlik tipi kontrolü (EQY).

Kat No :	Yük	Doğrultu	Maksimum (mm)	Ortalama (mm)	Oran
10	EQY	Y	118.2	118.0	1
9	EQY	Y	105.1	104.9	1
8	EQY	Y	91.7	91.5	1
7	EQY	Y	78.2	78.0	1
6	EQY	Y	64.5	64.3	1
5	EQY	Y	50.9	50.7	1
4	EQY	Y	37.6	37.4	1
3	EQY	Y	24.5	24.3	1
2	EQY	Y	13.6	13.5	1
1	EQY	Y	4.05	3.9	1

Bina çelik yapı olduğu için B1 türü düzensizlik kontrollerinin yapılmasına gerek duyulmamıştır.

3.7.3.2 B2 – yumuşak kat düzensizliği kontrolü

Yumuşak kat düzensizliği katsayısı η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması durumunda ortaya çıkan düzensizlik durumudur. B2 düzensizlik durumu denklem 3.37 ile kontrol edilmiş kontrol sonucu oranları Çizelge 3.41 ve Çizelge 3.42'de belirtilmiştir.

TBDY 2018 3.6.2.1

$$[\eta_{ki} = (\Delta_i^{(0)} / h_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i+1}^{(0)} / h_{i+1})_{\text{ort}} > 2.0 \text{ veya} \quad (3.37)$$

$$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(0)} / h_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i-1}^{(0)} / h_{i-1})_{\text{ort}} > 2.0]$$

Çizelge 3. 39 : B2 türü düzensizlik kontrolü (EQX).

Kat No :	h_i (mm)	Δ_i (mm)	Δ_i/h_i	Δ_{i-1}/h_{i-1}	n_{ki}
23.	3000	2.469	0.0008	-	-
22.	3000	2.85	0.0010	0.00095	1.15
21.	3000	3.39	0.0011	0.0011	0.84
20	3000	3.82	0.0013	0.0012	0.88
19	3000	4.21	0.0014	0.0014	0.90

Çizelge 3. 39 (devam) : B2 türü düzensizlik kontrolü (EQX).

Kat No :	h_i (mm)	Δ_i (mm)	Δ_i/h_i	Δ_{i-1}/h_{i-1}	n_{ki}
18	3000	4.59	0.0015	0.0015	0.91
17	3000	4.99	0.0017	0.0015	0.92
16	3000	5.35	0.0018	0.0016	0.93
15	3000	5.70	0.0019	0.0017	0.94
14	3000	5.99	0.0020	0.0019	0.95
13	3000	6.27	0.0021	0.0019	0.95
12	3000	6.50	0.0022	0.0020	0.96
11	3000	6.72	0.0022	0.0021	0.96
10	3000	6.92	0.0022	0.0022	0.97
9	3000	7.07	0.0024	0.0023	0.97
8	3000	7.17	0.0024	0.0023	0.98
7	3000	7.20	0.0024	0.0023	0.99
6	3000	7.13	0.0024	0.0024	1.0
5	3000	6.91	0.0023	0.0023	1.03
4	3000	6.46	0.0022	0.0023	1.07
3	3000	5.63	0.0019	0.0021	1.14
2	3000	4.2	0.0014	0.0019	1.34
1	3000	1.75	0.0006	-	-

Çizelge 3. 40 : B2 türü düzensizlik kontrolü (EQY).

Kat No :	h_i (mm)	Δ_i (mm)	Δ_i/h_i	Δ_{i-1}/h_{i-1}	n_{ki}
23.	3000	1.76	0.0006	-	-
22.	3000	2.042	0.0007	0.00058	1.16
21.	3000	2.403	0.0008	0.00068	0.85
20	3000	2.65	0.0009	0.00080	0.90
19	3000	2.89	0.0010	0.00088	0.91
18	3000	3.11	0.0010	0.000964	0.92
17	3000	3.34	0.0011	0.0010	0.93

Çizelge 3. 40 (devam) : B2 türü düzensizlik kontrolü (EQY).

Kat No :	h_i (mm)	Δ_i (mm)	Δ_i/h_i	Δ_{i-1}/h_{i-1}	n_{ki}
16	3000	3.55	0.0012	0.00111	0.94
15	3000	3.74	0.0012	0.00118	0.95
14	3000	3.90	0.0013	0.0012	0.95
13	3000	4.065	0.0014	0.0013	0.96
12	3000	4.195	0.0014	0.00135	0.96
11	3000	4.305	0.0014	0.00139	0.97
10	3000	4.414	0.0015	0.00143	0.97
9	3000	4.47	0.0015	0.00147	0.98
8	3000	4.52	0.0015	0.00149	0.98
7	3000	4.54	0.0015	0.00150	0.99
6	3000	4.53	0.0015	0.00150	1.00
5	3000	4.45	0.0014	0.00151	1.01
4	3000	4.27	0.0013	0.00148	1.04
3	3000	3.86	0.0013	0.00142	1.10
2	3000	3.037	0.0010	0.00128	1.27
1	3000	1.21	0.005	-	-

Taşıyıcı sisteminde düşey eleman bazında herhangi bir süreksizlik durumu bulunmamaktadır.

Katlarda çerçeve ana kirişlerinde veya ikincil kirişlerde, üzerine kolon oturtulma durumu oluşmamıştır.

Mevcut yapıda bağlantı detayı olarak guse bulunmamaktadır. Herhangi bir katta betonarme perde bulunmamakta, kolonların üzerine oturtulmamaktadır.

Bu sebeple yapıda B3 türü düzensizliği de bulunmamaktadır.

3.7.3.3 Taşıyıcı sistem R, D parametreleri kontrolü

TBDY 2018 ‘e göre süneklilik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı çerçevelere sahip binalarda, tüm deprem doğrultuları için taşıyıcı sistem davranış katsayısı kontrol edilmelidir. Kontrol işlem adımları ise,

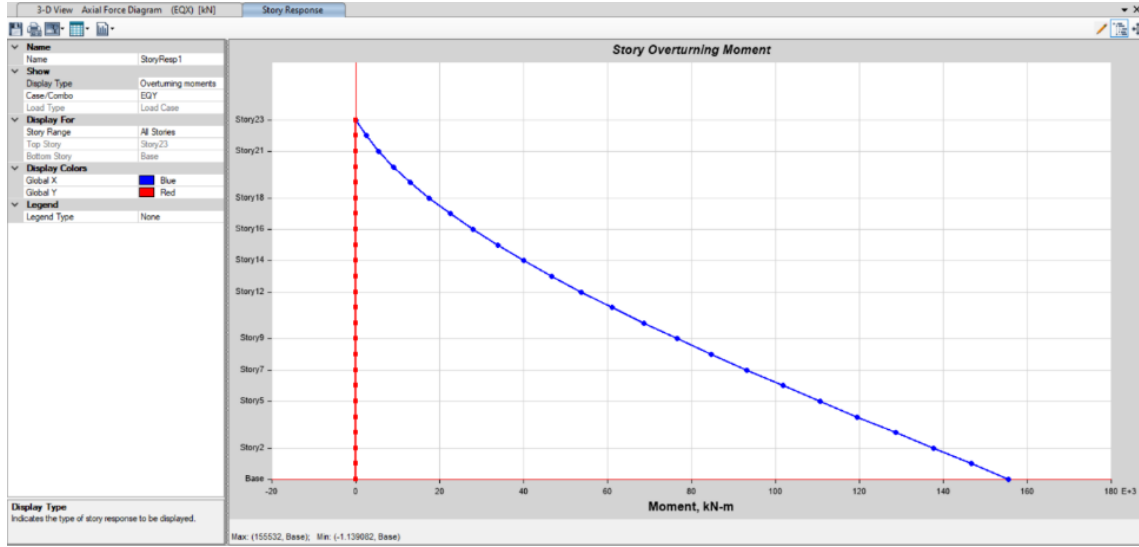
$$0.4M_0 < \sum M_{DEV} < 0.75M_0 \quad (3.38)$$

The screenshot shows the 'Section Cut Forces' dialog box. The 'Section Cutting Line' section has 'Start Point' (Global X: 13.5128, Global Y: 11.049) and 'End Point' (Global X: 18.5928, Global Y: 8.509). The 'Load Case' is 'EQX'. The 'Objects to Include' section has checkboxes for Columns, Beams, Braces, Floors, Walls, and Links, all of which are checked. The 'Resultant Force Location and Angle' section shows Global X: 16.0528, Global Y: 9.779, Global Z: 0, and Angle: 333.435 deg. The 'Integrated Forces' section has two tables: 'Right Side' and 'Left Side'. The 'Right Side' table has columns 1, 2, and Z. The 'Left Side' table has columns 1, 2, and Z. The 'Force' row shows values: Right Side (79.8992, 40.2335, 929.497) and Left Side (-79.8992, -40.2335, -929.497) in kN. The 'Moment' row shows values: Right Side (-7506.4383, 13392.6118, 65.6815) and Left Side (7513.6563, -13407.0373, -65.6128) in kN-m. The values 13392.6118 and -13407.0373 are highlighted with red boxes. There are 'Save Right Side Cut' and 'Save Left Side Cut' buttons. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Refresh' buttons.

Şekil 3. 27 : Bina orta aksı için devrilme momenti.

The screenshot shows the 'Section Cut Forces' dialog box. The 'Section Cutting Line' section has 'Start Point' (Global X: 9.8298, Global Y: 12.8778) and 'End Point' (Global X: 14.1224, Global Y: 9.448). The 'Load Case' is 'EQX'. The 'Objects to Include' section has checkboxes for Columns, Beams, Braces, Floors, Walls, and Links, all of which are checked. The 'Resultant Force Location and Angle' section shows Global X: 11.9761, Global Y: 11.1633, Global Z: 0, and Angle: 321.382 deg. The 'Integrated Forces' section has two tables: 'Right Side' and 'Left Side'. The 'Right Side' table has columns 1, 2, and Z. The 'Left Side' table has columns 1, 2, and Z. The 'Force' row shows values: Right Side (232.7726, 185.068, 1870.9284) and Left Side (-232.7726, -185.068, -1870.9284) in kN. The 'Moment' row shows values: Right Side (-19454.3946, 9108.6455, 3321.0524) and Left Side (19470.4503, 9088.5516, -3321.0524) in kN-m. The values -19454.3946 and 19470.4503 are highlighted with red boxes. There are 'Save Right Side Cut' and 'Save Left Side Cut' buttons. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Refresh' buttons.

Şekil 3. 28 : Bina kenar aksı için devirme momenti.



Şekil 3. 29 : Yapının 0.00 kotunda oluşan toplam devirme momenti.

Etabs üç boyutlu modeline göre EQX depremi için ;

Orta aksta bulunan çaprazlı çerçeve için taban devrilme momenti :

$$M_{DEV,O} = 19470.5 \text{ kNm}$$

Kenar aksta bulunan çaprazlı çerçeve taban devrilme momenti :

$$M_{DEV,K} = 13392.6 \text{ kNm}$$

Binaya ait toplam taban devirme momenti :

$$M_0 = 155532 \text{ kNm}$$

Kontroller :

1.Kontrol

$$(M_{DEV})_{MAX} = 19470.5 \text{ kNm} < \frac{1}{3} M_0 = 51844.0 \text{ kNm} \quad \text{Uygun}$$

$$4. M_{DEV,K} = 53570.4 \text{ kNm} > \frac{1}{6} M_0 = 25922 \text{ kNm} \quad \text{Uygun}$$

$$0.40 \leq \left[\frac{(4. M_{DEV,K} + 2. M_{DEV,O})}{M_0} = 0.594 \right] \leq 0.75 \quad \text{Uygun}$$

Hesap modelinde ele alınan R, D katsayıları hesap işlemi ile uyumludur.

3.8 Rüzgâr Etkisi Altında Konfor Kontrolleri

Tezin bu bölümünde rüzgarın yapıda oluşturduğu negatif etkilerden kaynaklı konfor koşulu durumu incelenecektir. Rüzgar etkisinden dolayı oluşacak olan negatif etkilerden kaçınılması için sağlanması gereken konfor koşulları ASCE 7-10 ve Eurocode göre kontrol edilecektir.

3.8.1 Rüzgar etkisi faktörü (gust affect factor)

Rüzgar yapıya bilindiği üzere yatay olarak her iki doğrultuda ve ters yönlerde etkiyebilen dinamik etkili kuvvettir. Etkiyen bu dinamik yükten dolayı yapıda belirli etkiler oluşturmaktadır. Bu etkiler rüzgarın esme doğrultusuna bağlı olarak gelişen türbülans etkisi ve yapının rijitliğine bağlı olarak gelişen doğal titreşimin rüzgar ivmesi ile etkileşime girmesi sonucu oluşan rezonans etkisidir. Türbilans ve rezonans etkenleri, yüksek yapıların tasarımında kesinlikle dikkate alınması gerekmekte ve dikkate alınmaması durumunda ise hem yapıda ekstra iç kuvvetler oluşmasına sebep olmaktadır. Dikkate alınmadığı durumlarda genel olarak binada bulunan insanlar titreşim, katların yanal yerdeğiştirmesi gibi sonuçlardan rahatsız olacaklardır. Bu sebeple rüzgar etkisi faktörü rüzgar yönlerine bağlı olarak ASCE 7-10 standartına göre kontrol edilmelidir. Tezin bu bölümünde rüzgar etkisi faktörünün konfor etkisi üzerine sonucu incelenecektir.

ASCE 7- 10 ‘ a göre yüksek katlı binalarda üç çeşit rüzgar etkisi dikkate alınmaktadır.

- Rüzgar Etkisi (Basitleştirilmiş metod)
- Rüzgar Etkisi (Geliştirilmiş rijitleştirilmiş metod)
- Rüzgar Etkisi (Dinamik olarak hassas yapılar için geliştirilmiş metod)

Bu bölümde iki yöntem (Geliştirilmiş rijitleştirilmiş metod ve dinamik olarak hassas yapılar için geliştirilmiş metod) yapı için incelenecektir.

1-A Geliştirilmiş rijitleştirilmiş metod

Rüzgar etkisi faktörü ($G = 0.85$) olarak sınır değeri belirlenmiştir. Denklem 3.39 ve denklem 3.40 formüller ve formüllerin paramaterlerine bağlı olarak hesaplanan değer 0.85 değerine yakın yada daha az olması istenmektedir.

$$G = 0.925 \cdot \left(\frac{1+1.7g_q Q_{I_z'} Q}{1+1.7g_v I_z} \right) \text{ (ASCE 7-10 Bölüm-26 Denk. 26.9-17)} \quad (3.39)$$

$$I_z = C \cdot \frac{33}{Z'} \quad (\text{ASCE 7-10 Bölüm-26 Denk. 26.9-3}) \quad (3.40)$$

Z' = Yapının eşdeğer yüksekliği

$$g_q, g_v = \text{Değer olarak } 3.4 \text{ alınmalıdır.} \quad (\text{ASCE 7-10 Bölüm-26 Table 6.2}) \quad (3.41)$$

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.63 \cdot (B + h / (Z')^{0.63})}} \quad (\text{ASCE 7-10 Bölüm-26 Denk. 26.9-17}) \quad (3.42)$$

$$L_{Z'} = l(Z' / 33)^{\epsilon'} \quad (\text{İntegral Uzunluğu}) \quad (3.43)$$

$$\epsilon' = \text{Sabit değer} \quad (\text{ASCE 7-05 Table 4.2}) \quad (3.44)$$

Yüksek yapı için hesap aşaması

Yükseklik (H) = 69 m

Rüzgar doğrultusuna dik kenar uzunluğu (B) = 30m

Maruz kalma kategorisi: B

Rüzgar Hızı = 24.416 m/sn

Topografik Faktör = 1.0

Rüzgara paralel kenar uzunluğu = 15m

Bina doğal titreşim periyodu = 0.3197 Hz

$$Z' = 0.6 \cdot h = 0.6 \cdot 69 \text{ m} = 41.4 \text{ m}$$

$$I_z = 0.3 \cdot \frac{33}{41.4} = 0.1925$$

$$\epsilon' = 3.0$$

$$L_{Z'} = 320 \left(\frac{41.4}{33} \right)^{3.0} = 345 \text{ m}$$

Arka plan davranışı

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.63 \cdot (15 + 69 / (345)^{0.63})}} = 0.902$$

Rüzgar etkisi faktörü (gust affect factor)

$$G = 0.925 \cdot \left(\frac{1+1.7g_q Q I_{z'} Q}{1+1.7g_v I_z} \right) \quad (\text{ASCE 7-10 Bölüm-26 Denk. 26.9-17}) \quad (3.45)$$

$$G = 0.925 \cdot \left(\frac{1+1.7 \cdot 3.4 \cdot 0.1925 \cdot 0.902}{1+1.7 \cdot 3.4 \cdot 0.1925} \right) = 0.877$$

$$\text{Rüzgar etkisi faktörü (G)} = 0.877$$

Genel olarak ASCE 7-10 ‘a göre rijit binalar için temel frekans değeri 1 Hz ‘ e eşit ve 1 Hz’ den küçük olmalıdır. Ek olarak görüldüğü üzere rüzgar etkisi faktörü sonucu, rijit yapılar için izin verilen G=0.85'den çok farklı olmadığı anlaşılmaktadır. Rüzgar etkisi yapıda rezonans ve titreşimden kaynaklı sorunlara yol açmamaktadır.

2-Dinamik olarak hassas yapılar için geliştirilmiş metod (G_f)

Rüzgar Hızı : (V) (m/sn)

Maruz kalma kategorisi: B

Bina doğal titreşim periyodu = 0.3197 Hz

Bina sönüm oranı = 0.05

Genel olarak ASCE 7-10 ‘a göre rijit binalar için temel frekans değeri 1 Hz’e eşit ve 1 Hz’ den küçük olmalıdır. Rüzgra faktörü formülü aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$G_f = 0.925 \cdot \left(\frac{1+1.7I_{x'} \sqrt{g_q^2 \cdot Q^2 + g_R^2 R^2}}{1+1.7g_v I_{z'}} \right) \quad (\text{ASCE 7-10 Bölüm-26 Denk. 26.9-17}) \quad (3.46)$$

$$g_q, g_v = \text{Değer olarak 3.4 alınmalıdır. (ASCE 7-10 Bölüm-26 Table 6.2)} \quad (3.47)$$

$$g_R = \sqrt{2 \ln(3600n1) + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln(3600n1)}}} \quad (\text{ASCE 7-10 Bölüm-26 Denk. 26.9-14}) \quad (3.48)$$

Rezonans durum faktörü (R)

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} \cdot R_n \cdot R_h \cdot R_B \cdot (0.53 + 0.47 \cdot R_L)} \quad (\text{ASCE 7-10 Bölüm-26 Denk. 26.9-15})$$

$$R_n = \frac{7.47 + N_t}{(1 + 10.3 \cdot N_t)^{5/3}} \quad (\text{ASCE 7-10 Bölüm-26 Denk. 26.9-15}) \quad (3.49)$$

$$N_t = \frac{n_1 \cdot L_{z'}}{V'_z} \quad (\text{ASCE 7-10 Bölüm-26 Denk. 26.9-15}) \quad (3.50)$$

$$R_L = \frac{1}{n} - \frac{2}{2.n^2} (1 - e^{-2n}), n > 0 \text{ için (ASCE 7-10 Bölüm-26 Denk. 26.9-15)}$$

$$\cap_1 = \frac{6.6.n_1.h}{V'_{z'}} = R_h \quad (3.51)$$

$$\cap_2 = \frac{6.4.n_1.\beta}{V'_{z'}} = R_\beta \text{ Not : } \beta \text{ sönüm oranıdır.} \quad (3.52)$$

$$\cap_3 = \frac{15.4.n_1.L}{V'_{z'}} = R_L \quad (3.53)$$

$$V'_{z'} = b'. \left(\frac{z'}{33} \right)^{a'}. V \quad (3.54)$$

Not : $V'_{z'}$ yükseklik ile orantılı ortalama rüzgar hızını temsil eder.

Not : b' ve z' ASCE 7 – 05 Tablo 4.10 ' dan alınmıştır.

Yüksek yapı için hesap aşaması

Yükseklik (H) = 69 m

Rüzgar doğrultusuna dik kenar uzunluğu (B) = 30m

Maruz kalma kategorisi: B

Rüzgar Hızı = 28.0 m/sn

Topografik Faktör = 1.0

Rüzgara paralel kenar uzunluğu = (L) = 15m

Bina doğal titreşim periyodu = (n_1) = 0.3197 Hz

Sönüm oranı : (β) = 0.05

Rüzgar etkisi hesabı (Gust Effect)

$$V_{\text{rüzgar}} = V. 1.467 = 28.1.467 = 41.08 \text{ m/sn}$$

$$z' = 0.6.h = 0.6.69m = 41.4m$$

$$z' = 41.4m > z'_{\min} = 15.0.31 = 4.5 m \quad OK$$

$$I_{z'} = C. \left(\frac{33}{z} \right)^{\frac{1}{6}} = 0.3. \left(\frac{33}{41.4} \right)^{\frac{1}{6}} = 0.288 \text{ (ASCE 7-05 Bölüm-4 Denk. 4.2)} \quad (3.55)$$

Not : C ve l ASCE 7 – 05 Tablo 6.4 ' den alınmıştır.

$$L_{Z'} = l(Z'/33)^{\epsilon'} \quad (\text{İntegral Uzunluğu})$$

$$\epsilon' = \text{Sabit değer} \quad (\text{ASCE7-05 Table 4.2})$$

$$L_{Z'} = 320(41.4/33)^{1/3} = 97.066\text{m}$$

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1+0.63.(B+h)/(Z')^{0.63}}} \quad (\text{ASCE 7-10 Bölüm-26 Denk. 26.9-17}) \quad (3.56)$$

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1+0.63.(15+69)/(L_{Z'})^{0.63}}} = 0.467$$

$$V'_{Z'} = 0.45. \left(\frac{41.4}{33}\right)^{1/4}. 28 = 13.33 \text{ m/sn}$$

$$N_1 = \frac{n_1 \cdot L_{Z'}}{V'_{Z'}} = \frac{0.3197 \cdot 97.066}{13.33} = 2.32 \quad (3.57)$$

$$R_n = \frac{7.47 \cdot N_1}{(1 + 10.3 \cdot N_1)^{5/3}} \quad (3.58)$$

$$R_n = \frac{7.47 \cdot 2.32}{(1 + 10.3 \cdot 2.32)^{5/3}} = 0.0817$$

$$\kappa_b = \frac{4.6 \cdot n_1 \cdot B}{V'_{Z'}} \quad (3.59)$$

$$\kappa_b = \frac{4.6 \cdot 0.3197 \cdot 30}{13.33} = 3.308$$

$$R_B = \frac{1}{\kappa_b} - \frac{1}{2 \cdot \kappa_b^2} (1 - e^{-2\kappa_b}) \quad (3.60)$$

$$R_B = \frac{1}{3.308} - \frac{1}{2 \cdot 3.308^2} (1 - e^{-2 \cdot 3.308}) = 0.295$$

$$\kappa_L = \frac{15.4 \cdot n_1 \cdot L}{V'_{Z'}} \quad (3.61)$$

$$\kappa_L = \frac{15.4 \cdot 0.3197 \cdot 15}{13.33} = 5.54$$

$$R_L = \frac{1}{\rho_L} - \frac{1}{2 \cdot \rho_L^2} (1 - 2.74^{-2\rho_L}) \quad (3.62)$$

$$R_L = \frac{1}{5.54} - \frac{1}{2 \cdot 5.54^2} (1 - 2.74^{-2 \cdot 5.54}) = 0.1645$$

$$\rho_h = \frac{4.6 \cdot n_1 \cdot h}{V_{z'}} \quad (3.63)$$

$$\rho_h = \frac{4.6 \cdot 0.3197 \cdot 69}{31.37} = 3.234$$

$$R_H = \frac{1}{\rho_h} - \frac{1}{2 \cdot \rho_h^2} (1 - e^{-2\rho_h}) \quad (3.64)$$

$$R_H = \frac{1}{3.234} - \frac{1}{2 \cdot 3.234^2} (1 - 2.74^{-2 \cdot 3.234}) = 0.262$$

$$R^2 = \frac{1}{\beta} \cdot (R_n \cdot R_H \cdot R_B (0.53 + 0.47 \cdot R_u)) \quad (3.65)$$

$$R = \sqrt{\frac{1}{0.05} \cdot (0.0817 \cdot 0.262 \cdot 0.295 (0.53 + 0.47 \cdot 0.093))} = 0.060$$

$$g_r = \sqrt{2 \ln(3600 n_1) + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln(3600 n_1)}}} = 3.908 \quad (\text{ASCE 7-10 Bölüm-26 Denk. 26.9-14})$$

Rüzgar etkisi (Gust Effect G_f)

$$G_f = 0.925 \cdot \left(\frac{1 + 1.7 \cdot 0.288 \sqrt{3.4^2 \cdot 0.467^2 + 3.908 \cdot 0.060^2}}{1 + 1.7 \cdot 3.4 \cdot 0.288} \right) = 0.667$$

Kıyaslamak için referans formüle göre de değer hesaplanmalıdır:

$$G = 0.925 \cdot \left(\frac{1 + 1.7 \cdot g_Q \cdot I_{z'} \cdot Q}{1 + 1.7 \cdot g_V \cdot I_{z'}} \right) = 0.925 \cdot \left(\frac{1 + 1.7 \cdot 3.4 \cdot 0.1925 \cdot 0.467}{1 + 1.7 \cdot 3.4 \cdot 0.1925} \right) = 0.665$$

Görüldüğü üzere referans değeri ile yapı içi özel olarak bulunan değerler birbirlerine çok yakındır, bu durum dinamik açıdan hassas yapı için rüzgar etkisinin sorun olmadığını göstermektedir.

İvmesel kontrol (konfor koşulu)

Rüzgarın esme yönünde ve esme yönüne karşı şekilde yapı da rüzgarın dinamik etkisi dikkate alınmalıdır. Rüzgar etkisiyle yapıda üst katlarda ivmelenme oluşabilir.

Bu durum da konfor koşulunun kontrolünü gerektirmektedir. Dolayısıyla bu durum rüzgarın esme yönünde ve karşı yönü olacak şekilde incelenecektir.

Rüzgarın esme yönünde, üst katlar için ivme ve yerdeğiştirme kontrolü ASCE 7-10' a göre yapılmıştır. Rüzgarın esme yönüne karşı yönde ise NBC (National Building Code Of Canada)'ya göre kontrol edilmiştir.

Durumlar:

Rüzgar etkisi + Rüzgarın esme yönündeki etki (Gust Effect +Along Wind Response)

Rüzgar etkisi + Rüzgarın esme yönündeki etki (Gust Effect +Across Wind Response)

Durumlar incelendikten sonra kıyas edilecek en önemli parametre pik ivme değeri olacaktır. Bu iki durum için bulunan ivme değerlerinden en büyüğü pik ivme olarak kabul edilecektir. Bu pik ivme değeri de ASCE 7- 10 'a ve NBC ' ye göre verilen sınır değerlerinden düşük olmalıdır.

Rüzgarın esme yönündeki etki

Maksimum deplasaman

$$X_{\max}(z) = \frac{\emptyset(z) \cdot \rho \cdot B \cdot h \cdot C_{fx} \cdot V^2}{3 \cdot m_1 \cdot (2 \cdot \pi \cdot n_1)^2} \quad (3.66)$$

$\emptyset(z)$ = Mod şekli

ρ = Hava yoğunluğu

C_{fx} = Rüzgarın esme yönündeki ortalama kuvvet katsayısı

m_1 = Model kütlesi

$$m_1 = \int_0^h \mu(z) \cdot \emptyset^2(z) \cdot dz$$

$$\Delta = \text{Yanal öteleme (mm)} = 0.00435gm = \frac{\Delta}{h} = \frac{0.00435gm}{69m} = \frac{6.3}{100000}$$

İvme

$$\sigma'(x)(z) = \frac{0.85 \cdot \phi(z) \cdot \rho \cdot B \cdot h_1 \cdot C_{fx}(V_z)^2 \cdot I_z \cdot K \cdot R}{M_1} \quad (3.67)$$

$$R^2 = \frac{1}{\beta} \cdot (R_n \cdot R_H \cdot R_B (0.53 + 0.47 \cdot R_u)) \quad (3.68)$$

$$R = \sqrt{\frac{1}{0.05} \cdot (0.0817 \cdot 0.262 \cdot 0.295 (0.53 + 0.47 \cdot 0.093))} = 0.060$$

$$K = \frac{1.65^\alpha}{\alpha + n + 1} = 0.5 \quad (3.69)$$

$$I_{z'} = C \cdot \left(\frac{33}{z}\right)^{\frac{l}{6}} = 0.3 \cdot \left(\frac{33}{41.4}\right)^{\frac{1}{6}} = 0.288 \quad (\text{ASCE 7-05 Bölüm-4 Denk. 4.2}) \quad (3.70)$$

Not : C ve l ASCE 7 – 05 Tablo 6.4 ' den alınmıştır.

$$\sigma'(x)(z) = \frac{0.85 \cdot 1.0 \cdot 1.225 \cdot 30.69 \cdot 1.3 \cdot (41.08)^2 \cdot 0.288 \cdot 0.5 \cdot 0.060}{9087811.29}$$

$$\sigma'(x)(z) = 0.049 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Maksimum ivme

$$g''_x = \sqrt{2 \ln(n_1 \cdot T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \ln(n_1 \cdot T)}} = 3.8 \quad (3.71)$$

$$X''_{\max}(z) = g''_x \cdot \sigma'(x)(z) \quad (3.72)$$

$$X''_{\max}(z) = 3.8 \cdot 0.049 = 0.1862 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$X''_{\max}(z) = 0.20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 19.21 \text{ mg} \leq 20 \text{ mg}$$

Görüldüğü üzere rüzgar etkisi yönünde elde edilen maksimum ivme değeri 19.47 mg olarak bulunmuştur. Verilen sınır değerinden bu değer düşüktür ve konfor koşulu ivmesel olarak uygundur.

Rüzgarın esme yönüne zıt yöndeki etki (NBCC Code)

Rüzgar esme yönüne zıt yöndeki etki sonucunda oluşacak maksimum ivme

$$a_w = n_w^2 \cdot g_p \cdot \sqrt{w \cdot D} \cdot \frac{a_r}{\rho_B \cdot g \cdot \sqrt{\beta \cdot w}} \quad (3.73)$$

g_p = İstatiksel olarak pik yükleme faktörü

g = Yer çekimi ivmesi

a_r = Rüzgarın esme yönüne zıt ivme değeri

w, D = Rüzgarın esme yönüne zıt kalıp planı boyutları

ρ_B = Binanın birim kütlesi kg/m^3

D = Bina derinliği (rüzgar esme yönüne paralel)

n_w = Bina doğal frekansı

β = Yapı sönüm oranı

V_H = Ortalama rüzgar hızı

$n_w = n_D = 0.3197 \text{ Hz}$

$\beta_w = \beta_D = 0.05$

$$\rho_B = 291.03 \frac{kg}{m^3}$$

$$a_r = 78.5 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\frac{V_H}{n_w \cdot \sqrt{w \cdot D}} \right]^{3.3} \quad (3.74)$$

$$V_H = V' \cdot \sqrt{C_c \cdot H} \quad (3.75)$$

$$V_H = 28 \cdot \sqrt{2.17} = 41.24 \frac{m}{sn}$$

$$a_r = 78.5 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\frac{41.24}{0.3197 \cdot \sqrt{30.15}} \right]^{3.3} = 30.33 \frac{m}{sn}$$

$$a_w = n_w^2 \cdot g_p \cdot \sqrt{w \cdot D} \cdot \frac{a_r}{\rho_B \cdot g \cdot \sqrt{\beta \cdot w}} \quad (3.76)$$

$$a_w = (0.3197)^2 \cdot 3.6 \cdot \sqrt{30 \times 15} \cdot \left(\frac{30.33}{291.03 \cdot 9.81 \sqrt{0.05}} \right) = 0.370 \text{ m/sn}^2$$

Rüzgar esme yönüne zıt yöndeki etki sonucunda oluşacak maksimum ivme

$$a_w = 0.370 \text{ m/sn}^2$$

Kabul edilen limit değerini aşma yüzdesi ise

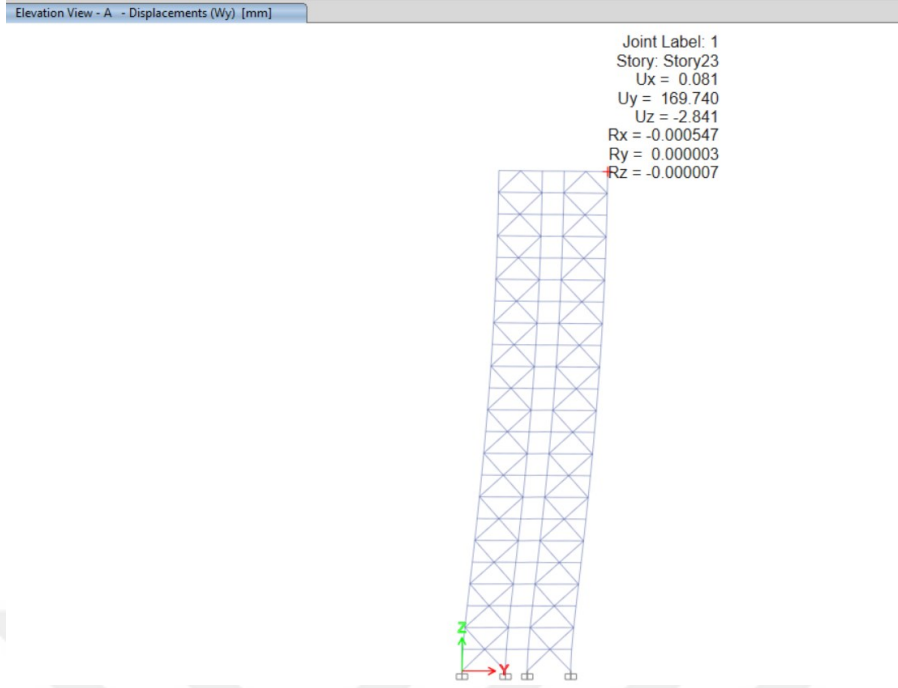
$$\frac{a_w}{g} = \frac{0.370 \text{ m/sn}^2}{9.81 \text{ m/sn}^2} \cdot 100 = \%3.7 \quad (3.77)$$

3.9 Rüzgâr Kuvveti Etkisine Bağlı Tepe Noktası Yerdeğiştirme Değeri Kontrolü

Tepe noktası yerdeğiştirme sınır değerleri genel olarak çok katlı yüksek binalarda, binada kullanılan cephe kaplaması tipine ve cephede kullanılan malzeme tipine doğrudan bağlı olmaktadır.

Yapılarda kullanılan sınır değeri genel olarak, binanın toplam yüksekliğinin 1/100 ‘ ü ile 1/600 arasında değişkenlik göstermektedir.

Bu tezde kullanılacak olan sınır değeri ise H/400 olarak seçilmiştir. Yatay rüzgar kuvveti etkisi altında yapının en üst katında meydana gelecek olan tepe noktası yer değiştirme değeri Şekil 3.31 ‘ de verilmiştir.



Şekil 3. 30 : Tepe noktası yer değıştirme değeri [mm].

$$\delta_{WL} = 169.74 \text{ mm} < H/400 = 172.5 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

3.10 Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Boyutlandırılması - (Ön Boyutlandırma) Hesapları

Taşıyıcı sistem elemanlarına ait gerekli dayanım hesapları, ÇYTHYE 2016 6.3'te açıklanan genel analiz yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, elemanların gerekli dayanımları, azaltılmış eleman rijitlikleri ve ikinci mertebe etkilerinin gözönünde bulundurulduğu durumlar ile gerçekleştirilen yapısal analizler ile elde edilmektedir. İkinci mertebe etkileri ÇYTHYE 2016 6.2'de açıklanan doğrudan analiz yöntemi kullanılarak dikkate alınacaktır. Tezin bu bölümünde taşıyıcı sistem modellemesi ve analizi tamamlan kolon, kiriş ve burkulması önlenmiş çelik çaprazların boyutlandırma hesapları yapılacaktır.

Boyutlandırma hesaplarında TBDY 2018 Bölüm 9'dan ve ÇYTHYE 2016'dan faydalanılacaktır. Ek olarak boyutlandırma hesaplarında YDKT 'ye göre tasarım adımları izlenecektir.

3.10.1 Kiriş tasarımı (sadece düşey yük aktaran kirişlerin ve tali kirişlerin boyutlandırılması)

3.10.1.1 İkincil (tali) kiriş tasarımı

Kirişler, genel olarak eğilme etkisine karşı çalışan yapısal elemanlardır. Ancak, eğilme etkisi ve normal kuvvet etkisinde birlikte bulunduğu durumlara çalışan kirişler de mevcuttur. Bu tip kirişlerin hesabı için ÇYTHYE 2016 Bölüm 11 – Birleşik Kuvvetler ve Burulma Etkisindeki Elemanların Tasarımı, kısmındaki esaslar kullanılacaktır. ÇYTHYE 2016 Bölüm 6'da belirtilen kurallar, yapısal analiz denge denklemleri üzerindeki etkisini dikkate alan ikinci mertbe analizi içermelidir. Bu hesaplamalar, yapısal elemanların enkesitlerinde ve sistemin genel bütününde meydana gelen geometri değişimlerinin yapısal analiz denge denklemleri üzerindeki etkisini göz önünde bulundurarak yapılmalıdır. Bu tez çalışmasında yer alan kirişlerin tümü iki ucu mafsallı olacak şekilde kolonlara bağlanmıştır. Ek olarak kirişlerin üzerinde trapez rijit döşeme olacağı varsayıldığından, kirişlerin basınç etkisi altındaki durumu için üst başlıkları tutulu olarak kabul edilmiştir. Yüksek lisans tezinin ilk aşamasında, ana çerçeve kirişleri olarak mafsallı mesnetlenmiş yapısal elemanların ve bu yapısal ana kirişlere ek olarak deprem yüklerinin etki etmediği normal kat ikincil döşeme kirişlerinin düşey yükler etkisindeki davranışı incelenecektir.

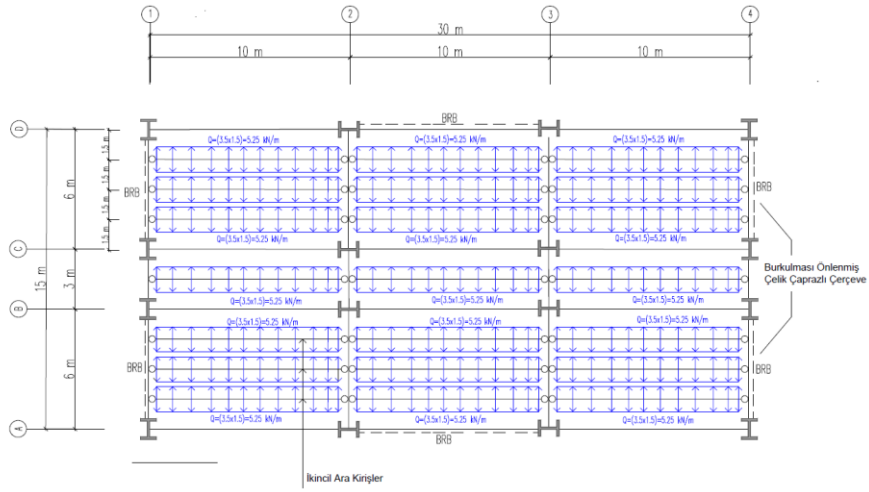
Çelik Sınıfı :

S355 $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$ $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$ (ÇYTHYE Tablo 2.1A)

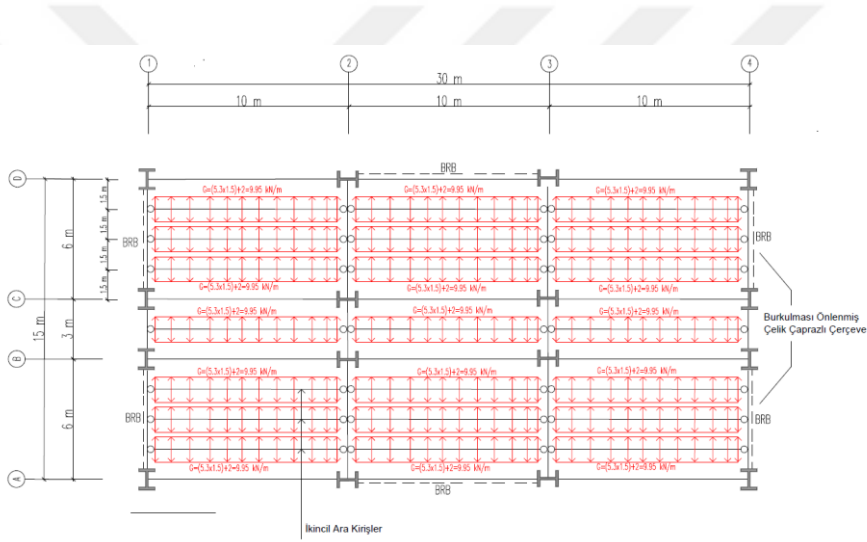
Kesit Özellikleri:

Çizelge 3. 41 : IPE 450 profil enkesit karakteristikleri.

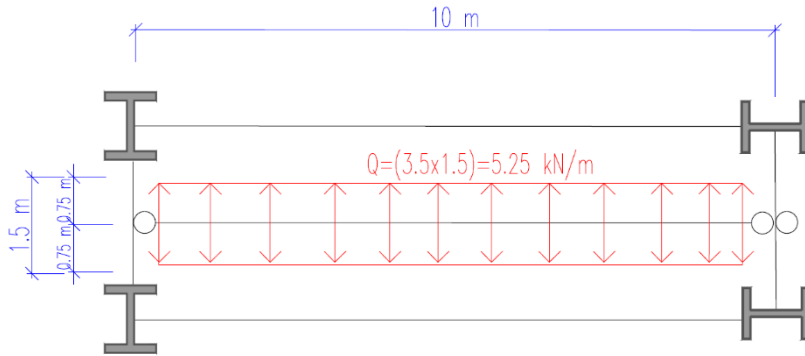
IPE 450			
$I_x = 33740 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 1500 \text{ cm}^3$	$i_x = 184.8 \text{ mm}$	$C_w = 791.6 \text{ cm}^6$
$t_f = 14.6 \text{ mm}$	$I_y = 1676 \text{ cm}^4$	$W_{px} = 1702 \text{ cm}^3$	$b_f = 190 \text{ mm}$
$d = 378.8 \text{ mm}$	$A = 98.82 \text{ cm}^2$	$F_y = 355 \text{ N/mm}^2$	$i_y = 41.12 \text{ mm}$
$t_w = 9.4 \text{ mm}$	$h = 450 \text{ mm}$	$J = 66.87 \text{ cm}^4$	$W_{ey} = 176.4 \text{ cm}^3$
$F_u = 430 \text{ N/mm}^2$			



Şekil 3. 31 : İkincil kirişlere etkiyecek yük dağılım mekanizması (G-Sabit Yük).



Şekil 3. 32 : İkincil kirişlere etkiyecek yük dağılım mekanizması (Q-Hareketli Yük).



Şekil 3. 33 : İkincil kirişlere etkiyecek yük dağılımı prensibi (G-Sabit Yük).

Üç boyutlu analitik model analizleri sonucunda, sabit ve hareketli düşey yükler etkileri altında ikincil tali kirişinde oluşan iç kuvvetler hesaplanmış ve Çizelge 3.45’de belirtilmiştir.

Yük kombinasyonları

Çizelge 3. 42 : İkincil kirişlere etkiyecek dizayn çizgisel yük değerleri.

Yük Kombinasyonları	P _d (kN/m)
1.4 G	13.93
1.2G+1.6Q	20.34
G+Q	15.2

1.4G için :

$$M_u = \frac{P_d l^2}{8} = \frac{13.93 \cdot 10^2}{8} = 174.12 \text{ kNm}$$

$$V_u = \frac{P_d l}{2} = \frac{13.93 \cdot 10}{2} = 69.65 \text{ kN}$$

1.2G +1.6 Q için :

$$M_u = \frac{P_d l^2}{8} = \frac{20.34 \cdot 10^2}{8} = 254.25 \text{ kNm}$$

$$V_u = \frac{P_d l}{2} = \frac{20.34 \cdot 10}{2} = 101.7 \text{ kN}$$

G +Q için :

$$M_u = \frac{P_d l^2}{8} = \frac{15.2 \cdot 10^2}{8} = 190 \text{ kNm}$$

$$V_u = \frac{P_d l}{2} = \frac{15.2 \cdot 10}{2} = 76 \text{ kN}$$

Çizelge 3. 43 : İkincil (Tali) kirişinde oluşan iç kuvvetler.

Eksenel Yük	Kesme Kuvveti	Eğilme Momenti
P _u = 0 kN	V _u = 101.7 kN	M _u = 254.25 kNm

Servis limit kullanılabilirlik kontrolü (G+Q)

Yapı elemanlarında yer değiştirme değerleri sınırlandırılmalıdır. Deplasman değerleri için G+Q yük kombinasyonuna göre değerlendirilme yapılacaktır.

Sınırlandırma koşulları olarak International Building Code 2018 (IBC 2018) dikkate alınmıştır.

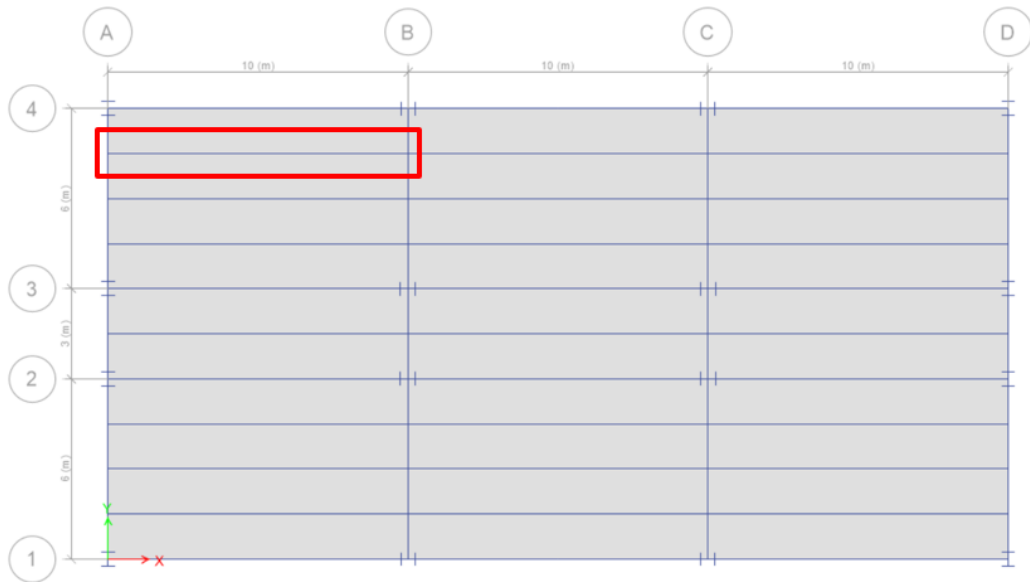
Çizelge 3.46’da görüldüğü üzere yapıda ikincil kirişlerde ve çerçeve ana kirişlerinde göz önünde bulundurulacak sınır değerler belirtilmiştir.

Çizelge 3. 44 : IBC 2018 tablo 1604.3’ e göre alınacak deplasman koşulu limit değeri.

Yapısal Sistem	Q	Q veya W	G+Q
Kiriş	L/360	-	L/240

$$G + Q = \frac{5xqxL^4}{384xExI} = \frac{5x15.2x(10000)^4}{384x(200000)xI_x} \leq \frac{L}{240} = \frac{10000}{240}$$

$$I_x \geq 23750 \times 10^4 \text{ mm}^4 \quad (\text{IPE 450) profil sağlamaktadır.})$$



Şekil 3. 34 : Tasarımı yapılan ikincil (Tali) kirişi.

TBDY 2018 9.3.1.4’e göre:

Kırmızı çerçeve ile işaretlenen, tasarımı yapılması planlanan ikincil (tali) kirişi için gerekli dayanımlar, 1.2G+1.6Q yük birleşiminden elde edilmiştir. Kesme kuvveti,

eksenel kuvvet ve eğilme momenti dayanımları, bu yük kombinasyonundan elde edilen en düşük dayanımlardır. Değer olarak çok küçük olduğundan dolayı gerekli eksenel kuvvet dayanımı, boyutlandırma hesaplamalarında dikkate alınmamıştır.

ÇYTHYE 2016 5.4.1'e göre, kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Enkesit koşullarının kontrolü

Yerel burkulma sınırına göre enkesitin gövde ve başlık parçalarının genişlik ve kalınlık oranları kontrolü

Başlık parçası:

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = 6.5$$

$$\lambda = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 9.0195 \quad \text{"Başlık Kompaktır."}$$

Gövde parçası:

$$\frac{h}{t_w} = 47.87 < 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{"Gövde Kompaktır."}$$

$$\frac{h}{t_w} = 89.246$$

Bu durumlara göre, M_n hesaplanacaktır.

M_n , (M_d) eğilme momenti dayanımları

$$M_n = F_y W_{px} = 604.21 \text{ kNm}$$

Kirişin dizayn eğilme momenti dayanımı kontrolü

1.2G + 1.6Q kombinasyonundan elde edilen eğilme momenti dayanımı, M_d ,

$$M_u = 254.25 \text{ kNm}$$

$$M_d = \phi_b M_n = 543.8 \text{ kNm}$$

Güvenlik Faktörü Katsayısı:

$$\frac{M_u}{M_d} = 0.467 \quad \text{"Enkesit Eğilme Dayanımı Uygun"} .$$

Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

ÇYTHYE 2016 10.2 'ye göre kirişin kesme kuvveti dayanımı

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v \quad (3.78)$$

$$C_v = \frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.00 \quad (3.79)$$

$$\phi_v = \frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.00 \quad (3.80)$$

$$A_w = dt_w = 35.6 \text{ cm}^2 \quad (3.81)$$

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v = 758.4 \text{ kN}$$

1.2G + 1.6Q yük birleşimi ile elde edilen gerekli kesme kuvveti dayanımı, V_d ,

$$V_u = 101.7 \text{ kN}$$

$$V_d = \phi_v V_n = 758.4 \text{ kN}$$

Güvenlik Faktörü Katsayısı:

$$\frac{V_u}{V_d} = 0.135 \text{ "Enkesit Kesme Dayanımı : Uygundur."}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

Kiriş elemanının üst başlığı, başlıklı çelik ankrajlar yardımıyla kiriş boyunca yanal doğrultuda sürekli olarak desteklidir. Bu duruma göre; akma sınır durumundaki karakteristik eğilme momenti ve tasarım eğilme momenti dayanımı, yanal burulmalı burkulma sınır durumundaki karakteristik ve tasarımsal dayanıma eşit olacağı anlaşılmaktadır.

$$M_p = M_n$$

Fakat başlıklı çelik ankrajlardan oluşan trapez döşemenin imalatı tamamlanana kadar yanal burulmalı burkulma sınır durumunun da kontrolü yapılacaktır.

Kompozit döşeme imalatlı kaynaklı gelecek ek yüklemeler

Çizelge 3. 45 : İkincil kirişlere ekstra etkiyecek döşeme imalat yükleri.

Yük Durumları	Yük Değeri (kN/m ²)
Sabit Yük	2
Hareketli Yük	1

Trapez döşemeden dolayı ekstra gelecek olan imalat yükleri etkisinde ikincil (tali) kirişinde yeni oluşacak olan moment ve kesme yük değerleri aşağıda verildiği gibidir.

1.4G için

$$G = 2.0 \times 0.75 + 2.0 \times 0.75 = 3.0 \text{ kN/m}$$

$$Q = 1.0 \times 0.75 + 1.0 \times 0.75 = 1.5 \text{ kN/m}$$

$$P_d = 1.4 \times 3.0 = 4.2 \text{ kN/m}$$

$$M_u = \frac{P_d l^2}{8} = \frac{4.2 \cdot 10^2}{8} = 52.5 \text{ kNm}$$

$$V_u = \frac{P_d l}{2} = \frac{4.2 \cdot 10}{2} = 21 \text{ kN}$$

Çizelge 3. 46 : İkincil (Tali) kirişinde oluşan döşeme imalatı kaynaklı iç kuvvetler.

Eksenel Yük	Kesme Kuvveti	Eğilme Momenti
$P_u = 0 \text{ kN}$	$V_u = 21.0 \text{ kN}$	$M_u = 52.5 \text{ kNm}$

1.2G+1.6Q için

$$G = 2.0 \times 0.75 + 2.0 \times 0.75 = 3.0 \text{ kN/m}$$

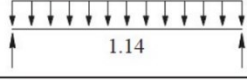
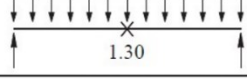
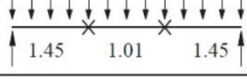
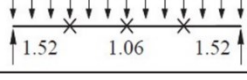
$$Q = 1.0 \times 0.75 + 1.0 \times 0.75 = 1.5 \text{ kN/m}$$

$$P_d = 1.2 \times 3.0 + 1.6 \times 1.5 = 6 \text{ kN/m}$$

$$M_u = \frac{P_d l^2}{8} = \frac{6 \cdot 10^2}{8} = 75 \text{ kNm}$$

$$V_u = \frac{P_d l}{2} = \frac{6 \cdot 10}{2} = 30 \text{ kN}$$

TBDY 2018 Bölüm 9 ‘a göre

$C_b = \frac{12.5M_{maks}}{2.5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (9.1)$		
Kiriş boyunca düzgün yayılı yük	Açıklıkta yanal destek yok	
Kiriş boyunca düzgün yayılı yük	Açıklık ortasında yanal destek var	
Kiriş boyunca düzgün yayılı yük	Açıklığın 1/3 noktalarında yanal destek var	
Kiriş boyunca düzgün yayılı yük	Açıklığın 1/4 noktalarında yanal destek var	

Şekil 3. 35 : TBDY 2018 Bölüm 9 Denklem 9.1 – Moment düzeltme katsayısı.

$C_b = 1.14$ (Momnet Düzeltme Katsayısı -Basit mafsallı kiriş).

$L_b = 10000$ mm (Kirişin burkulmasının engellenmiş olduğu eleman uzunluğu).

$$L_p = 1.76 \cdot i_y \cdot \sqrt{E/F_y} \quad (3.82)$$

$$L_p = 1.76 \times 41.1 \times \sqrt{200000/355} = 1766.8 \text{ mm}$$

Etkin atalet yarıçapı

$$i_{ts} = \frac{b}{\sqrt{12 \cdot (1 + \frac{h \cdot t_w}{6 \cdot b \cdot t_f})}} \quad (3.83)$$

$$i_{ts} = \frac{190}{\sqrt{12 \times (1 + \frac{450 \times 9.4}{6 \times 190 \times 14.6})}} = 48.97 \text{ mm}$$

Elastik olmayan yanal burulmalı burkulmada sınır uzunluk

$$L_r = 1.95 \cdot i_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 \cdot F_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{W_{ex} \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{W_{ex} \cdot h_0}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{E}{0.7 \cdot F_y}\right)^2}} \quad (3.84)$$

L_r

$$= 1.95 \cdot 48.97 \cdot \frac{200000}{0.7.355} \cdot \sqrt{\frac{(66.87) \times 10^4 \cdot 1.0}{1500 \times 10^3 \cdot 418} + \sqrt{\left(\frac{(66.87) \times 10^4 \cdot 1.0}{1500 \times 10^3 \cdot 418}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{200000}{0.7.355}\right)^2}}$$

$$L_r = 7982.96 \text{ mm}$$

$L_b = 10000 \text{ mm} > L_r = 7982.96 \text{ mm}$ olduğu için

Karakteristik eğilme momenti dayanımı $= M_n = F_{cr} \cdot W_{px}$

$$F_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_b}{i_{ts}}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + 0.78 \cdot \frac{J_c}{W_{ex} \cdot h_0} \cdot \left(\frac{L_b}{i_{ts}}\right)^2} \quad (3.85)$$

$$F_{cr} = \frac{1.14 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{10000}{48.97}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + 0.78 \cdot \frac{(66.87) \times 10^4}{1500 \times 10^3 \cdot 418} \cdot \left(\frac{10000}{48.97}\right)^2} = 322.16 \text{ N/mm}^2$$

$$M_n = F_{cr} \cdot W_{px} = 322.96.1702 \times 10^3 = 548.3 \text{ kN/m}$$

$$\text{Güvenlik Faktörü Katsayısı} = \frac{M_u}{M_n} = \frac{75 \text{ kNm}}{548.3 \text{ kNm}} = 0.14 \text{ (OK)}$$

İkincil tali kirişlerin kesitleri ve kapasite oranları EK F ' de kapasite oranları ile birlikte verilmiştir.

3.10.1.2 Çerçeve sistem kirişi (6m' lik)

Bu kısımda herhangi bir burkulması önlenmiş çaprazın bağlanmadığı, sadece düşey yükler etkisinde çalışan çerçeve sistem kirişlerinin davranışı incelenecektir.

Çelik Sınıfı :

$$S355 \quad F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{ÇYTHYE 2016 Tablo 2.1A})$$

Kesit Özellikleri:

Çizelge 3. 47 : HEB 360 profil enkesit karakteristikleri.

HEB 360			
$I_x = 43190 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 2400 \text{ cm}^3$	$i_x = 154.6 \text{ mm}$	$C_w = 2883 \text{ cm}^6$
$t_f = 22.5 \text{ mm}$	$I_y = 10140 \text{ cm}^4$	$W_{px} = 2683 \text{ cm}^3$	$b_f = 300 \text{ mm}$
$d = 261 \text{ mm}$	$A = 180.60 \text{ cm}^2$	$F_y = 355 \text{ N/mm}^2$	$i_y = 74.9 \text{ mm}$
$t_w = 12.5 \text{ mm}$	$h = 360 \text{ mm}$	$J = 292.5 \text{ cm}^4$	$W_{ey} = 676.1 \text{ cm}^3$
$F_u = 430 \text{ N/mm}^2$			

Sadece düşey yükler etkisinde olan çerçeve sistem kirişlerinde oluşan en elverişsiz iç kuvvet değerleri Etabs yapısal analiz programından $1.2(G + NG) + 1.6(Q + NQ) + 0.5(Q_r + NQ_r) + 1.6S + T$ kombinasyonundan elde edilmiştir. Bu kombinasyondan elde edilen değerlere bağlı olarak boyutlandırma işlemi yapılmıştır. Boyutlandırma işlemlerine ek olarak kullanılabilirlik sınır durumu da kontrol edilmiştir.

Çizelge 3. 48 : Çerçeve Sistem kirişinde oluşan iç kuvvetler.

Eksenel Yük	Kesme Kuvveti	Eğilme Momenti
$P_u = 0 \text{ kN}$	$V_u = 163.2 \text{ kN}$	$M_u = 238.4 \text{ kNm}$

Servis limit kullanılabilirlik kontrolü (G+Q)

Çizelge 3.37'ye göre ikincil kirişlerde ve çerçeve ana kirişlerinde göz önüne alınacak değer yaklaşık olarak $L/240$ 'dır.

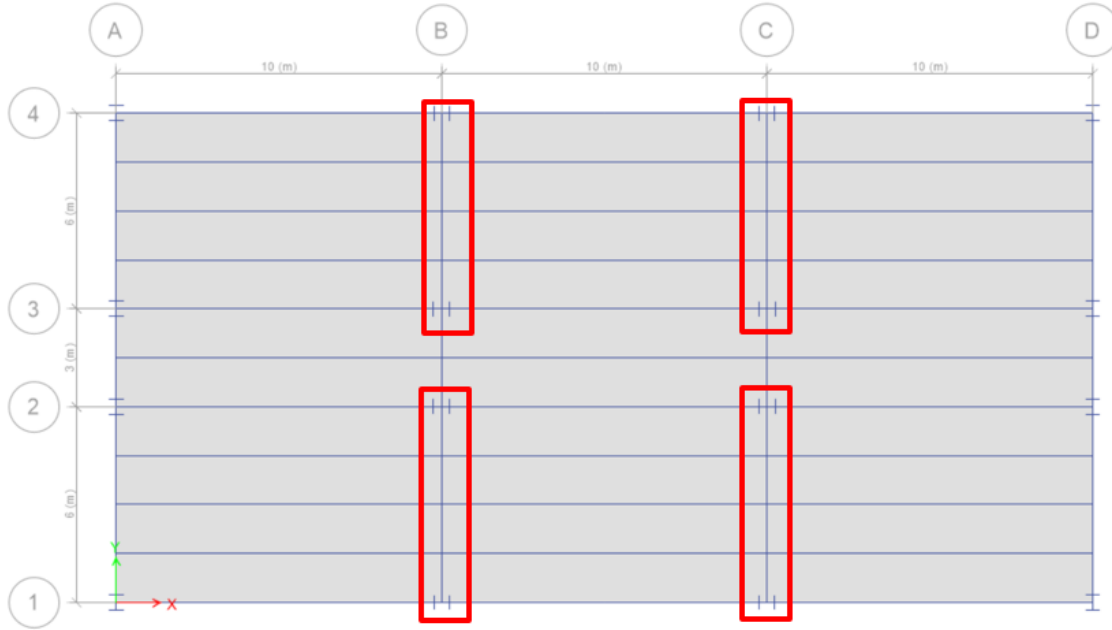
Yapısal Sistem	Q	Q veya W	G+Q
Kiriş	$L/360$	-	$L/240$

Şekil 3. 36 : IBC 2018 Tablo 1604.3 ' e göre alınacak deplasman koşulu limit değeri.

$$\Delta_{maks} = 4.2 \text{ mm}$$

$$L_{kiris} = 6000 \text{ mm}$$

$$\frac{\Delta_{\text{maks}} = 4.2 \text{ mm}}{L_{\text{kiris}} = 6000 \text{ mm}} = 0.00042 \leq \frac{1}{240} = 0.00333 \quad (\text{OK})$$



Şekil 3. 37 : Tasarımı yapılan çerçeve sistem kirişi.

TBDY 2018 9.3.1.4'e göre

Kırmızı çerçeve ile işaretlenmiş kısımlarda tasarımı yapılacak çerçeve sistem kirişleri için gerekli dayanımlar,

$$1.2(G + NG) + 1.6(Q + NQ) + 0.5(Q_r + NQ_r) + 1.6S + T$$

yük birleşiminden elde edilmiş olup, dayanım olarak en elverişsiz kesme kuvveti, eksenel kuvvet ve eğilme momenti dayanımları elde edilmiştir.

ÇYTHYE 2016 5.4.1 uyarınca, kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Enkesit koşullarının kontrolü

Yerel burkulma sınır durumuna göre, enkesitin genişlik/kalınlık oranları kontrolü

Başlık parçası

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = 6.67$$

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = 6.67 < \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 9.0195 \quad \text{"Başlık Kompaktır."}$$

Gövde parçası

$$\frac{h}{t_w} = 28.8 < 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 89.246$$

Kompaktır.

Elde edilen sonuçlara göre, çift simetri eksenli I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisinde M_n olacaktır.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, (M_n) ve tasarım eğilme momenti dayanımı, (M_n)

$$M_n = F_y W_{px} = 952.46 \text{ kNm}$$

Kirişin dizayn eğilme momenti dayanımı kontrolü

1.2(G + NG) + 1.6(Q + NQ) + 0.5(Qr + NQr)+1.6S yük birleşimi altında elde edilen gerekli eğilme momenti dayanımı, M_d ,

$$M_u = 238.4 \text{ kNm}$$

$$M_d = \phi_b M_n = 857.2 \text{ kNm}$$

Güvenlik Faktörü Katsayısı:

$$\frac{M_u}{M_d} = 0.28 \quad \text{"Enkesit Eğilme Dayanımı : Uygundur"}$$

Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

ÇYTHYE 2016 10.2 'ye göre kirişin kesme kuvveti dayanımı

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v \quad (3.86)$$

$$C_v = \frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.00 \quad (3.87)$$

$$\phi_v = \frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.00 \quad (3.88)$$

$$A_w = dt_w = 32.62 \text{ cm}^2$$

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v = 695.44 \text{ kN}$$

1.2(G + NG) + 1.6(Q + NQ) + 0.5(Qr + NQr) + 1.6S yük birleşimi altında elde edilen gerekli kesme kuvveti dayanımı, V_d

$$V_u = 163.2 \text{ kN}$$

$$V_d = \phi_v V_n = 695.44 \text{ kN}$$

Güvenlik Faktörü Katsayısı:

$$\frac{V_u}{V_d} = 0.235 \text{ "Enkesit Kesme Dayanımı : Uygunur."}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

Kompozit döşemenin imalat süreci tamamlanana kadar yanal burulmalı burkulma sınır durumu da kontrol edilmiştir.

Değer olarak küçük olduğundan dolayı dikkate alınmayacaktır.

B-4/3, C-4/3, B-2/1, C-2/1 çerçeve kiriş enkesitleri ve kapasite oranları EK F ' de tablo olarak verilmiştir.

Çerçeve sistemi kirişi tasarımı (10m'lik)

Bu bölümde herhangi bir burkulması önlenmiş çaprazın bağlanmadığı, sadece düşey yükler etkisinde olan çerçeve sistem kirişlerinin davranışı incelenecektir.

Çelik Sınıfı :

$$S355 \quad F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{ÇYTHYE 2016 Tablo 2.1A})$$

Kesit Özellikleri:

Çizelge 3. 49 : HEB 400 profil enkesit karakteristikleri.

HEB 400			
$I_x = 57680 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 2884 \text{ cm}^3$	$i_x = 170.8 \text{ mm}$	$C_w = 3817 \text{ cm}^6$
$t_f = 24.0 \text{ mm}$	$I_y = 10820 \text{ cm}^4$	$W_{px} = 3232 \text{ cm}^3$	$b_f = 300 \text{ mm}$
$d = 298 \text{ mm}$	$A = 197.80 \text{ cm}^2$	$F_y = 355 \text{ N/mm}^2$	$i_y = 74.0 \text{ mm}$
$t_w = 13.5 \text{ mm}$	$h = 400 \text{ mm}$	$J = 355.70 \text{ cm}^4$	$W_{ey} = 721.3 \text{ cm}^3$
$F_u = 430 \text{ N/mm}^2$			

Etabs yapısal analiz programından $1.2(G + NG) + 1.6(Q + NQ) + 0.5(Q_r + NQ_r) + 1.6S + T$ kombinasyonu ile en elverişsiz iç kuvvetler elde edilmiş ve bu değerlere bağlı olarak boyutlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Ek olarak kullanılabilirlik sınır durumu da göz önüne alınmıştır.

Çizelge 3. 50 : Çerçeve sistem kirişinde oluşan iç kuvvetler.

Eksenel Yük	Kesme Kuvveti	Eğilme Momenti
$P_u = 0 \text{ kN}$	$V_u = 212.4 \text{ kN}$	$M_u = 312.7 \text{ kNm}$

Servis limit kullanılabilirlik kontrolü (G+Q)

Yapısal Sistem	Q	Q veya W	G+Q
Kiriş	L/360	-	L/240

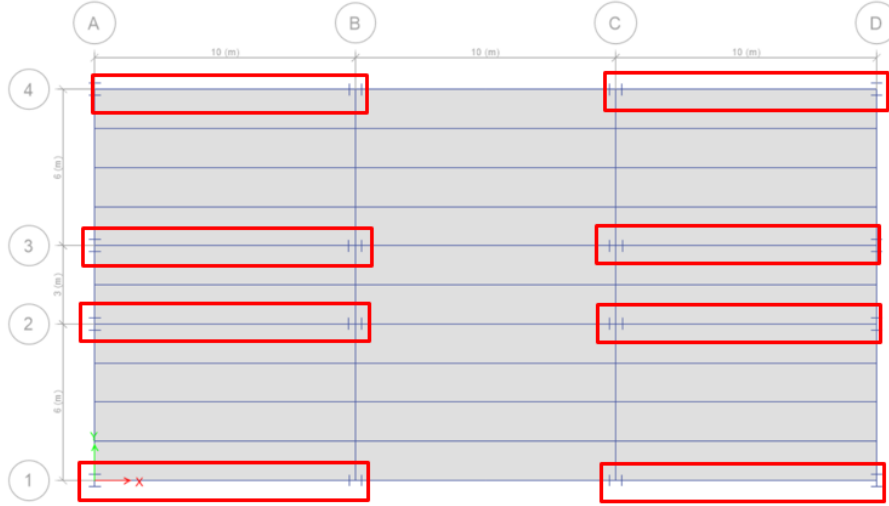
Şekil 3. 38 : IBC 2018 tablo 1604.3'e göre alınacak deplasman koşulu limit değeri.

Sınır değeri = L/240

$\Delta_{maks} = 8.94 \text{ mm}$

$L_{kiris} = 10000 \text{ mm}$

$$\frac{\Delta_{maks} = 8.94 \text{ mm}}{L_{kiris} = 10000 \text{ mm}} = 0.00089 \leq \frac{1}{240} = 0.00417 \quad (\text{OK})$$



Şekil 3. 39 : Tasarımı yapılan çerçeve sistem kirişleri.

ÇYTHYE 5.4.1 uyarınca, kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Enkesit koşullarının kontrolü

Yerel burkulma sınır durumuna göre, enkesitin genişlik/kalınlık oranları kontrolü

Başlık parçası

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = 6.25$$

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = 6.25 < \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 9.0195 \quad \text{"Başlık Kompaktır."}$$

Gövde parçası

$$\frac{h}{t_w} = 29.63 < 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 89.246 \quad \text{"Gövde Kompaktır."}$$

Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n hesaplanacaktır.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, (M_n) ve tasarım eğilme momenti dayanımı, (M_n)

$$M_n = F_y W_{px} = 1147.36 \text{ kNm}$$

Kirişin dizayn eğilme momenti dayanımı kontrolü

1.2(G + NG) + 1.6(Q +NQ) + 0.5(Qr + NQr)+1.6S yük birleşimi altında elde edilen gerekli eğilme momenti dayanımı, M_d ,

$$M_u = 312.7 \text{ kNm}$$

$$M_d = \phi_b M_n = 1032.64 \text{ kNm}$$

Güvenlik Faktörü Katsayısı:

$$\frac{M_u}{M_d} = 0.302 \text{ "Enkesit Eğilme Dayanımı : Uygundur"}$$

Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

ÇYTHYE 2018 10.2 'ye göre kirişin kesme kuvveti dayanımı

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v \quad (3.89)$$

$$C_v = \frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.00 \quad (3.90)$$

$$\phi_v = \frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.00 \quad (3.91)$$

$$A_w = d t_w = 40.23 \text{ cm}^2$$

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v = 856.9 \text{ kN}$$

1.2(G + NG) + 1.6(Q +NQ) + 0.5(Qr + NQr)+1.6S yük birleşimi altında elde edilen gerekli kesme kuvveti dayanımı, V_d ,

$$V_u = 163.2 \text{ kN}$$

$$V_d = \phi_v V_n = 856.9 \text{ kN}$$

Güvenlik Faktörü Katsayısı:

$$\frac{V_u}{V_d} = 0.191 \text{ "Enkesit Kesme Dayanımı : Uygundur."}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

Değer olarak küçük olduğundan dolayı dikkate alınmayacaktır. 4-A/B-C/D, 3-A/B-C/D, 2-A/B-C/D, 1-A/B-C/D çerçeve kiriş enkesitleri ve kapasite oranları EK F ' de tablo olarak verilmiştir.

3.10.1.3 Burkulması önlenmiş çelik çaprazların tasarımı

ÇYTHYE 2016 ve TBDY 2018 tasarım yönergelerine göre burkulması önlenmiş çelik çaprazlar boyutlandırılmıştır. Ek olarak AISC 341-10 ve AISC Tasarım Kılavuzu'ndaki koşullar da boyutlandırma aşamalarında dikkate alınmıştır. Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve sistemlerinin yapısal sistem elemanları olarak kolon, kiriş ve birleşimlerinin boyutlandırılmasında gerekli dayanımlar, TBDY 2018 Bölüm 9.2.6 ve 9.9.3 esas alınarak hesaplanacaktır. Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin rijitliklerinin yalnızca çelik çekirdek enkesitine bağlı olmadığı, tüm çaprazın rijitliğinin kullanılması gerektiği için, analiz kısmında Etabs analiz programında çelik çekirdek enkesitlerinin eksenel rijitlik değerleri 1.18 ile arttırılmıştır. Deprem hesapları ve tüm görelî kat ötelemesi hesaplarında arttırılmış çelik çapraz rijitliği dikkate alınmıştır. Burkulması önlenmiş çelik çaprazlardaki diğer önemli nokta ise, çapraz malzemesinin akma dayanımının tam olarak bilinmiyor ve belirlenemiyor olması durumudur. Bu nedenle burkulması önlenmiş çelik çaprazların akma dayanımı belirlenmesinde kabul edilebilir bir aralık belirtilmektedir. Bu aralık normal çelik akma dayanımının $\pm\%10$ ' u olarak kabul edilmektedir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında tasarım hesaplarında kullanılan S275 çeliğinin minimum akma gerilmesi 245 MPa, maksimum akma gerilmesi ise 305 MPa olarak kabul edilmiştir. Genel olarak minimum ve maksimum aralıklarda verilmiş olan bu değerler, burkulması önlenmiş çelik çapraz üreticileri tarafından deneylerle doğrulanmaktadır. Burkulması önlenmiş çelik çaprazların boyutlandırılma işlemleri tamamlandıktan sonra, çapraz çekirdek enkesitlerinin hesaplanmış olan akma dayanımlarına ulaşması durumlarında, burkulması önlenmiş çelik çapraz elemanlarda oluşacak çekme ve basınç kuvvetlerinin, bu çaprazların bağlandığı kolon ve kirişte yaratacağı etkinin kontrolü yapılmıştır. Burkulması önlenmiş çelik çaprazların tasarım esaslarında, taşıyıcı sistemde yalnızca deprem yüklerinden kaynaklı oluşan eksenel kuvvet değerleri dikkate alınmıştır. Genel olarak çaprazların düşey yük taşıması istenmemektedir. Yalnızca eksenel kuvvet durumu dikkate alınacağından dolayı ikicil mertebe etkilerinde hesaba katılması gerekmektedir. BÖÇ'lerin ön tasarım

Çizelge 3. 51 : L=5.830 m BÖÇ rijitlik değerleri.

Kat No :	$A_c(\text{mm}^2)$	$A_t(\text{mm}^2)$	$A_j(\text{mm}^2)$	L_c (mm)	L_t (mm)	L_j (mm)	K_{eff} (N/mm)	$K_{\text{çekirdek}}$
23.	6000	9600	13200	4081	349.8	1399	24313	205831
22.	6000	9600	13200	4081	349.8	1399	24313	205831
21.	6000	9600	13200	4081	349.8	1399	24313	205831
20	6000	9600	13200	4081	349.8	1399	24313	205831
19	6000	9600	13200	4081	349.8	1399	24313	205831
18	6000	9600	13200	4081	349.8	1399	24313	205831
17	6000	9600	13200	4081	349.8	1399	24313	205831
16	7000	11200	15400	4081	349.8	1399	283652	240137
15	7000	11200	15400	4081	349.8	1399	283652	240137
14	7000	11200	15400	4081	349.8	1399	283652	240137
13	7000	11200	15400	4081	349.8	1399	283652	240137
12	7000	11200	15400	4081	349.8	1399	283652	240137
11	7000	11200	15400	4081	349.8	1399	283652	240137
10	7000	11200	15400	4081	349.8	1399	283652	240137
9	7000	11200	15400	4081	349.8	1399	283652	240137
8	7000	11200	15400	4081	349.8	1399	283652	240137
7	8000	12800	17600	4081	349.8	1399	324173	274442
6	8000	12800	17600	4081	349.8	1399	324173	274442
5	8000	12800	17600	4081	349.8	1399	324173	274442
4	8000	12800	17600	4081	349.8	1399	324173	274442
3	8000	12800	17600	4081	349.8	1399	324173	274442
2	8000	12800	17600	4081	349.8	1399	324173	274442
1	8000	12800	17600	4081	349.8	1399	324173	274442

Çizelge 3. 52 : L=4.25 m BÖÇ rijitlik değerleri.

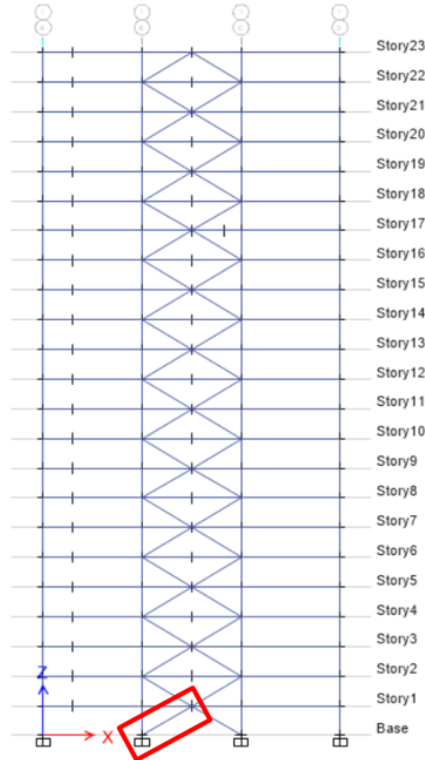
Kat No :	$A_c(\text{mm}^2)$	$A_t(\text{mm}^2)$	$A_j(\text{mm}^2)$	L_c (mm)	L_t (mm)	L_j (mm)	K_{eff} (N/mm)	$K_{\text{çekirdek}}$
23.	6000	9600	13200	2975	255	1020	333517	282352
22.	6000	9600	13200	2975	255	1020	333517	282352
21.	6000	9600	13200	2975	255	1020	333517	282352
20	6000	9600	13200	2975	255	1020	333517	282352
19	6000	9600	13200	2975	255	1020	333517	282352
18	6000	9600	13200	2975	255	1020	333517	282352
17	6000	9600	13200	2975	255	1020	333517	282352
16	7000	11200	15400	2975	255	1020	333517	282352
15	7000	11200	15400	2975	255	1020	333517	282352
14	7000	11200	15400	2975	255	1020	333517	282352
13	7000	11200	15400	2975	255	1020	333517	282352
12	7000	11200	15400	2975	255	1020	333517	282352
11	7000	11200	15400	2975	255	1020	333517	282352
10	7000	11200	15400	2975	255	1020	333517	282352
9	7000	11200	15400	2975	255	1020	333517	282352
8	7000	11200	15400	2975	255	1020	333517	282352
7	8000	12800	17600	2975	255	1020	416896	352941
6	8000	12800	17600	2975	255	1020	416896	352941
5	8000	12800	17600	2975	255	1020	416896	352941
4	8000	12800	17600	2975	255	1020	416896	352941
3	8000	12800	17600	2975	255	1020	416896	352941
2	8000	12800	17600	2975	255	1020	416896	352941
1	8000	12800	17600	2975	255	1020	416896	352941

Birinci kat L=5.830 m BÖÇ eleman için enkesit alanı hesabı:

Çizelge 3. 53 : BÖÇ Malzeme ve enkesit özellikleri.

BÖÇ 30 x 150	
S245	$h = 150 \text{ mm}$
$E = 200000 \text{ N/mm}^2$	$A = 4500 \text{ mm}^2$
$F_y = 275 \text{ N/mm}^2$	
$F_u = 305 \text{ N/mm}^2$	
$b = 30 \text{ mm}$	

TBDY 2018 Bölüm 9.9.3.2 göre çelik çekirdek, etkiyecek olan aksenal kuvvetin tamamını karşılayacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Ek olarak TBDY 2018 Bölüm 9.9.2.2' ye göre burkulması önlenmiş çelik çaprazlarında düşey yük etkilerinin aktarılması gözönüne alınmayacaktır.



Şekil 3. 41 : Tasarımı Yapılan 23 katlı BÖÇÇ sistemi.

Tasarımda kullanılacak olan iç kuvvetlerin belirlenmesinde yaklaşık ikinci mertebe etkileri dikkate alınmıştır.

En elverişsiz iç kuvvetler 1.39G+0.5Q+0.2S+EXNEN+0.3EYM kombinasyonundan elde edilmiştir.

Etabs programından elde edilen ikinci mertebe etkili iç kuvvet değeri

$$P_r = 358.8 \text{ kN}$$

TBDY 2018 Bölüm 9.9.3.2 ‘ ye göre burkulması önlenmiş çelik çaprazda oluşan maksimum basınç ve çekme kuvveti değerleri denklem 3.94 ve denklem 3.95 ile hesaplanmaktadır.

$$P_{y_{sc}} = F_{y_{sc}} \cdot A_{sc} \quad 3.94$$

YDKT ‘ye göre

$$A_{scmin} = \frac{P_{y_{sc}}}{\phi \cdot F_{y_{sc}}} \quad 3.95$$

Gerekli olan minumum çarpaz enkesiti alanı

$$A_{scmin} = \frac{P_{y_{sc}}}{\phi \cdot F_{y_{sc}}} = \frac{358.8 \times 10^3}{0.9 \cdot 245} = 1627.2 \text{ mm}^2$$

Kullanılan burkulması önlenmiş çelik çapraz enkesit boyutları ve alanı

$$A_{sc} = 30 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm} = 4500 \text{ mm}^2 \geq A_{scmin} = \frac{P_{y_{sc}}}{\phi \cdot F_{y_{sc}}} = 1627.2 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Burkulması önlenmiş çelik çaprazlara ait dayanım kontrolleri tamamlandıktan sonra, çapraza ait yerdeğiştirme değerleri hesaplanmaktadır.

Yer değiştirme hesaplarının yapılarak, tezin diğer kısımlarında çaprazın çekme ve basınç dayanımlarını hesaplarında β ve ω katsayılarının değerlerinin elde edilmesi sağlanacaktır.

Tasarım kat ötelenmesi

$$\Delta = \frac{R \cdot \Delta_H}{I_e} = 43.4 \text{ mm} \quad 3.96$$

İki katın inealistik kat ötelemesi

$$2 \cdot \Delta = 86.8 \text{ mm}$$

Yatayda 5 m, düşeyde 3 m açıklığa sahip çaprazın deformasyonu denklem 3.97 ile hesaplanmaktadır.

Maksimum Kat Ötelemesi = Eğer İki Katın İnelastik Kat Ötelemesi
 $> 0.02 \cdot L$ yada $0.02 \cdot H$ olmalıdır

$$\Delta_{\text{çapraz}} = \sqrt{L^2 + (L_{\text{yatay}} + \text{Maksimum Kat Ötelemesi})^2} - \sqrt{L^2 + L_{\text{yatay}}^2} \quad 3.97$$

$$\Delta_{\text{çapraz}} = \sqrt{3\text{m}^2 + (5\text{m} + 0.0434\text{mm})^2} - \sqrt{3\text{m}^2 + 5\text{m}^2} = 37.26\text{mm}$$

Genel olarak, çapraz elemanın akma mukavemetine ulaşması düşünülen bölümü, çaprazın tüm uzunluğunun %70'ini kapsayacak kadarı alınır. Bu duruma göre;

$$L_y = 0.7 \cdot \sqrt{L^2 + L_{\text{yatay}}^2} = 4.0187 \text{ m} \quad 3.98$$

Yapılan hesaplamalara göre burkulması önlenmiş çelik çaprazın şekildeğiştirme değeri;

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{\text{çapraz}}}{L_y} \cdot 100 = \% 0.9128 \quad 3.99$$

olarak hesaplanmıştır.

Genel olarak burkulması önlenmiş çapraz tasarımında, hesaplanan bu şekil değıştirme değeri β ve ω katsayılarının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Bu iki katsayı malzeme davranışı ile ilgili olan katsayılardır. Bölüm 2’de hesap adımları detaylı olarak açıklanmıştır.

Bölüm 2’ ye göre, bu yüksek lisans tezinde tasarım hesaplarında kullanılacak olan katsayılar aşağıdaki gibidir;

$$\omega = 1.1913$$

$$\beta = 1.0361$$

Çizelge 3. 54 : Katlara göre BÖÇ enkesit özellikleri.

Kat	Boyut	Alan (mm ²)	P _r (kN)	A _{sc} (min)	ω	β
23.Kat	BÖÇ30x100	3000	146.8	665.7	1.19	1.04
22.Kat	BÖÇ30x100	3000	154.2	699.3	1.19	1.04
21.Kat	BÖÇ30x100	3000	166.2	753.7	1.19	1.04
20.Kat	BÖÇ30x100	3000	173.5	786.8	1.19	1.04
19.Kat	BÖÇ30x100	3000	155.9	707.1	1.19	1.04
18.Kat	BÖÇ30x100	3000	155.9	707.1	1.19	1.04
17.Kat	BÖÇ30x100	3000	165.3	749.65	1.19	1.04
16.Kat	BÖÇ30x100	3000	178.7	810.4	1.19	1.04
15.Kat	BÖÇ30x100	3000	168.7	765.4	1.19	1.04
14.Kat	BÖÇ30x100	3000	144.9	657.1	1.19	1.04
13.Kat	BÖÇ30x120	3600	154.2	6.99.3	1.19	1.04
12.Kat	BÖÇ30x120	3600	158.7	719.7	1.19	1.04
11.Kat	BÖÇ30x120	3600	165.4	750.4	1.19	1.04
10.Kat	BÖÇ30x120	3600	172.1	780.5	1.19	1.04
9.Kat	BÖÇ30x120	3600	188.6	855.32	1.19	1.04
8.Kat	BÖÇ30x120	3600	201.2	912.47	1.19	1.04
7.Kat	BÖÇ30x120	3600	222.4	1008.6	1.19	1.04
6.Kat	BÖÇ30x150	4500	235.0	1065.7	1.19	1.04
5.Kat	BÖÇ30x150	4500	267.9	1214.9	1.19	1.04
4.Kat	BÖÇ30x150	4500	287.4	1303.4	1.19	1.04
3.Kat	BÖÇ30x150	4500	303.2	1375.1	1.19	1.04
2.Kat	BÖÇ30x150	4500	325.2	1477.5	1.19	1.04
1.Kat	BÖÇ30x150	4500	358.8	1627.2	1.19	1.04

Burkulması önlenmiş çelik çapraz enkesitleri ve kapasite oranları EK F ' de çizelge halinde verilmiştir.

3.10.2 Kolon boyutlandırılması

3.10.2.1 BÖÇ bağlanmayan - sadece düşey yük aktaran kolonların boyutlandırılması

Yapısal eleman olarak kolonlar, eksenel kuvvete karşı dayanım göstermektedirler. Taşıyıcı sistem davranışı olarak kolonlar, yatay kuvvetlerin de yapıya etkimesi durumunda eksenel yük ve eğilme etkisine maruz kalmaktadırlar. Bu yüksek lisans tez çalışmasında tüm kolonlar temele mafsallı olarak bağlanacağı kabul edilmiştir. Taşıyıcı sistemin genel tasarımı yapılırken kolonların enkesitleri, altı katta bir değiştirilmesi planlanmakta ve birleşim bölgesi olarak planlanan sistemin, kat yüksekliklerinin 1/3'ü olacak şekilde ayarlanması planlanmaktadır.

Kolonlara ait hesap adımlarında, girişlerde izlenen adımlar gibi, çaprazın bağlı olduğu kolonların tasarımı ek olarak dayanıma göre hesap yapılacaktır. Burkulması önlenmiş çelik çaprazların bağlanmadığı kolonlar için detaylı hesap adımları ilerleyen sayfalarda detaylı olarak verilmiştir. Çelik çaprazların bağlanmış olduğu kolonlardaki detay boyutlandırma hesaplarına örnek çapraz boyutlandırması yapıldıktan sonra yer verilecektir. Şekil 3.43'de 23 katlı yapı planında da belirtilen, B-2/B-3 ve C-2/C-3 kolonların tasarım hesapları örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3. 42 : Tasarımı yapılan çerçeve sistem kolonları.

Çelik Sınıfı :

S355 $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$ $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$ (ÇYTHYE 2016 Tablo 2.1A)

Kesit Özellikleri

Çizelge 3. 55 : HD 400X818 profil enkesit karakteristikleri.

HD 400x818			
$I_x = 392200 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 15260 \text{ cm}^3$	$i_x = 193.9 \text{ mm}$	$C_w = 2453634 \text{ cm}^6$
$t_f = 97.0 \text{ mm}$	$I_y = 135500 \text{ cm}^4$	$W_{px} = 19260 \text{ cm}^3$	$b_f = 437 \text{ mm}$
$d = 290 \text{ mm}$	$A = 1043.0 \text{ cm}^2$	$F_y = 355 \text{ N/mm}^2$	$i_y = 114.0 \text{ mm}$
$t_w = 60.5 \text{ mm}$	$h = 514 \text{ mm}$	$J = 262 \text{ cm}^4$	$W_{ey} = 6203.0 \text{ cm}^3$
$F_u = 430 \text{ N/mm}^2$	$W_{py} = 9561 \text{ cm}^3$		

Kesit kompaktlık koşulu

ÇYTHYE 2016 Bölüm 5 uyarınca, sınır durumları (genişlik/kalınlık) için enkesitin sınıflandırılması,

Başlık parçası için kontrolü (ÇYTHYE 2016 Tablo 5.1A)

$$\lambda = \frac{b}{t} = 2.25$$

$$\lambda_r = 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda = \frac{b}{t} = 2.25 \leq \lambda_r = 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.30 \cdot \sqrt{\frac{200000}{355}} = 13.29 \quad (OK)$$

Gövde parçası için kontrol (ÇYTHYE 2016 Tablo 5.1A)

$$\lambda_r = 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_r = 1.49 \cdot \sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.36$$

$$\frac{h}{t_w} = 9.43 \leq \lambda_{hd} = 35.36 \quad (OK)$$

Yapılan hesaplamalara göre, ÇYTHYE 2016 Tablo 5.1A ' da verilen λ_r sınır değerini aşmadığından dolayı narin olmayan enkesit olarak değerlendirilmektedir.

Kolon eksenel basınç dayanımı

Zayıf eksen doğrultusunda eğilmeli burkulma sınırının durumu

ÇYTHYE 2016 8.2'ye göre, kolonun eksenel basınç kuvveti dayanımı, X ve Y ana eksenlerine göre eğilmeli burkulma sınır durumları dikkate alınarak hesaplanan dayanımlarından daha düşük olacaktır.

Zayıf eksenin belirlenmesi

$$L_{\text{kolon}} = 3\text{m}$$

$$L_{cx} = 3\text{m} \quad , \quad L_{cy} = 3\text{m} \quad , \quad K_x = 1.0 \quad , \quad K_y = 1.0$$

$$\frac{K_x \cdot L_{cx}}{i_x} = \frac{3000\text{mm}}{186.2} = 16.11 \quad , \quad \frac{K_y \cdot L_{cy}}{i_y} = \frac{3000\text{mm}}{111.3} = 26.95$$

$$\max\left[\frac{K_x \cdot L_{cx}}{i_x}, \frac{K_y \cdot L_{cy}}{i_y}\right] = \max[16.11, 26.95] = \frac{K_y \cdot L_{cy}}{i_y} \quad 3.100$$

Zayıf eksen takımı olarak Y doğrultusu belirlenmiştir. Eğilmeli burkulma sınır durumu Y doğrultusu için incelenecektir.

$$\frac{K_y \cdot L_{cy}}{i_y} = \frac{3000\text{mm}}{111.3} = 26.95 \leq 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111.8 \quad 3.101$$

ÇYTHYE 2016 8.2 uyarınca,

Elastik burkulma gerilmesi

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L}{i}\right)^2}$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi

$$F_{cry} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_{ey}}}\right) \cdot F_y$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{(26.95)^2} = 2717.8 \frac{N}{mm^2}$$

$$F_{cry} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_{ey}}}\right) \cdot F_y = \left(0.658^{\frac{355}{2717.8}}\right) \cdot 355 = 336.2 \frac{N}{mm^2}$$

Boyuna ekseninde (z ekseni boyunca) burulmalı burkulma sınır durumu kontrolü

ÇYTHYE 2016 8.2.2 uyarınca,

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(L_{cz})^2} + GJ\right) \cdot \left(\frac{1}{I_x + I_y}\right)$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 58650 \times 10^6}{(3000)^2} + 67700 \cdot 262\right) \cdot \left(\frac{1}{392200 + 135500}\right)$$

$$= 24409.93 \text{ kN}$$

$$F_{crz} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_{ez}}}\right)$$

$$F_{crz} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_{ez}}}\right) = \left(0.658^{\frac{355}{24409.9}}\right) = 362.7 \text{ kN}$$

Kritik burkulma uzunluğu

$$F_{cr} = \min\left(362.7 \frac{N}{mm^2}, 336.2 \frac{N}{mm^2}\right) = 336.2 \frac{N}{mm^2}$$

ÇYTHYE 2016 8.2.2 ' ye göre, kolonun eksenel basınç kuvveti altında dayanım kontrolü

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \quad 3.102$$

$$P_n = 336.2 \cdot 1043 \cdot 10^{-1} = 35065.6 \text{ kN}$$

$$P_d = \theta \cdot P_n \quad 3.103$$

$$\theta = 0.9$$

$$P_d = 0.9 \cdot 35065.6 \text{ kN} = 31559.1 \text{ kN}$$

Kolonun eksenel basınç kuvveti altında dayanım kontrolü

$$\frac{P_u}{P_d} = \frac{30023.42 \text{ kN}}{31559.1 \text{ kN}} = 0.95 \quad (\text{OK})$$

Kolon kesitlerinin her 6 katta bir değişiklik gösterdiği bir önceki bölümlerde belirtilmiş olup, üst katlara doğru gidildikçe kolon enkesitlerinin boyutları küçülmektedir. 2B-2C-3B-3C kolonları ve kapasite oranları EK F 'de çizelge olarak verilmiştir.

3.10.2.2 BÖÇ bağlanan kolon enkesitinin boyutlandırılması (10 m 'lik açıklık)

Şekil 3.44'de verilmiş olan birinci kat 1/B kolonunun) en kesitine ait karakteristik özellikler ve tasarım aşamaları verilmiştir.

BÖÇÇ kolonları için dayanıma göre tasarım yapılacaktır.



Şekil 3. 43 : 1/B 1. kat kolonu.

Çelik Sınıfı :

S355 $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$ $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$ (ÇYTHYE 2016 Tablo 2.1A)

Çizelge 3. 56 : 1/B 1. Kat kolonu enkesit özellikleri.

HD 400x1086			
$I_x = 595700 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 20940 \text{ cm}^3$	$i_x = 207.3 \text{ mm}$	$C_w = 96.08 \text{ cm}^6$
$t_f = 125.0 \text{ mm}$	$I_y = 196200 \text{ cm}^4$	$W_{px} = 27210 \text{ cm}^3$	$b_f = 454 \text{ mm}$
$d = 289 \text{ mm}$	$A = 1386. \text{ cm}^2$	$F_y = 355 \text{ N/mm}^2$	$i_y = 119.0 \text{ mm}$
$t_w = 78.0 \text{ mm}$	$h = 569 \text{ mm}$	$J = 62290 \text{ cm}^4$	$W_{ey} = 8645 \text{ cm}^3$
$F_u = 430 \text{ N/mm}^2$	$W_{py} = 13380 \text{ cm}^3$		

TBDY 2018 9.9.2.1'e göre, kolonların TBDY 2018 9.2.6 'da tanımlanan akma (mekanizma) durumu ile uyumlu iç kuvvetlerinin hesabında gözönüne alınan BÖÇ elemanlarının iç kuvvet değerleri, denklem 3.104 ve denklem 3.105'de belirtilmiş olan eksenel çekme kuvveti (T) ve eksenel basınç kuvveti (P) değerleri formülleri ile hesaplanmaktadır.

$$T = \omega \cdot R_y \cdot P_{y_{sc}} \quad (\text{TBDY 2018 9.2.3}) \quad 3.104$$

$$P = \beta \cdot \omega \cdot R_y \cdot P_{y_{sc}} \quad (\text{TBDY 2018 9.2.4}) \quad 3.105$$

Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin akma (mekanizma) durumu ile uyumlu iç kuvvet değerlerinin belirlenmesi

Bu yüksek lisans tezinde ω ve β değerleri burkulması önlenmiş çelik çapraz üreticisi tarafından tasarımcıya verilen kuvvet yerdeğiştirme grafiğinde hesaplanmış deplasman değerlerine göre belirlenmiştir.

Belirlenen bu katsayı değerleri sırası ile 1.191 ve 1.036 olarak hesaplanmış ve kullanılmıştır. Burkulması önlenmiş çelik çaprazlar için esas alınan akma dayanımı 245 Mpa kabul edilmiştir.

BÖÇ 'ün beklenen eksenel çekme kuvveti dayanımı

$$T = \omega \cdot R_y \cdot P_{y_{sc}} \cdot A_{sc} = 1.191 \cdot 1.245 \cdot 4500 = 1313.4 \text{ kN}$$

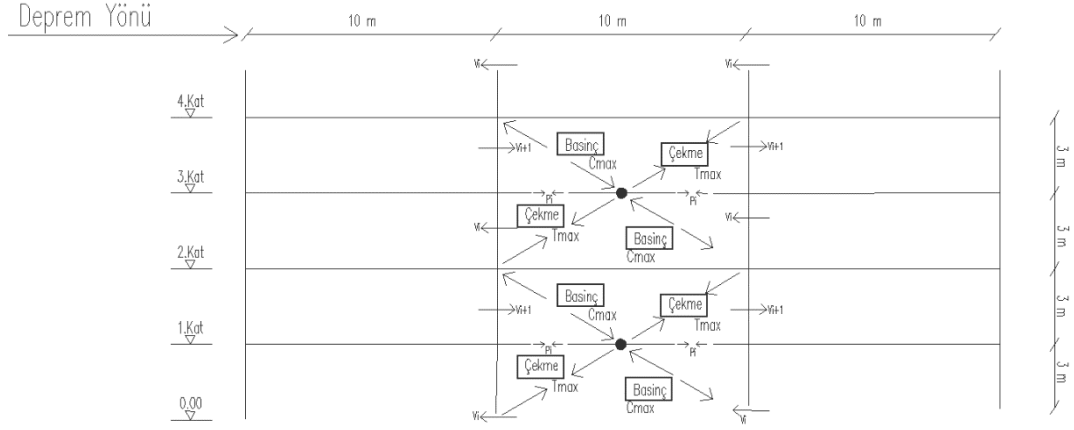
BÖÇ 'ün beklenen eksenel basınç kuvveti dayanımı

$$P = \beta \cdot \omega \cdot R_y \cdot P_{y_{sc}} \cdot A_{sc} = 1.036 \cdot 1.245 \cdot 4500 = 1142.3 \text{ kN}$$

23 katlı binada üst katlarda doğru çıkıldıkça burkulması önlenmiş çelik çapraz enkesitleri ölçüleri küçüldüğünden dolayı, olası aksenal basınç ve çekme kuvveti dayanımları da azalış göstermiştir.

Çizelge 3. 57 : 1/B 1. Kat kolonu enkesit özellikleri.

Kat	ω	β	Asc (mm ²)	T _y (kN)	P _y (kN)
23.Kat	1.191	1.036	2700	788.1	670.1
22.Kat	1.191	1.036	2700	788.1	670.1
21.Kat	1.191	1.036	2700	788.1	670.1
20.Kat	1.191	1.036	2700	788.1	670.1
19.Kat	1.191	1.036	3000	875.6	761.5
18.Kat	1.191	1.036	3000	875.6	761.5
17.Kat	1.191	1.036	3000	875.6	761.5
16.Kat	1.191	1.036	3000	875.6	761.5
15.Kat	1.191	1.036	3000	875.6	761.5
14.Kat	1.191	1.036	3000	875.6	761.5
13.Kat	1.191	1.036	3600	1050.7	913.8
12.Kat	1.191	1.036	3600	1050.7	913.8
11.Kat	1.191	1.036	3600	1050.7	913.8
10.Kat	1.191	1.036	3600	1050.7	913.8
9.Kat	1.191	1.036	3600	1050.7	913.8
8.Kat	1.191	1.036	3600	1050.7	913.8
7.Kat	1.191	1.036	3600	1050.7	913.8
6.Kat	1.191	1.036	4500	1313.4	1142.3
5.Kat	1.191	1.036	4500	1313.4	1142.3
4.Kat	1.191	1.036	4500	1313.4	1142.3
3.Kat	1.191	1.036	4500	1313.4	1142.3
2.Kat	1.191	1.036	4500	1313.4	1142.3
1.Kat	1.191	1.036	4500	1313.4	1142.3



Şekil 3. 44 : Deprem yönüne bağlı olarak çaprazlarda oluşan kuvvet durumları.

Şekil 3.45’den de görüleceği üzere deprem kuvvetlerinden kaynaklı oluşacak mekanizma durumuna karşın, burkulması önlenmiş çelik çaprazlara ait eksenel kuvvet yönleri ilk dört kat için belirtilmiştir.

Hesaplanmış olan mekanizma durumu ile kolon iç kuvvetlerinin hesabı

Standartlaşmış düzen olarak kirişlerin orta noktalarında birleşen burkulması önlenmiş çelik çaprazların, bu noktadalarla oluşturdukları kesme kuvveti değerleri, F_v hesabı için;

1.Kat için

$$F_v = (1313.4 - 1142.3 - 1314.4 + 1142.3) \cos(30.963^\circ) = 0 \text{ kN}$$

Hesaplanmış olan benzer kuvvet dengesi durumu diğer katlarda da mevcuttur. Kuvvet dengesinin sağlanmadığı katlar için hesap aşağıdaki gibidir.

7.Kat için

$$F_v = (1050.7 - 913.8 + 1142.3 - 1313.4) \cos(30.963^\circ) = -29.4 \text{ kN}$$

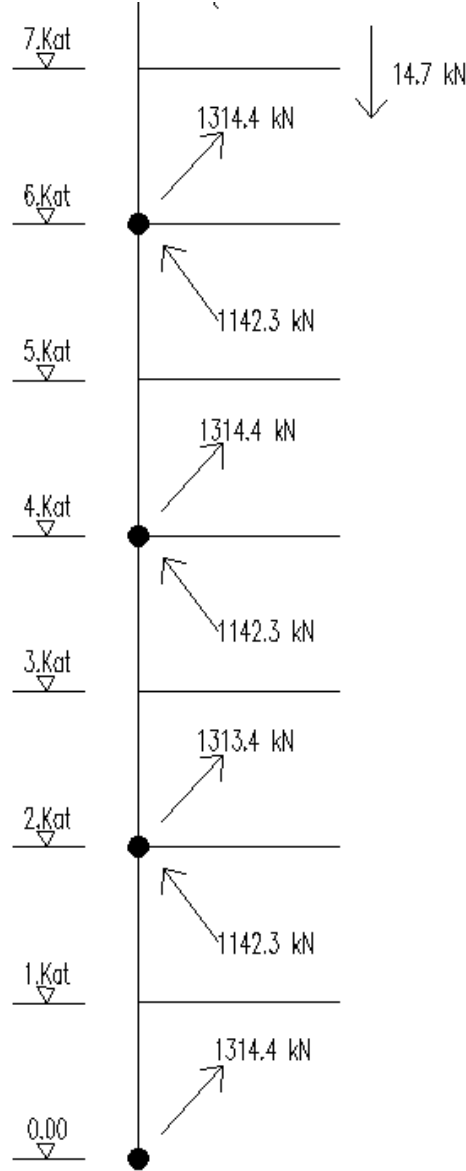
$$\text{İki kolon ucunda} = F_v/2 = -14.7 \text{ kN}$$

23.Kat için

$$F_v = (788.1 - 670.1) \cos(30.963^\circ) = -101.2 \text{ kN}$$

$$\text{İki kolon ucunda} = F_v/2 = -50.6 \text{ kN}$$

Yapıda diğer doğrultularda bulunan kirişler için de aynı hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 3.46’da ilk yedi kat için mekanizma durumunda oluşan iç kuvvetler belirtilmiştir.



Şekil 3. 45 : B-1 Kolonunda mekanizma durumunda oluşan iç kuvvetler-1(0-7.Katlar Arası).

Birinci kat B-1 kolonu için mekanizma durumlarına göre hesaplanan eksenel basınç kuvveti dayanımları aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$P_y = 17881.9 \text{ kN (Çekme – Basınç)}$$

B-1 kolonuna ait diğer katlar için elde edilen iç kuvvet değerleri EK F ‘de çizelge şeklinde verilmiştir.

Dayanım fazlalığı katsayısı (D) ve artırılmış deprem etkilerinin hesaplanması

TBDY 2018 9.2.6'ya göre, B-1 aks yerleşimlerinde bulunan kolon için gerekli dayanımlar, $1.39(G)+0.5(Q)+D(EX \pm 0.3EY)$ kombinasyonundan gelecek eksenel çekme ve basınç kuvvetleridir. Hesaplarda dikkate alınacak eksenel kuvvet dayanımı P_r , en elverişsiz yük birleşimleri altında ÇYTHYE 2016 6.5'e göre genel analiz yöntemine göre doğrudan bilgisayar programından elde edilmiş değerler olarak alınacaktır. B-1 aksları için en elverişsiz yük birleşimi ise ;

$$1.39(G+N_{GX}-N_{GY})+0.5(Q+N_{GX}-N_{GY})+2.5(E^{XN}-0.3E^{YN})-NL \text{ gibidir.}$$

Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin kolon ve kirişlerinin dayanım hesaplamaları için iç kuvvet değerleri, deprem etkilerinin dayanım fazlalığı katsayısı D ile çarpılarak büyütülür. Belirlenecek olan bu iç kuvvet değerleri TBDY 2018 9.2.5'te verilen yük kombinasyonlarına göre elde edilecektir. İlave olarak, kapasite tasarımı ilkesine göre, mekanizma durumu ile uyumlu M,N,V,T değerleri, pekleşme ve malzeme dayanım artışı katsayı etkilerini de hesaba katmalıdır. Açıklaması yapılan bu duruma göre, mekanizma durumu ile uyumlu ve en elverişsiz kolon eksenel basınç kuvveti değeri, $P_r = 20842.7 \text{ kN}$ elde edilmiştir

$$P_{uc} = 22030.0 \text{ kN}$$

B-1 aks kolonun iç kuvvetleri EK F ' de tablo halinde verilmiştir.

Kesit kompaktlık koşulu

TBDY 2018 Bölüm 9.9.1.1'e göre, yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması, Başlık parçası için,

$$\frac{b}{2.t} = \frac{454}{2.125} = 1.82 < 0.30 \sqrt{200000/355} = 7.12$$

Gövde parçası için

$$\frac{h}{t_w} = \frac{569}{78} = 7.29 < 1.49 \sqrt{200000/355} = 35.36$$

süneklik düzeyi yüksek enkesit için verilen koşullar sağlanmaktadır.

Kolonun eksenel basınç kuvveti dayanımı

Yerel burkulma kontrolü

Başlık parçası

$$\frac{b}{t_f} = \frac{454}{2.125} = 1.82 < 0.56 \sqrt{200000/355} = 13.29$$

Gövde parçası

$$\frac{h}{t_w} = \frac{569}{78} = 7.29 < 1.49 \sqrt{200000/355} = 35.36$$

Kolon enkesitinin başlık ve gövde parçalarının narin değildir.

Eğilmeli burkulma sınır durumu

ÇYTHYE 2016 6.4.3(a)'ya göre , K=1.0 olarak alınmıştır.

Eleman burkulma boyları,

$$L_{cx} = 3m$$

$$L_{cy} = 3m$$

Narinlik oranları,

$$\lambda_x = \frac{L_{cx}}{i_x} = 14.47$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cy}}{i_y} = 25.2$$

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_x, \lambda_y) = \max(14.47, 25.2) = 25.2$$

Y-Y eksenini doğrultusunda oluşan eğilmeli burkulma durumu belirleyici olmuştur.

$$\lambda_{\max} = 25.2 \leq 4.71 \sqrt{200000/355} = 111.8$$

Elastik burkulma gerilmesi

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{(25.2)^2} = 3108.3 \text{ N/mm}^2$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_{ey}}}\right) \cdot F_y = \left(0.658^{\frac{355}{3108.3}}\right) \cdot 355 = 339.025 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 339.025 \cdot 138600 \cdot 10^{-3} = 46988 \text{ kN}$$

Buna göre, tasarım basınç kuvveti dayanımı,

$$P_d = \phi P_n = 0.9(46988) = 42289.2 \text{ kN}$$

Kolonun tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

ÇYTHYE 2016 5.4.1 uyarınca,

Yerel burkulma kontrolü

Başlık parçası (Tablo 5.1B,Durum 10)

$$\frac{b}{t_f} = \frac{454}{2.125} = 1.816 < 0.38 \sqrt{200000/355} = 9.02$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B,Durum 15)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{569}{78} = 7.29 < 3.76 \sqrt{200000/355} = 89.24$$

Gerekli kontrol koşulları sağlandığından dolayı, yapısal elemanın enkesitinin başlık ve gövde parçaları kompakt olarak sınıflandırılmaktadır. M_n ÇYTHYE 2016 9.2, kolonun kuvvetli asal eksenini doğrultusunda eğilme etkisindeki çift simetri eksenli I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımını belirlemek için kullanılacaktır.

$$M_n = M_p = F_y \cdot W_{px} = 355 \cdot (27210) \cdot 10^{-3} = 9659.6 \text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_b = 3000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \cdot (119) \cdot \sqrt{\frac{200000}{355}} = 4971 \text{ mm}$$

Etkin atalet yarıçapı

$$i_{ts} = \frac{b}{\sqrt{12 \cdot (1 + \frac{h \cdot t_w}{6 \cdot b \cdot t_f})}} = \frac{454}{\sqrt{12 \cdot (1 + \frac{569 \cdot 78}{6 \cdot 454 \cdot 125})}} = 123.27 \text{ mm}$$

Elastik olmayan yanal burulmalı burkulmada sınır uzunluk

$$L_r = 1.95 \cdot i_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 \cdot F_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{W_{ex} \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{W_{ex} \cdot h_0}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{E}{0.7 \cdot F_y}\right)^2}}$$

$$h_0 = d - t_f = 289 - 125 = 164 \text{ mm}$$

$$L_r$$

$$= 1.95 \cdot 123.27 \cdot \frac{200000}{0.7 \cdot 355} \cdot \sqrt{\frac{(62290) \times 10^4 \cdot 1.0}{20940 \times 10^3 \cdot 164} + \sqrt{\left(\frac{(62290) \times 10^4 \cdot 1.0}{20940 \times 10^3 \cdot 164}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{200000}{0.7 \cdot 355}\right)^2}}$$

$$L_r = 28374 \text{ mm}$$

$$L_b = 30000 \text{ mm} < L_r = 28374 \text{ mm olduğu için}$$

Karakteristik eğilme momenti dayanımı = M_n

$$= C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 1.0 \left[9659.6 - (9659.6 - 0.7355(20940) \left(\frac{3000 - 4971}{28374 - 4971} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 1971.3 \text{ kNm}$$

Kolonun tasarım eğilme momenti dayanımı

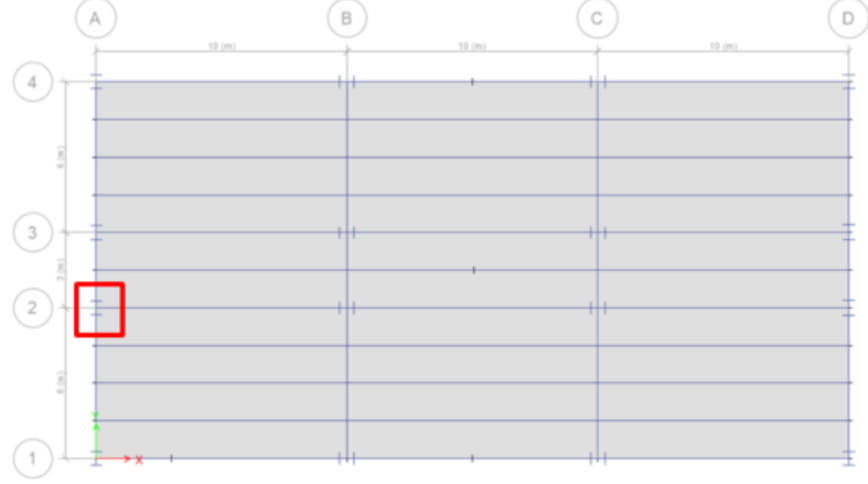
$$M_c = \emptyset \cdot M_n = 1774.2 \text{ kNm}$$

Bileşik etkiler altında eğilme momenti dayanımı

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{22030.0 \text{ kN}}{42289.2 \text{ kN}} = 0.52 \leq 1.0 \text{ OK}$$

3.10.2.3 BÖÇ bağlanan kolonun boyutlandırılması (3 m 'lik açıklık)

Birinci kat 2/A kolonunun (Bkz. Şekil 3.47) enkesitine ait karakteristik özellikleri verilmiş ve boyutlandırması yapılmıştır.



Şekil 3. 46 : 2/A 1. kat kolonu.

Çelik Sınıfı :

S355 $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$ $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$ (ÇYTHYE 2016 Tablo 2.1A)

Çizelge 3. 58 : 2/A 1. kat kolonu enkesit özellikleri.

HD 400x990			
$I_x = 518900 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 18870 \text{ cm}^3$	$i_x = 202.7 \text{ mm}$	$C_w = 81.530 \text{ cm}^6$
$t_f = 115.0 \text{ mm}$	$I_y = 173400 \text{ cm}^4$	$W_{px} = 24280 \text{ cm}^3$	$b_f = 448 \text{ mm}$
$d = 290 \text{ mm}$	$A = 1262.0 \text{ cm}^2$	$F_y = 355 \text{ N/mm}^2$	$i_y = 117.2 \text{ mm}$
$t_w = 71.9 \text{ mm}$	$h = 550 \text{ mm}$	$J = 48210 \text{ cm}^4$	$W_{ey} = 7739 \text{ cm}^3$
$F_u = 430 \text{ N/mm}^2$	$W_{py} = 11960 \text{ cm}^3$		

BÖÇ'lerin akma (mekanizma) durumu ile uyumlu iç kuvvetlerinin belirlenmesi

Tezin 2. Bölümünde belirlenmiş olan ω , β katsayıları sırası ile 1.191 ve 1.036 olarak hesaplanmış ve kullanılmıştır. Burkulması önlenmiş çelik çapraz için esas akma dayanımı 245 Mpa olarak kabul edilmiştir.

BÖÇ 'ün beklenen eksenel çekme kuvveti dayanımı

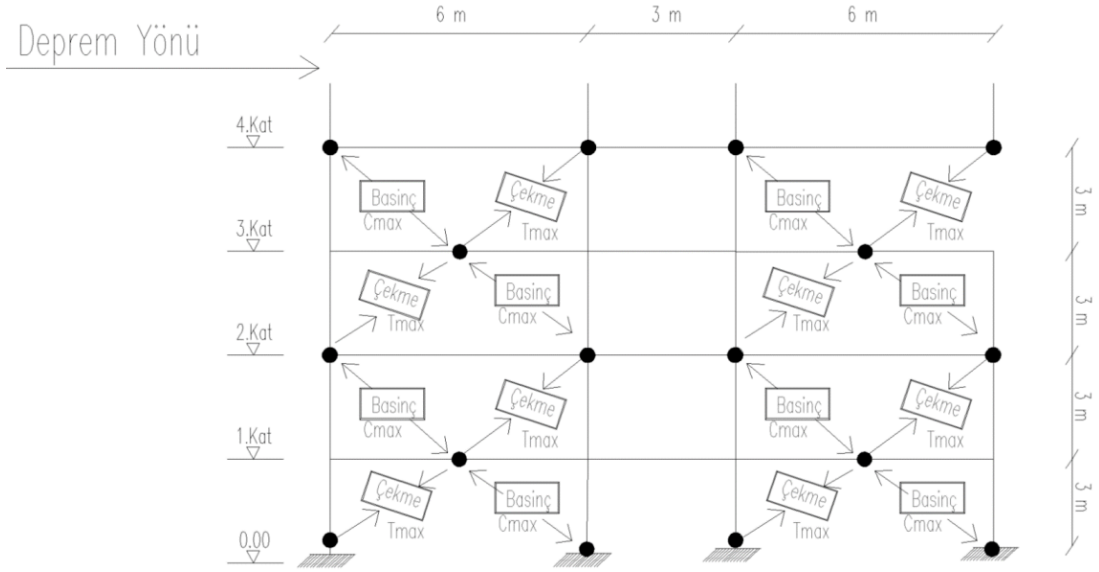
$$T = \omega \cdot R_y \cdot P_{y_{sc}} \cdot A_{sc} = 1.191 \cdot 1.245 \cdot 4500 = 1313.1 \text{ kN}$$

BÖÇ 'ün beklenen eksenel basınç kuvveti dayanımı

$$P = \beta \cdot \omega \cdot R_y \cdot P_{y_{sc}} \cdot A_{sc} = 1.036 \cdot 1.245 \cdot 4500 = 1142.2 \text{ kN}$$

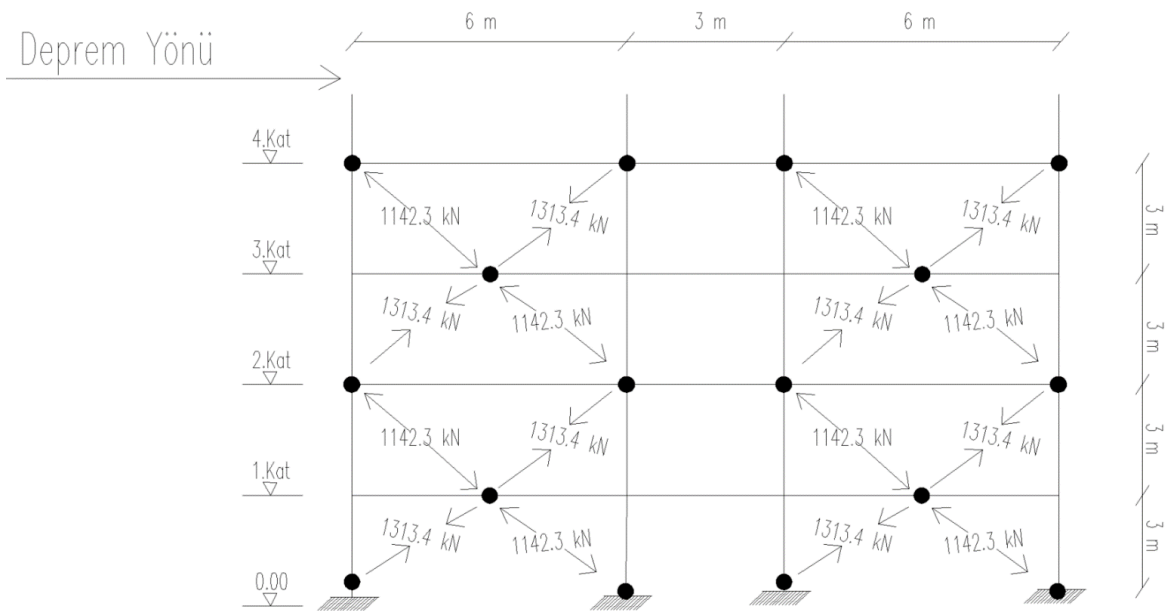
Çizelge 3. 59 : BÖÇ parametreleri özellikleri.

Kat	ω	β	$A_{sc} \text{ (mm}^2\text{)}$	$T_y \text{ (kN)}$	$P_y \text{ (kN)}$
23.Kat	1.191	1.036	2700	788.1	670.1
22.Kat	1.191	1.036	2700	788.1	670.1
21.Kat	1.191	1.036	2700	788.1	670.1
20.Kat	1.191	1.036	2700	788.1	670.1
19.Kat	1.191	1.036	3000	875.6	761.5
18.Kat	1.191	1.036	3000	875.6	761.5
17.Kat	1.191	1.036	3000	875.6	761.5
16.Kat	1.191	1.036	3000	875.6	761.5
15.Kat	1.191	1.036	3000	875.6	761.5
14.Kat	1.191	1.036	3000	875.6	761.5
13.Kat	1.191	1.036	3600	1050.7	913.8
12.Kat	1.191	1.036	3600	1050.7	913.8
11.Kat	1.191	1.036	3600	1050.7	913.8
10.Kat	1.191	1.036	3600	1050.7	913.8
9.Kat	1.191	1.036	3600	1050.7	913.8
8.Kat	1.191	1.036	3600	1050.7	913.8
7.Kat	1.191	1.036	3600	1050.7	913.8
6.Kat	1.191	1.036	4500	1313.4	1142.3
5.Kat	1.191	1.036	4500	1313.4	1142.3
4.Kat	1.191	1.036	4500	1313.4	1142.3
3.Kat	1.191	1.036	4500	1313.4	1142.3
2.Kat	1.191	1.036	4500	1313.4	1142.3
1.Kat	1.191	1.036	4500	1313.4	1142.3



Şekil 3. 47 : Deprem yönüne bağlı olarak çaprazlarda oluşan kuvvet durumları.

Şekil 3.48’de de gösterildiği üzere deprem kuvvetlerinden kaynaklı oluşacak olan mekanizma durumu, burkulması önlenmiş çelik çapraz eksenel kuvvet yönleri ilk dört kat için belirtilmiştir.



Şekil 3. 48 : Burkulması önlenmiş çaprazlarda olası eksenel kuvvet dayanımları-1(0-4.Katlar Arası Kuvvet Dayanımları).

Mekanizma durumu ile uyumlu kolon iç kuvvetlerinin hesabı

Kirişlerin orta noktasına bağlanan çaprazların, bu noktada oluşturdukları kuvvetlerin oluşturmuş olduğu kesme kuvvetleri, F_v hesabı ;

1.Kat için

$$F_v = (1313.4 - 1142.3 - 1314.4 + 1142.3) \cos(45^\circ) = 0 \text{ kN}$$

Benzer kuvvet dengesi durumu diğer katlarda da mevcut olup, kuvvet dengesinin sağlanmadığı katlar için hesap aşağıdaki gibi verilmiştir.

7.Kat için

$$F_v = (1050.7 - 913.8 + 1142.3 - 1313.4) \cos(45^\circ) = -24.2 \text{ kN}$$

$$\text{İki kolon ucunda} = F_v/2 = -12.1 \text{ kN}$$

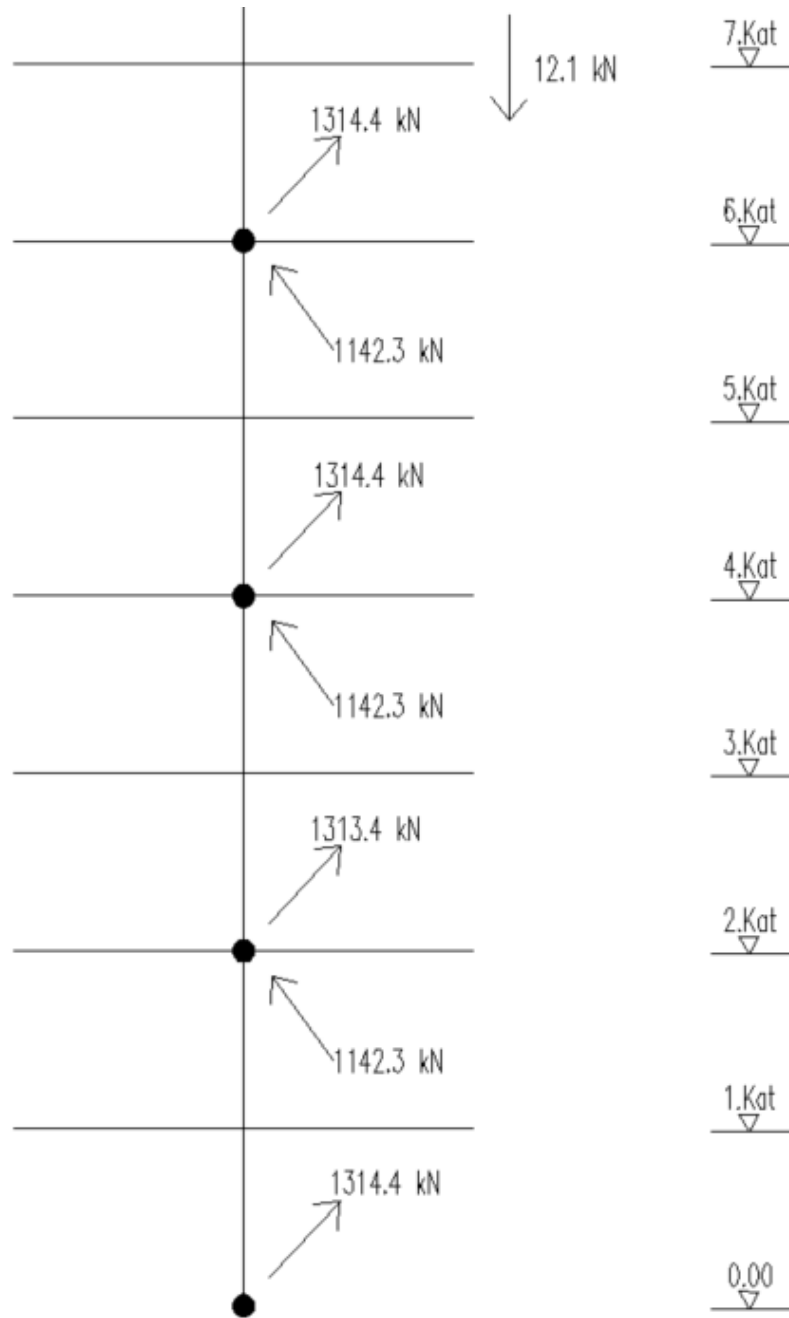
23.Kat için

$$F_v = (788.1 - 670.1) \cos(45^\circ) = -83.4 \text{ kN}$$

$$\text{İki kolon ucunda} = F_v/2 = -41.7 \text{ kN}$$

Diğer kirişler için de aynı hesap adımları takip edilmiştir.

Şekil 3.50’de ilk yedi kat için mekanizma durumunda oluşacak olan iç kuvvet değerleri belirtilmiştir.



Şekil 3. 49 : 2/A Kolonunda mekanizma durumunda oluşan iç kuvvetler-1 (0-7.Katlar Arası).

Birinci kat B-1 akslarında bulunan işaretli kolon için mekanizma durumları esas alınarak denge denklemleri yazılmış ve hesaplanan eksenel basınç kuvveti değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$P_y = 24558.7.9 \text{ kN (Çekme – Basınç)}$$

2/A kolonu iç kuvvetleri EK F 'de tablo halinde verilmiştir.

Dayanım fazlalığı katsayısı (D) ile artırılmış deprem etkileri ile kolon iç kuvvetlerinin hesabı

2/A Kolonu için gerekli dayanım hesapları için kullanılacak olan eksenel çekme ve basınç kuvveti değerleri TBDY 2018 9.2.6'ya göre, $1.39(G)+0.5(Q)+D(EX \pm 0.3EY)$ yük kombinasyonundan elde edilecektir. Gerekli eksenel kuvvet dayanımı P_r , en elverişsiz yük birleşimleri altında ÇYTHYE 2016 6.5'e göre üç boyutlu bilgisayar analiz modelinden alınacaktır. 2/A akslarında bulunan kolon için en elverişsiz yük kombinasyonu aşağıda gibidir.

$$1.39(G+N_{GX}-N_{GY})+0.5(Q+N_{GX}-N_{GY})+2.5(E^{XN}-0.3E^{YN})-NL$$

Burkulması önlenmiş çelik çaprazlı çerçevelerin kolon ve kirişlerinin gerekli dayanım hesaplarında, deprem etkileri dayanım fazlalığı katsayısı D ile çarpılarak büyütülmektedir.

Dayanım fazlalığı katsayıları ile artırılmış olarak belirlenen bu iç kuvvet değerleri TBDY 2018 9.2.5'te verilen yük kombinasyonlarına göre elde edilmiştir.

Bu duruma göre, mekanizma (akma) durumu ile uyumlu en elverişsiz kolon eksenel basınç kuvveti, $P_r = 8472.5 \text{ kN}$ olarak elde edildiğinden dolayı, kolon dayanımının dayanım fazlalığı katsayısı,

D ile çarpılarak büyütülmesiyle belirlenen iç kuvvet değeri ile kontrol edilmesi gerekmektedir.

$$P_{uc} = 15250.5 \text{ kN}$$

Kesit kompaktlık koşulu

TBDY 2018 Bölüm 9.9.1.1'e göre, yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması,

Başlık parçası için

$$\frac{b}{2.t} = \frac{448}{2.115} = 1.947 < 0.30 \sqrt{200000/355} = 7.12$$

Gövde parçası için

$$\frac{h}{t_w} = \frac{550}{71.9} = 7.65 < 1.49 \sqrt{200000/355} = 35.36$$

olduğundan süneklilik düzeyi yüksek enkesit için verilen koşullar sağlanmaktadır.

Kolonun karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

ÇYTHYE 2016 5.4.1 uyarınca,

Yerel burkulma kontrolü

Başlık parçası (Tablo 5.1.A,Durum 1),

$$\frac{b}{t_f} = \frac{448}{2.115} = 1.95 < 0.56 \sqrt{200000/355} = 13.29$$

Gövde parçası (Tablo 5.1.A,Durum 5),

$$\frac{h}{t_w} = \frac{550}{71.9} = 7.65 < 1.49 \sqrt{200000/355} = 35.36$$

Gerekli koşullar yönetmeliklere göre sağlandığından dolayı, kolon enkesitinin başlık ve gövde parçalarının narin olmadığı anlaşılmıştır.

Eğilmeli burkulma sınır durumu

ÇYTHYE 2016 6.4.3(a) uyarınca, burkulma boyu katsayısı, K=1.0 olarak alınmıştır.

Bu duruma göre,

Enkesit asal eksenlerine dik eleman burkulma boyları,

$$L_{cx} = (1.0)(3000) = 3000\text{mm}$$

$$L_{cy} = (1.0)(3000) = 3000\text{mm}$$

Yönetmelik 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları,

$$\lambda_x = \frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{3000}{202.7} = 14.8$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{3000}{117.2} = 25.6$$

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_x, \lambda_y) = \max(14.8, 25.6) = 25.6$$

Elemanın eksenel basınç kuvveti dayanım hesapları, belirleyici olarak saptanmış olan (Y-Y) eksenini etrafında oluşan eğilmeli burkulma durumuna göre belirlenecektir.

$$\lambda_{\max} = 25.6 \leq 4.71 \sqrt{200000/355} = 111.8$$

Elastik burkulma gerilmesi

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{(25.6)^2} = 3011.9 \text{ N/mm}^2$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_{ey}}}\right) \cdot F_y = \left(0.658^{\frac{355}{3011.9}}\right) \cdot 355 = 338.025 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 338.025 \cdot 126200 \cdot 10^{-3} = 42658.8 \text{ kN}$$

Buna göre, tasarım basınç kuvveti dayanımı,

$$P_d = \phi P_n = 0.9(42658.8) = 38392.9 \text{ kN}$$

Kolonun tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

ÇYTHYE 2016 Bölüm 5.4.1 uyarınca,

Yerel burkulma kontrolü

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\frac{b}{t_f} = \frac{448}{2.115} = 1.947 < 0.38 \sqrt{200000/355} = 9.02$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 15)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{550}{71.9} = 7.65 < 3.76 \sqrt{200000/355} = 89.24$$

Gerekli koşullar sağlandığından dolayı eleman enkesitinin başlık ve gövde parçaları kompakt olarak sınıflandırılmaktadır.

Kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ÇYTHYE 2016 9.2 uyarınca belirlenecektir.

$$M_n = M_p = F_y \cdot W_{px} = 355(24280)10^{-3} = 8619.4 \text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_b = 3000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76(117.2) \sqrt{\frac{200000}{355}} = 4896 \text{ mm}$$

Etkin atalet yarıçapı

$$i_{ts} = \frac{b}{\sqrt{12 \cdot (1 + \frac{h \cdot t_w}{6 \cdot b \cdot t_f})}} = \frac{448}{\sqrt{12 \cdot (1 + \frac{550 \times 71.9}{6 \times 448 \times 115})}} = 123.7 \text{ mm}$$

Elastik olmayan yanal burulmalı burkulmada sınır uzunluk

$$L_r = 1.95 \cdot i_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 \cdot F_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{W_{ex} \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{W_{ex} \cdot h_0}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{E}{0.7 \cdot F_y}\right)^2}}$$

$$h_0 = d - t_f = 290 - 115 = 175 \text{ mm}$$

$$L_r$$

$$= 1.95 \cdot 123.7 \cdot \frac{200000}{0.7 \cdot 355} \cdot \sqrt{\frac{(48210) \times 10^4 \cdot 1.0}{18870 \times 10^3 \cdot 175} + \sqrt{\left(\frac{(48210) \times 10^4 \cdot 1.0}{18870 \times 10^3 \cdot 175}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{200000}{0.7 \cdot 355}\right)^2}}$$

$$L_r = 28520 \text{ mm}$$

$$L_b = 3000 \text{ mm} < L_r = 28520 \text{ mm olduğu için}$$

Karakteristik eğilme momenti dayanımı = M_n

$$= C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 1.0 \left[8619.4 - (8619.4 - 0.7.355. (18870) \left(\frac{3000 - 4896}{28520 - 4896} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 8243.1 \text{ kNm}$$

Kolonun tasarım eğilme momenti dayanımı

$$M_c = \emptyset. M_n = 8243.1 \text{ kNm}$$

Bileşik etkiler altında eğilme momenti dayanımı

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{15250.0 \text{ kN}}{38392.8 \text{ kN}} = 0.397 \leq 1.0 \text{ OK}$$

Kat kolonları mekanizma durumu iç kuvvet reaksiyonları EK F' de tablo halinde verilmiştir.

3.10.3 Burkulması önlenmiş çelik çaprazlı kirişlerin tasarımı

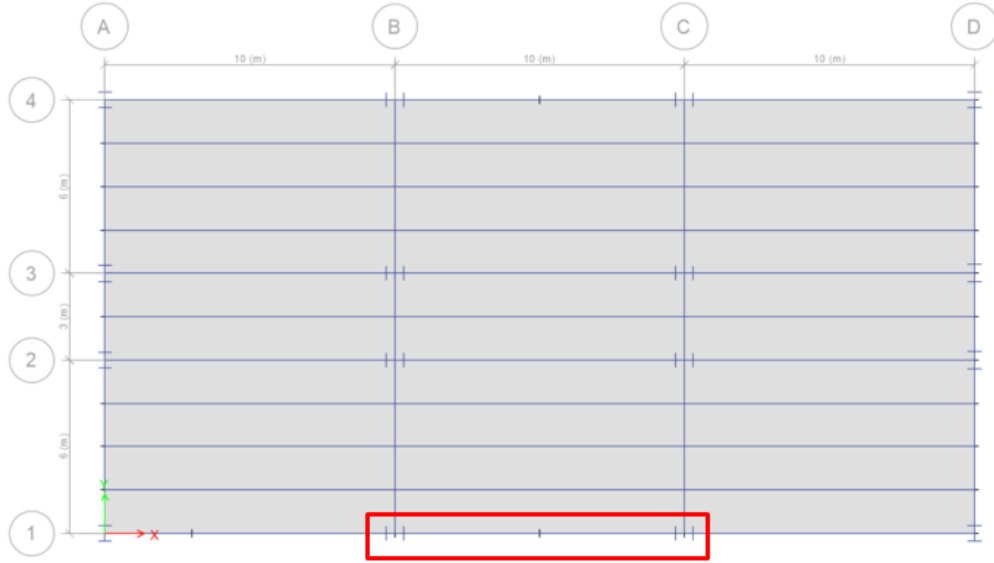
Kirişler, genellikle eğilme etkisine karşı dayanım gösteren yapısal elemanlar olarak bilinilmektedir.

23 katlı yapısal sistemde eğilme etkisi ve normal kuvvet etkisinin birlikte bulunduğu kirişler bulunmaktadır.

Bu tip kirişler tezde bulunduğundan dolayı hesapları ve tasarımları TBDY 2018 Bölüm 9, ÇYTHYE 2016 Bölüm 11 ve AISC 360-10 yönetmeliğindeki tasarım esaslarına göre yapılacaktır.

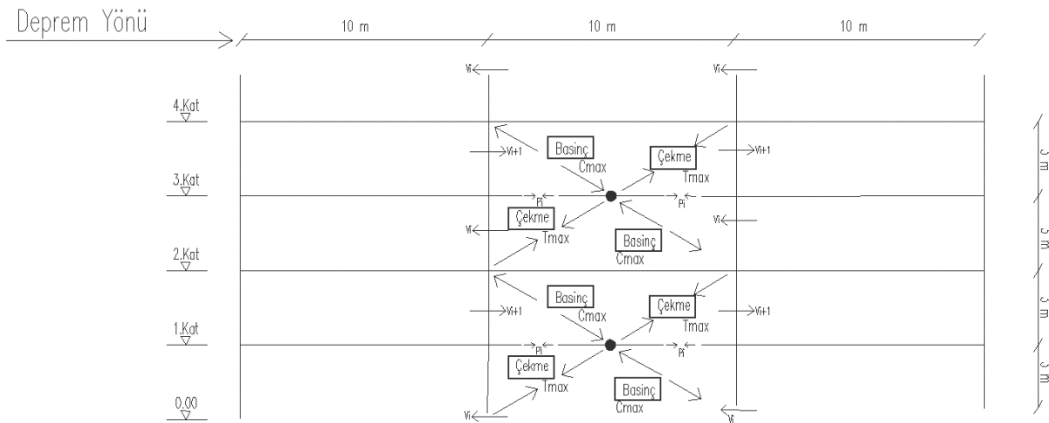
3.10.3.1 Burkulması önlenmiş çelik çaprazlı kirişlerin tasarımı (10 m'lik kirişler)

Bu yüksek lisans tez çalışmasında yer alan çerçeve ana kirişlerinin tamamının uç kısımları mafsallı olacak şekilde bağlanması planlanmıştır. Tasarım hesaplarında yapısal kirişlerin üzerinde rijit bir döşeme olduğu varsayıldığında, enkesit üst başlıkları basınç etkisi altında tutulu olarak kabul edilmiştir. Kirişler eğilme momenti ve normal kuvvet etkisi altında tasarlanacaktır.

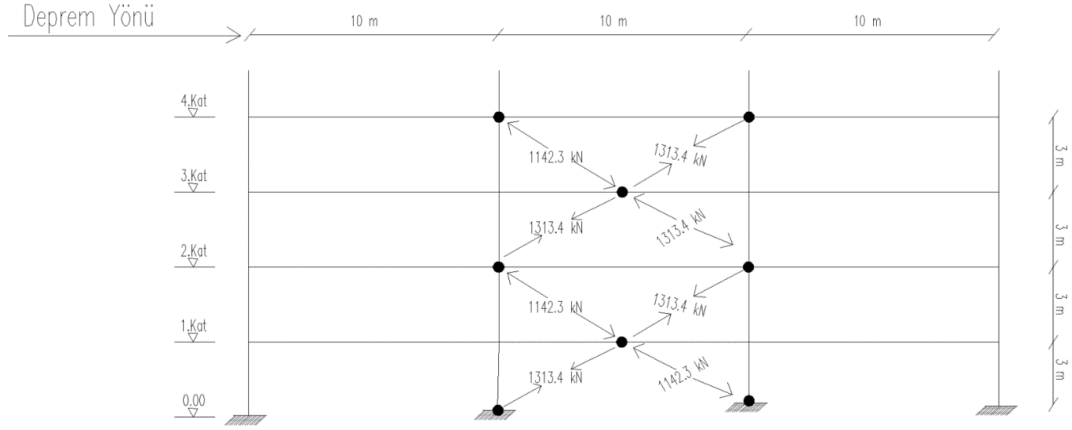


Şekil 3. 50 : Tasarımı yapılacak B-C / 1 aksı kirişi.

Şekil 3.51 ve Şekil 3.52’de verildiği gibi mekanizma durumu ve mekanizma durumuna karşılık gelen çapraz iç kuvvetleri belirtilmiştir.



Şekil 3. 51 : Kiriş iç kuvvet diyagramı.



Şekil 3. 52 : Birinci kat kirişi el hesabı için iç kuvvet diyagramı.

Mekanizma durumu ile uyumlu kiriş iç kuvvetlerinin hesabı

Kiriş orta noktasına bağlanan çaprazların, bu noktada oluşturdukları düşey ve yatay kuvvetlerin hesabı,

$$F_v = (1313.4 - 1142.3)\cos(30.6^\circ) + (1142.3 - 1313.4)\cos(30.6^\circ) = 0 \text{ kN}$$

$$M_{\text{kiriş}} = M_{\text{mekanizma}} + M_{\text{düşey yük}}$$

$$M_{\text{mekanizma}} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{düşey yük}} = \frac{qL^2}{8} = \frac{[1.39 \cdot 5.3 + 0.5 \cdot 3.5](10)^2}{8} = 113.96 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{kiriş}} = M_{\text{mekanizma}} + M_{\text{düşey yük}} = 0 + 113.96 = 113.96 \text{ kNm}$$

$$F_h = (1142.3 + 1313.4)(\sin(30.6)) + (1142.3 + 1313.4)(\sin(30.6)) \\ = 1277.8 \text{ kN}$$

$$P_{\text{kiriş}} = F_h/2 = 1277.8 \text{ kN}/2 = 613.9 \text{ kN (Basınç)}$$

Dayanım fazlalığı katsayısı (D) ile artırılmış deprem etkileri için en elverişsiz iç kuvvetler,

$1.39(G+NGX+NGY)+0.5(Q+NQX+NQY)+0.2(S+NSX+NSY)+2.5(EXN+0.3EYN)-$
NL yük birleşiminden elde edilmiştir.

$$M_{\text{kiriş}} = -124.8 \text{ kNm}$$

$$P_{\text{kiriş}} = -1878.7 \text{ kN}$$

D katsayılı yük birleşimleri ile hesaplar yapılmıştır.

Kiriş enkesitleri ve kapasite oranları EK F’de çizelge halinde verilmiştir.

Enkesit ;

Çizelge 3. 60 : Kiriş kesit parametreleri.

HEB 400			
$I_x = 57680 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 2884 \text{ cm}^3$	$i_x = 170.8 \text{ mm}$	$C_w = 3817 \text{ cm}^6$
$t_f = 24.0 \text{ mm}$	$I_y = 10820 \text{ cm}^4$	$W_{px} = 3232 \text{ cm}^3$	$b_f = 300 \text{ mm}$
$d = 298 \text{ mm}$	$A = 197.80 \text{ cm}^2$	$F_y = 355 \text{ N/mm}^2$	$i_y = 74.0 \text{ mm}$
$t_w = 13.5 \text{ mm}$	$h = 400 \text{ mm}$	$J = 355.70 \text{ cm}^4$	$W_{ey} = 721.3 \text{ cm}^3$
$F_u = 430 \text{ N/mm}^2$			

Kiriş kesit koşullarının kontrolü

TBDY 2018 9.9.1.1’e göre kiriş enkesitinin başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranları, TBDY 2018 Tablo 9.3 ‘ te verilen, h/d sınır değerini aşmaması gerekmektedir.

Buna göre;

Başlık parçası için

$$\frac{b}{2.t} = \frac{300}{2.24.0} = 6.25 < 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.30 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 7.12$$

Gövde parçası için

$$\frac{h}{t_w} = \frac{400}{13.5} = 29.62 < 1.49 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.366$$

olduğundan süneklilik düzeyi yüksek enkesit için verilen koşullar sağlanmaktadır.

Kirişin yanal doğrultuda desteklenmesi

TBDY 2018 9.2.8'e göre, taşıyıcı sistem davranışının süneklik düzeyi yüksek olarak tasarımı yapıldığı, yatay yük taşıyıcı çerçeve sistemlerinin çelik kirişlerinin alt ve üst başlıklarının, TBDY 2018 9.2.8.2(b)'de verilen özel koşullar esas alınarak yanal doğrultuda desteklenmesi gerekmektedir.

Bu duruma göre, yapısal kirişlerin alt ve üst başlıklarının desteklendiği noktalar arasındaki uzaklık için verilen,

$$L_b \leq 0.086 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.108)$$

koşulunu sağlaması gerekmektedir.

$$L_b \leq 0.086 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = L_b \leq 0.086 \cdot 74 \cdot \sqrt{\frac{200000}{355}} = 3585.4 \text{ mm}$$

Olduğundan, uzunluğu $L_b=3000\text{mm}$ olan stabilite bağlantıları kullanılmıştır. Ek olarak kirişin üst başlığı, başlıklı çelik ankrajlar yardımı ile kiriş boyunca betonarme döşmeye bağlı olduğundan mesnet noktaları arasında yanal doğrultuda sürekli olarak destekli kabul edilmiştir.

Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

ÇYTHYE 2016 5.4.1 uyarınca,

Yerel burkulma kontrolü

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{300}{2 \cdot 24.0} = 6.25 < 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.1$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 15)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{400}{13.5} = 29.62 < 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.25$$

gerekli koşullar sağlandığından eleman enkesinin başlık ve gövde parçaları kompakt olarak sınıflandırılır.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ve tasarım eğilme momenti dayanım, M_d

$$M_n = M_p = F_y \cdot W_{px} = 355 \cdot (3232) = 1147.4 \text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_b = 10000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76(74) \sqrt{\frac{200000}{355}} = 3091.3 \text{ mm}$$

Etkin atalet yarıçapı

$$i_{ts} = \frac{b}{\sqrt{12 \cdot (1 + \frac{h \cdot t_w}{6 \cdot b \cdot t_f})}} = \frac{300}{\sqrt{12 \cdot (1 + \frac{400 \cdot 13.5}{6 \cdot 300 \cdot 24})}} = 81.65 \text{ mm}$$

Elastik olmayan yanal burulmalı burkulmada sınır uzunluk

$$h_0 = d - t_f = 298 - 24.0 = 274 \text{ mm}$$

$$L_r = 1.95 \cdot i_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 \cdot F_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{W_{ex} \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{W_{ex} \cdot h_0}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{E}{0.7 \cdot F_y}\right)^2}}$$

$$L_r = 1.95 \cdot 81.65 \cdot \frac{200000}{0.7 \cdot 355} \cdot \sqrt{\frac{355 \cdot 70.1}{2884 \cdot 274.0} + \sqrt{\left(\frac{355 \cdot 70.1}{2884 \cdot 274.0}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{200000}{0.7 \cdot 355}\right)^2}}$$

$$= 19221.4 \text{ mm}$$

$$L_b = 10000 \text{ mm} < L_r = 19221.4 \text{ mm olduğu için}$$

Karakteristik eğilme momenti dayanımı =

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 1.0 \left[1147.4 - (1147.4 - 0.7 \cdot 355 \cdot (2884)) \left(\frac{10000 - 3091.3}{19221.4 - 3091.3} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 306.96 \text{ kNm}$$

Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımı

$$M_c = \phi \cdot M_n = 0.9 \cdot 306.96 = 276.26 \text{ kNm}$$

Oran

$$\frac{M_u}{M_c} = \frac{124.8 \text{ kNm}}{276.26 \text{ kNm}} = 0.451$$

Kirişin karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

ÇYTHYE 2016 5.4.1 uyarınca,

Yerel burkulma kontrolü

Başlık parçası (Tablo 5.1A, Durum 1)

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{300}{2 \cdot 24.0} = 6.25 < 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 13.29$$

Gövde parçası (Tablo 5.1A, Durum 5)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{400}{13.5} = 29.62 < 1.49 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.36$$

gerekli koşullar sağlandığından kolon enkesitinin başlık ve gövde parçaları narin değildir.

ÇYTHYE 2016 8.2.1 uyarınca,

Eğilmeli burkulma sınır durumu

Enkesit asal eksenlerine dik eleman burkulma boyları,

$$L_{cx} = (1.0)(5000) = 5000 \text{ mm}$$

$$L_{cy} = (1.0)(5000) = 5000 \text{ mm}$$

Yönetmelik 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları,

$$\lambda_x = \frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{5000}{170.8} = 29.27$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{5000}{74.0} = 67.6$$

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_x, \lambda_y) = \max(29.27, 67.6) = 67.6$$

Elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, (Y-Y) eksenini etrafında oluşan eğilmeli burkulma durumu belirleyecektir.

$$\lambda_{\max} = 67.6 \leq 4.71 \sqrt{2000000/355} = 111.8$$

Elastik burkulma gerilmesi

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{(67.6)^2} = 431.95 \text{ N/mm}^2$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_{ey}}}\right) \cdot F_y = \left(0.658^{\frac{355}{431.95}}\right) \cdot 355 = 251.86 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 251.86 \cdot 19780 \cdot 10^{-3} = 4981.8 \text{ kN}$$

Buna göre , tasarım basınç kuvveti dayanımı,

$$P_d = \phi P_n = 0.9(4981.8) = 4483.6 \text{ kN}$$

Oran

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1878.7 \text{ kN}}{4483.6 \text{ kN}} = 0.419$$

Birleşik etkiler altında dayanım kontrolü

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1878.7 \text{ kN}}{4483.6 \text{ kN}} = 0.419 > 0.2$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = \frac{1878.7}{4483.6} + \frac{8}{9} \left(\frac{124.8}{276.26} \right) = (0.419 + 0.451) = 0.87 \leq 1.0 \quad \text{OK}$$

Tasarım kesme kuvveti dayanım kontrolü

Çift simetri eksenli I-enkesit ÇYTHYE 2016 10.2.1.(a) uyarınca,

$$\frac{h}{t_w} = \frac{400}{13.5} = 29.62 < 2.24 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.16$$

$\phi_v = 1.00$ (YDKT) ve $C_{v1} = 1.00$ olarak alınacaktır.

$$V_n = 0.6 \cdot R_y \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_{v1}$$

$$V_n = 0.6 \cdot (1.3355) \cdot 298.13.5.1.0 = 1113.9 \text{ kN}$$

$$V_d = \phi_v \cdot V_n = (1.00) \cdot (1113.9) = 1113.9 \text{ kN}$$

Oran :

$$\frac{V_u}{V_d} = \frac{161.8 \text{ kN}}{1113.9 \text{ kN}} = 0.145$$

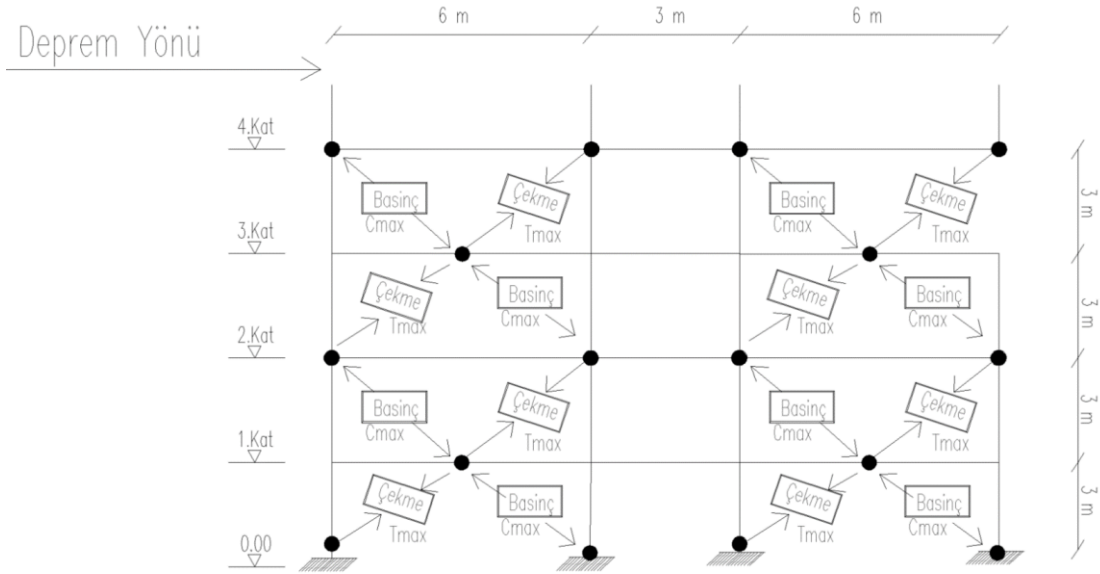
3.10.3.2 Burkulması önlenmiş çelik çaprazlı kirişlerin tasarımı (6 m ‘ lik kirişler)

Kirişlere eğilme momenti ve normal kuvvet etki etmektedir.

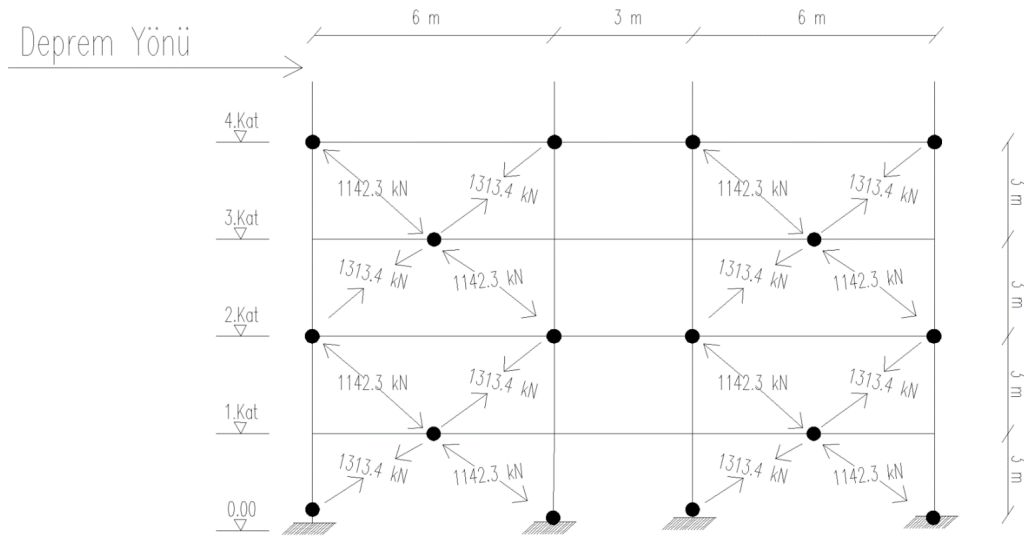


Şekil 3. 53 : Tasarımı yapılacak A / 3-4 aksı kirişi.

Şekil 3.55 ve Şekil 3.56’da belirtildiği gibi mekanizma durumu ve mekanizma durumunda oluşan için çapraz kuvvetleri değerleri belirtilmiştir.



Şekil 3. 54 : Kiriş iç kuvvet diyagramı.



Şekil 3. 55 : Birinci kat kirişi el hesabı için iç kuvvet diyagramı.

Mekanizma durumu ile uyumlu kiriş iç kuvvetlerinin hesabı

Kirişlerin açıklık ortalarında birleşen burkulması önlenmiş çelik çaprazların, bu noktalarda oluşturdukları düşey ve yatay kuvvet değerleri,

$$F_v = (1313.4 - 1142.3)\cos(45^\circ) + (1142.3 - 1313.4)\cos(45^\circ) = 0 \text{ kN}$$

$$M_{\text{kiriş}} = M_{\text{mekanizma}} + M_{\text{düşey yük}}$$

$$M_{\text{mekanizma}} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{düşey yük}} = \frac{qL^2}{8} = \frac{[1.39.5.3 + 0.5.3.5](10)^2}{8} = 113.96 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{kiriş}} = M_{\text{mekanizma}} + M_{\text{düşey yük}} = 0 + 113.96 = 113.96 \text{ kNm}$$

$$F_h = (1142.3 + 1313.4)(\sin(45^\circ)) + (1142.3 + 1313.4)(\sin(45^\circ)) \\ = 3472.9 \text{ kN}$$

$$P_{\text{kiriş}} = F_h/2 = 3472.9 \text{ kN}/2 = 1736.4 \text{ kN (Basınç)}$$

Dayanım fazlalığı katsayısı (D) ile artırılmış deprem etkileri için elde edilen en elverişsiz iç kuvvetler,

$1.39(G+NGX+NGY)+0.5(Q+NQX+NQY)+0.2(S+NSX+NSY)+2.5(EXN+0.3EYN)-$
NL yük kombinasyonundan elde edilmiştir.

$$M_{\text{kiriş}} = -95.4 \text{ kNm}$$

$$P_{\text{kiriş}} = -1257.8 \text{ kN}$$

Bu duruma göre dayanım fazlalığı katsayılı kombinasyondan elde edilen iç kuvvetler mekanizmaya göre daha büyük etkiye neden olmaktadır.

D katsayılı yük birleşimleri ile boyutlandırma hesapları yapılmıştır.

Kiriş enkesitleri ve kapasite oranları EK F' de tablo halinde verilmiştir.

Enkesit

Çizelge 3. 61 : Kiriş kesit parametreleri.

HEB 360			
$I_x = 43190 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 2400 \text{ cm}^3$	$i_x = 154.6 \text{ mm}$	$C_w = 2883 \text{ cm}^6$
$t_f = 22.5 \text{ mm}$	$I_y = 10140 \text{ cm}^4$	$W_{px} = 2683 \text{ cm}^3$	$b_f = 300 \text{ mm}$
$d = 261 \text{ mm}$	$A = 180.60 \text{ cm}^2$	$F_y = 355 \text{ N/mm}^2$	$i_y = 74.9 \text{ mm}$
$t_w = 12.5 \text{ mm}$	$h = 360 \text{ mm}$	$J = 292.5 \text{ cm}^4$	$W_{ey} = 676.1 \text{ cm}^3$
$F_u = 430 \text{ N/mm}^2$	$W_{py} = 1032 \text{ cm}^3$		

Kiriş kesit koşullarının kontrolü

TBDY 2018 9.9.1.1'e göre kiriş enkesit başlığının genişlik/kalınlık ve gövdesinin yükseklik/kalınlık oranlarının, TBDY 2018 Çizelge 9.3'de verilen, h_d sınır değerini aşmaması gerekmektedir.

Bu duruma göre;

Başlık parçası için

$$\frac{b}{2 \cdot t} = \frac{300}{2 \cdot 22.5} = 6.67 < 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.30 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 7.12$$

Gövde parçası için

$$\frac{h}{t_w} = \frac{360}{12.5} = 28.8 < 1.49 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.366$$

Değerleri elde edildiğinden süneklik düzeyi yüksek enkesit için verilen koşullar sağlanmaktadır.

Kirişin yanal doğrultuda desteklenmesi

TBDY 2018 9.2.8.2(b)'de belirtilen özel koşullar sağlandığından ve TBDY 2018 9.2.8'e göre yanal doğrultuda destekli kabul edilmektedir. Bu duruma göre,

$$L_b \leq 0.086 \cdot i_y \cdot \frac{E}{F_y} \quad (3.109)$$

koşulunu sağladığı görülmektedir.

$$L_b \leq 0.086 \cdot i_y \cdot \frac{E}{F_y} = L_b \leq 0.086 \cdot (74.9) \cdot \frac{200000}{355} = 3628.9 \text{ mm}$$

Olduğundan, $L_b=3000\text{mm}$ olacak şekilde stabilite bağlantıları kullanılmıştır.

Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

ÇYTHYE 2016 5.4.1 uyarınca,

Yerel burkulma kontrolü

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{300}{2 \cdot 22.5} = 6.67 < 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.1$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 15)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{360}{12.5} = 28.8 < 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.25$$

gerekli koşullar sağlandığından eleman enkesitinin başlık ve gövde parçaları kompakt olarak sınıflandırılmaktadır.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ve tasarım eğilme momenti dayanım, M_d

$$M_n = M_p = F_y \cdot W_{px} = 355 \cdot (2683) = 952.47 \text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_b = 6000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 (74.9) \sqrt{\frac{200000}{355}} = 3128.9 \text{ mm}$$

Etkin atalet yarıçapı

$$i_{ts} = \frac{b}{\sqrt{12 \cdot (1 + \frac{h \cdot t_w}{6 \cdot b \cdot t_f})}} = \frac{300}{\sqrt{12 \cdot (1 + \frac{360 \cdot 12.5}{6 \cdot 300 \cdot 22.5})}} = 82.16 \text{ mm}$$

Elastik olmayan yanal burulmalı burkulmada sınır uzunluk

$$h_0 = d - t_f = 300 - 22.5 = 277.5 \text{ mm}$$

$$L_r = 1.95 \cdot i_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 \cdot F_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{W_{ex} \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{W_{ex} \cdot h_0}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{E}{0.7 \cdot F_y}\right)^2}}$$

$$L_r = 1.95 \cdot 82.16 \cdot \frac{200000}{0.7 \cdot 355} \cdot \sqrt{\frac{292.5 \cdot 1}{2400 \cdot 277.5} + \sqrt{\left(\frac{292.5 \cdot 1.0}{2400 \cdot 277.5}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{200000}{0.7 \cdot 355}\right)^2}} \\ = 589221.4 \text{ mm}$$

$$L_b = 6000 \text{ mm} < L_r = 19221.4 \text{ mm olduğu için}$$

Karakteristik eğilme momenti dayanımı =

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 1.0 \left[952.47 - (952.47 - 0.7 \cdot 355 \cdot (2400)) \left(\frac{6000 - 3128.9}{589221.4 - 3128.9} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 447.8 \text{ kNm}$$

Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımı

$$M_c = \phi \cdot M_n = 0.9 \cdot 447.8 = 403.1 \text{ kNm}$$

Oran

$$\frac{M_u}{M_c} = \frac{94.3 \text{ kNm}}{403.1 \text{ kNm}} = 0.24$$

Kirişin karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

ÇYTHYE 2016 5.4.1 uyarınca,

Yerel burkulma kontrolü

Başlık parçası (Tablo 5.1A , Durum 1)

$$\frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{300}{2 \cdot 22.5} = 6.67 < 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 13.29$$

Gövde parçası (Tablo 5.1A , Durum 5)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{360}{12.5} = 28.8 < 1.49 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.36$$

gerekli koşullar sağlandığından kolon enkesitinin başlık ve gövde parçaları narin değildir.

ÇYTHYE 2016 8.2.1 uyarınca ,

Eğilmeli burkulma sınır durumu

Enkesit asal eksenlerine dik eleman burkulma boyları,

$$L_{cx} = (1.0)(3000) = 3000\text{mm} , L_{cy} = (1.0)(3000) = 3000\text{mm}$$

Yönetmelik 8.1.1 uyarınca , narinlik oranları,

$$\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{3000}{154.6} = 19.41, \quad \frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{3000}{74.9} = 40.1$$

$$\lambda_{\max} = \max\left(\frac{L_{cx}}{i_x}, \frac{L_{cy}}{i_y}\right) = \max(19.41, 40.1) = 40.1$$

Elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını , (y-y) eksenini etrafında oluşan eğilmeli burkulma durumu belirleyecektir.

$$\lambda_{\max} = 40.1 \leq 4.71 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 111.8$$

Elastik burkulma gerilmesi

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{(40.1)^2} = 1227.6 \text{ N/mm}^2$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_{ey}}} \right) \cdot F_y = \left(0.658^{\frac{355}{1227.6}} \right) \cdot 355 = 251.86 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 251.86 \cdot 18060 \cdot 10^{-3} = 4548.75 \text{ kN}$$

Buna göre , tasarım basınç kuvveti dayanımı,

$$P_d = \phi P_n = 0.9(4548.75) = 4093.9 \text{ kN}$$

Oran ;

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1257.8 \text{ kN}}{4093.9 \text{ kN}} = 0.307$$

Birleşik etkiler altında dayanım kontrolü

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1257.8 \text{ kN}}{4093.9 \text{ kN}} = 0.307 > 0.2$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = \frac{1257.8 \text{ kN}}{4093.9 \text{ kN}} + \frac{8}{9} \left(\left(\frac{94.7}{403.1} \right) \right) = 0.52 \leq 1.0 \quad \text{OK}$$

Tasarım kesme kuvveti dayanım kontrolü

Çift simetri eksenli I-enkesit ÇYTHYE 2018 10.2.1.(a) uyarınca,

$$\frac{h}{t_w} = \frac{360}{12.5} = 28.8 < 2.24 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.16$$

$\phi_v = 1.00$ (YDKT) ve $C_{v1} = 1.00$ olarak alınacaktır.

$$V_n = 0.6 \cdot R_y \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_{v1}$$

$$V_n = 0.6 \cdot (1.3 \cdot 355) \cdot 260 \cdot 12.5 \cdot 1.0 = 899.5 \text{ kN}$$

$$V_d = \phi_v \cdot V_n = (1.00) \cdot (899.5) = 899.5 \text{ kN}$$

Oran ;

$$\frac{V_u}{V_d} = \frac{111.8 \text{ kN}}{899.5 \text{ kN}} = 0.125$$

3.10.3.4 BÖÇ'lü kolon kiriş ve çapraz birleşiminin tasarımı

Tasarımı yapılacak olan bağlantı detayı B-1 akslarındaki kolon, kiriş ve çapraz birleşimidir. Detaylı hesap adımları EK F ' de verilmiştir.



4. BİNANIN ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

Tez kapsamında, yapı ZTDOA yöntemi ile değerlendirilmiştir.

ZTDOA, taşıyıcı sistem elemanlarının davranışının deprem yer ivmesi kayıtlarına bağlı olarak elde edilen differansiyel denklem takımlarının zaman artımları ile adım adım incelenmesini esas almaktadır. Analiz sırasında da binaya ait taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranış ve sistemin rijitlik matrisinin zamana bağlı değişimi gözlenmektedir. ZTDOA, yapının taşıyıcı sisteminin gerçek deprem durumlarının modelizasyonuna en çok yaklaşılan ve gerçek durum ile benzer sonuçlar elde edilebilen en etkili analiz yöntemidir. Doğrusal olmayan bu analiz yöntemi ile yapısal elemanlarda oluşan plastik mafsallar ve yerdeğiştirmelere bağılı olarak kesitlerdeki hasar durumları doğrudan tespit edilebilmektedir.

Tezin daha önceki bölümlerinde de bahsedildiğı üzere zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılabilmesi için inşa edilecek lokasyon deprem yer ivmesi kayıtlarına benzer parametrelerde olan en az 11 deprem yer hareketi takımı belirlenmiştir. Bu yer hareketi ivme kayıtları birbirine dik doğrultuda ve aynı anda (X) ve (Y) doğrultularında yapıya etki ettirilmiştir.

Benzer hesap adımları ivme kayıt eksenlerinin 90 ° döndölmesi ile tekrarlanmıştır. İki farklı doğrultularda yapılan iki analizlerden sonra, davranış büyüklükleri 22 hesabın mutlak değerlerinin ortalaması alınmıştır. Deprem yer ivmesi kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi Bölüm 5.2’ de detaylı şekilde açıklanmıştır. Deprem yer ivmesi hareketi kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi işlemi TBDY 2018 Bölüm 2.5’e göre yapılmıştır. Bu yüksek lisans tezinde tamamlanan tasarım, boyutlandırma aşamalarından sonra ilerleyen bölümlerde Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yapılacak olup aşamaları aşağıdaki gibi sıralanmıştır. ŞGDT’ye göre yaklaşımda TBDY 2018 Bölüm 5.1.1’e uygun olacak şekilde tasarım aşamaları takip edilecektir. Bu aşamalar ise;

- Yüksek lisans tezinin daha önceki bölümlerinde tasarımı ve boyutlandırma işlemleri yapılmış olan yapısal elemanların, nonlinear modelleme ile elde edilmiş analiz sonuçlarına göre iç kuvvet - şekil değiştirme bağıntıları belirlenecektir.
- İnşaa edilecek lokayona uygun seçilmiş deprem yer hareketlerine göre, yapının ZTDOA artırımsal yöntemlerle analizi yapılır, doğrusal olmayan sünük davranışa ait yapının şekil değiştirme talepleri belirlenir. Analiz sonucunda elde edilen şekil değiştirme ve iç kuvvet taleplerine göre, Kontrollü Hasar Performans Hedefi (KH) ile uyumlu olarak tanımlanan dayanım kapasiteleri karşılaştırılacaktır.
- Bu karşılaştırma işlemi sonucunda elde edilen kapasite, şekildeğiştirme ve dayanım talepleri, Kontrollü Hasar (KH) durumunda elde edilen kapasite, şekildeğiştirme ve dayanım taleplerinden daha düşük olması durumunda ise şekildeğiştirmeye göre tasarım tamamlanacaktır. Aksi durumun oluşması halinde ise eleman kesitleri tekrardan belirlenecek ve hesap işlemleri tekrarlanacaktır. Yeniden analiz işlemi ile değerlendirme yapılacaktır.

TBDY 2018 Bölüm 5 Denklem 5C.1-2-5-6 çelik kirişler ve kolonlar için akma dönmesinin hesaplandığı denklemler aşağıda verilmiştir.

Çelik kirişler için

$$\text{Bütün kesit türleri için : } \theta_y = \frac{W_p F_{ye} l_b}{6EI_b} \quad \text{TBDY 2018 Denk. (5C. 1)} \quad (4.1)$$

Çelik kolonlar için

$$\text{Bütün kesit türleri için : } \theta_y = \frac{W_p F_{ye} l_k}{6EI_k} \left[1 - \frac{P}{P_{ye}} \right] \quad \text{TBDY 2018 Denk. (5C. 2)} \quad (4.2)$$

Eksenel basınç kuvveti altında akma şekildeğiştirmesi

$$\text{Akma şekildeğiştirmesi : } \Delta_c = \frac{P_c l_c}{EA_c} \quad \text{TBDY 2018 Denk. (5C. 5)} \quad (4.3)$$

Eksenel çekme kuvveti altında akma şekildeğiştirmesi

$$\text{Akma şekildeğiştirmesi: } \Delta_c = \frac{P_{ye} l_c}{EA_c} \quad \text{TBDY 2018 Denk. (5C. 6)} \quad (4.4)$$

Burkulması önlenmiş çelik çaprazın akma şekildeğiştirmesi

Akma şekildeğiştirmesi: $\Delta_y = \frac{P_{bec} l_{bec}}{EA_{bec}}$ TBDY 2018 Denk. (5C.7) (4.5)

Çizelge 4. 1 : Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin şekildeğiştirme sınırları.

Eleman Tipi	Eksenel Plastik Şekildeğiştirme Sınırları		
	SH	KH	GÖ
Burkulması engellenmiş çelik çaprazlar	Δ_y	10 Δ_y	13.3 Δ_y

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin kolonları için plastik şekildeğiştirme sınırları Çizelge 4.2 - 4.3’de belirtilmiştir.

Çizelge 4. 2 : Çelik kolonlarda plastik dönme sınırları.

Kolon (Eğilme)	Plastik Dönme Sınırları (rad)		
	SH	KH	GÖ
$P/P_c < 0.20$			
Süneklik Düzeyi Yüksek	10 _y	60 _y	90 _y
Süneklik Düzeyi Sınırlı	0.250 _y	30 _y	40 _y
$0.20 \leq P/P_c \leq 0.50$			
Süneklik Düzeyi Yüksek	1.5(1-1.66 P/P_c)0 _y	9(1-1.66 P/P_c)0 _y	13.5(1-1.66 P/P_c)0 _y
Süneklik Düzeyi Sınırlı	0.250 _y	0.70 _y	10 _y
Kayma Bölgesi	10 _y	90 _y	120 _y

Çizelge 4. 3 : Çelik kirişlerde plastik dönme sınırları.

Kiriş (Eğilme)		Şekil Değiştirme Sınırları		
		SH	KH	GÖ
Süneklik Düzeyi Yüksek	Uzama	10 _y	60 _y	90 _y
	Süneklik Düzeyi Sınırlı	Uzama	0.250 _y	30 _y

4.1 Taşıyıcı Sistemin Etabs Programında Modellenmesi

4.1.1 Yapı modellemesi genel kuralları

TBDY 2018 5.4 ve TBDY 2018 13.6.2 kurallarına göre ;

- Taşıyıcı sistem temel olarak üç boyutlu olarak modellenmiştir.
- Yapısal tasarım elemanları olan kolon kiriş, ikincil (tali) kiriş ve burkulması önlenmiş çelik çaprazlar çubuk sonlu eleman olarak modellenmiştir.
- Yapıda oluşması planlanan nonlinear davranış sistemi için, elemanların uçlarına plastik mafsallık bölgeleri tanımlanmıştır. Genel olarak bu bölgeler yığılı plastik şekil değiştirme modeli veya yayılı plastik şekil değiştirme modeli ile sistem kurulabilmektedir. Bu yüksek lisans tezinde tanımlanan plastik davranış modeli ise, yığılı plastik davranış modeli olacaktır. Taşıyıcı sistem elemanlarına tanımlanan plastik mafsallar Bölüm 5.1.2’de detaylı olarak anlatılmıştır.
- Yapı modeline ait sönüm oranı %2.5 alınmıştır.
- Eksenel kuvvetlerden dolayı ortaya çıkan eksenel yüklerin ikinci mertebe etkileri dikkate alınmıştır.
- Taşıyıcı sistemin, yapı çeliğinin beklenen(ortalama) dayanımları esas alınmıştır. Bu değerler tezin 2. bölümünde belirtilmiştir.
- TBDY 2018 13.6.3.3’e göre, ön tasarım hesabında binanın herhangi bir katında A1 türü düzensizliğin bulunması ve burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} > 1.5$ olması durumunda, III. Aşama hesapta ek dışmerkezlilik etkisi TBDY 2018 4.5.10.2’ye göre gözönüne alınacaktır. Bu tezde 1. katta burulma düzensizliği katsayısı maksimum $\eta_{bi} = 1.02$ olarak elde edilmiştir. Bu sebeple ek dışmerkezlilik etkisi hesaplarda dikkate alınmamıştır.

Taşıyıcı sistem, Etabs ve OpenSEES analiz programları kullanarak modellenmiştir.

4.1.2 Deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin temel amacı, yapıya etkiyecek olan dinamik yüklerin zamana bağlı olarak nasıl değiştiğini ve yapıda oluşacak deprem kaynaklı gerçeğe yakın dinamik iç kuvvetlerin davranışını elde edebilmektir. Burada gerçeğe yakınsayan davranışın elde edilebilmesi için uygun deprem kayıtlarıyla çalışılma yapılması gerekmektedir.

Yapıya ait uygun deprem kayıtlarının seçilirken dikkat edilecek konular ise, fay mekanizması, yerel zemin koşulları, faya olan mesafe , tasarım depremine uyumlu deprem büyüklüğü gibi parametreler yapıya uygun deprem kayıtlarını belirlerken göz önüne alınmaktadır. Analizler esnasında tarihsel deprem kayıtları veya benzeştirilmiş deprem kayıtları da kullanılabilir.

Kayıtlı deprem çıktıları, depremin doğası ve genel özellikleri ile ilgili (deprem dalgası genliği, frekansı, faz özellikleri ve frekans muhteviyatı) hakkında sağlıklı bilgiler vermektedir. Ek olarak deprem yer ivmesi kayıtları değerleri depremin kaynağından, yayıldığı ortam yoğunluğu ve özelliğinden ve zemin parametrelerinden doğrudan etkilenmekte ve bu parametrelerin özelliklerini yansıtmaktadır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlere en önemli faktör, TBDY 2018'e göre yapının bulunduğu bölgeye uygun deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesidir. Mevcut deprem kayıtlarının TBDY 2018 ile uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilerek, tasarım ivme spektrumu ile uyumlu hale gelmesi sağlanabilir (Özdemir ve Fahjan, 2007).

Dolayısıyla bu yüksek lisans tezinde gerçek deprem ivmesi kayıtlarından faydalanılmış olup bulunan kayıtlar yönetmelik gereksinimlerini sağlayacak şekilde ölçeklenmiştir. Doğrusal olmayan analizde sistemin zamana bağlı yüklenme değişimi olduğundan dolayı, yer hareketlerinin özelliklerine bağlı olarak, yapıya etkisi değişkenlik göstermektedir.

Search

These characteristics are defined in the NGA-West2 Flatfile. You need to re-run Search when any of these parameters are updated.

Record Characteristics:

RSN(s) : RSN1,...,RSNn

Event Name :

Station Name :

Search Parameters:

Fault Type :

Magnitude :

min,max

RJB(km) :

min,max

Rrup(km) :

min,max

Vs30(m/s) :

min,max

D5-95(sec) :

min,max

Pulse :

Additional Characteristics:

Max No. Records :

(<=100)

Suite

Spectral Ordinate :

Damping Ratio :

Suite Average :

Şekil 4. 1 :PEER veritabanı arama filtresi.

Bu nedenle sadece yapıya yakın bir deprem kaydı ile analiz yapmak gerçek sonuca yaklaştıramayabilmektedir. Tek bir analizle gerçek sonuç değerlerine yakınsamaya çalışmamak için, TBDY 2018’de belirtildiği gibi bu yüksek lisans tezinde de en az 11 deprem kaydı, yer hareketi, ile çalışılmıştır.

Deprem kayıtlarına ise internet ortamından ulaşılmıştır. İnternet ortamında birden fazla deprem veritabanını bulunmakla birlikte bu tezde Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) kullanılmıştır. PEER veritabanına ait yapıya uygun deprem yer ivmesi kayıtlarına ulaşabilmek için girilmesi gereken bazı önemli parametreler bulunmaktadır. Bu parametreler uygun yer hareketi davranışının yakalanması için önem arz etmektedir. Bu parametrelerin kullanımı aşağıdaki kısımlarda detaylı olarak açıklanmıştır. Yapı Kuzey Anadolu Fay hattında bulunmakta olup, Kuzey Anadolu Fay hattı bilindiği üzere yanal atımlı (strike slip) olarak geçmektedir. İlk arama parametresi böylece yanal atımlı fay mekanizması özelliği olarak belirlenmiştir. Bu parametre bilgisine ek olarak deprem büyüklüğü 6-8 arasında uyumlu olacak şekilde seçilmiştir.

Deprem oluşum merkezinin yeryüzündeki dik projeksiyonuna en yakın uzaklığını ifade eden R_{JB} ve fay kırılma düzlemine olan en yakın dik uzaklığı temsil eden R_{RUP} 0-30 km arasında sınırlandırılmıştır. Binanın bulunduğu bölgedeki zemin sınıfı ZC olarak kabul edilmiştir.

ZC zemin sınıfına ait, zeminin ilk 30 metresi için belirlenmiş olan kayma dalgası hızı $V_{S30}=360-760$ m/s aralığındadır. Tüm arama parametleri ve yapılan filtrelemeleri gösteren PEER web sayfası arayüzü Şekil 4.1’de gösterilmiştir. 11 adet Deprem yer ivmesi kayıtlarının ölçeklendirilmesinde basit ölçeklendirme yönteminden faydalanılmıştır.

Basit ölçeklendirme yönteminde, deprem kaydının frekans içeriği değiştirilememekte sadece genlikliklerinin büyütülmesi veya küçültülmesi işlemleri yapılabilmektedir. TBDY 2018 göre belirtildiği gibi en az 11 deprem takımı seçilmeli ve bir deprem takımdan en fazla üç adet olması zorunlu tutulmuştur.

11 adet deprem yer ivmesi kaydının kullanılması ile bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Elde edilen yatay bileşke yatay spektrum ise, DD2 deprem yer hareketi düzeyinde elde edilen tasarım ivme spektrumunda $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ aralığındaki spektral ivme değerlerinden %30 daha büyük olacaktır.

T_p yapıya ait hakim periyodunu temsil etmektedir. Hakim periyot yatay ve düşey yönlerde farklılık gösterdiğinden dolayı sınır koşulları için en elverişsiz olan periyot değeri kullanılmıştır. Taşıyıcı sistemin nonlineer analizlerinde kullanılacak deprem takımları Çizelge 4.4'te belirtilmiştir.

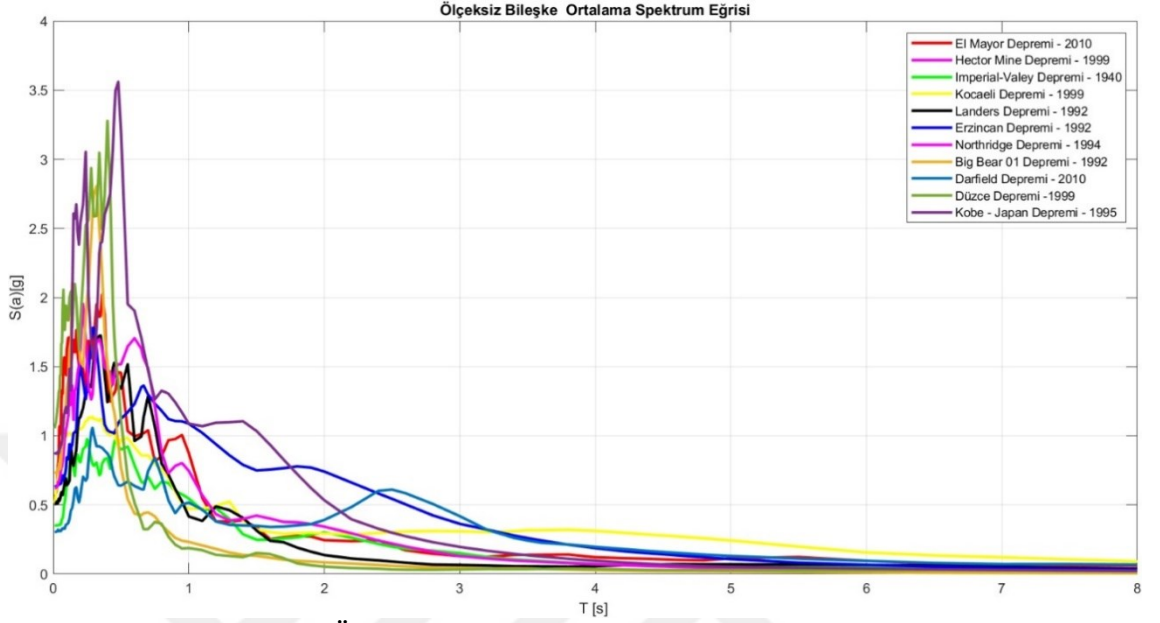
Çizelge 4. 4 : Seçilmiş deprem yer imesi kayıtları özellikleri.

Deprem	Yıl	İstasyon	Büyüklik	Mekanizma	R_{jb}
1- Düzce	1999	Lamont	7.14	Y.A	8.03
2- Kobe Japan	1995	Tadoka	6.9	Y.A	2.5
3-Landers	1992	Amboy	7.28	Y.A	69.21
4-Northridge	1994	Canyon	6.69	Y.A	11.39
5-Kocaeli	1999	Ambarlı	7.51	Y.A	1.38
6-Imperial Valley	1940	El Centro	6.95	Y.A	6.09
7-Hector Mine	1999	Amboy	7.13	Y.A	11.39
8- Darfield	2010	Christchurch	7.0	Y.A	19.89
9- El Mayor	2010	Cerro Prieto	7.2	Y.A	13.7
10- Big Bear-01	1992	Big Bear Lake	6.46	Y.A	8.30
11- Erzincan	1992	Erzincan	6.95	Y.A	4.38

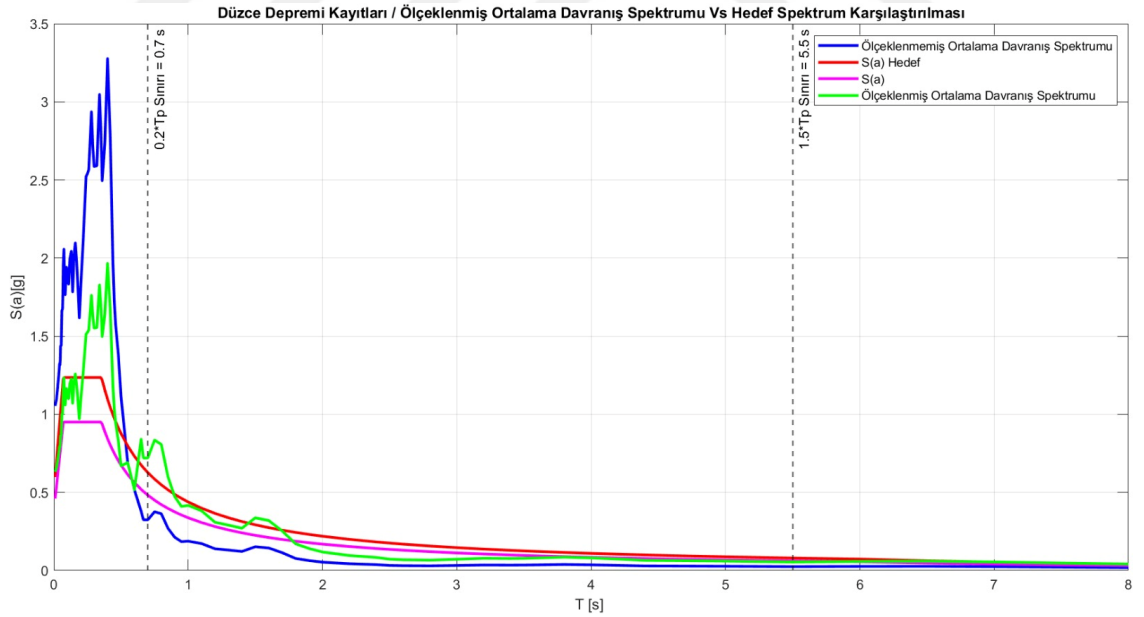
Elde edilmiş olan ölçeksiz deprem ivme kayıtlarının elastik tasarım spektrumu ile uyumlu hale getirilmesi için yapılan işlem adımları aşağıdaki gibidir.

- İlk adım olarak deprem yer ivmesi kayıtlarının X ve Y doğrultularına ait orijinal ivme değerlerinin karelerinin toplamının karekökü alınarak ilgili depremlerin orijinal bileşke ivme kayıtları elde edilmiştir.
- Yatay elastik tasarım ivme spektrumu 1.3 katsayısı ile arttırılarak depremlerin orijinal bileşke ivme kayıtları ile kıyaslanması yapılmıştır.
- İkinci adımda ise yatay tasarım spektrum ivme değerleri ile üçüncü adımda elde edilen orijinal spektrum ivme değerleri her adımda ($\Delta t=0.05$ sn) oranlanarak bütün adımlar için ($0 < T < 8$ sn) bir ölçek katsayısı elde edilmiştir.
- Elde edilen ölçek katsayılarının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki ortalamaları alınarak bir ölçek katsayısı elde edilmiştir. Bu kısımda kullanılan T_p periyodu 0.2 katsayısı ile çarpılırken ikinci hakim periyot, 1.5 katsayısı ile çarpılarak sınır değerler elde edilmiştir.
- 11 adet deprem yer ivmesi kaydı için elde edilen ölçek katsayıları deprem kayıtlarının orijinal ivme değerleri ile çarpılarak ölçeklenmiş ivme değerleri elde edilmiştir.
- Elde edilen ölçeklenmiş spektrum değerlerinin karelerinin toplamının karekökü alınarak bileşke spektrum eğrileri oluşturulmuştur.
- TBDY 2018'e göre elde edilen bileşke spektrum değerleri $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasında yatay tasarım elastik spektrum değerleri ile oranlanarak 1.3 değerinden büyük olup olmadığı kontrol edilmiştir.
- En son adım olarak yukarıdaki maddelerde elde edilmiş olan oranlar 11 deprem yer ivmesi baz alınarak ortalaması elde edilmiştir. Bu elde edilen yer ivmesi değerlerinin 1.3'ten büyük olup olmadığı kontrol edilmiştir.

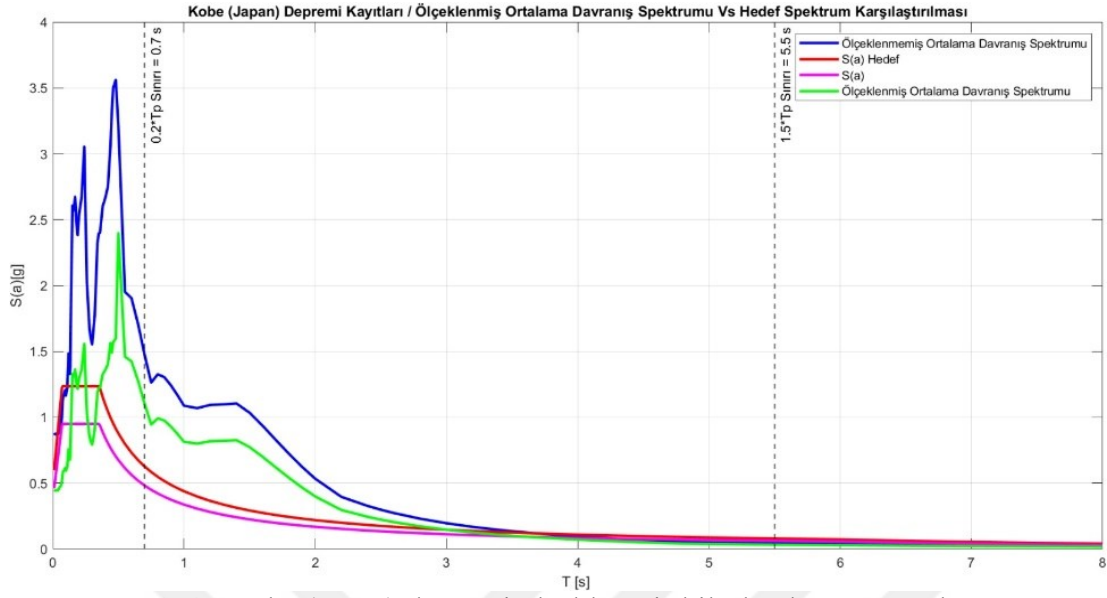
Seçilen deprem kayıtlarının birbirine dik iki doğrultusuna ait spektral ivme değerlerinin karelerinin toplamının karekökü alınarak oluşturulmuş ölçeklenmemiş bileşke davranış spektrumları şekil 4.2 'de verilmiştir.



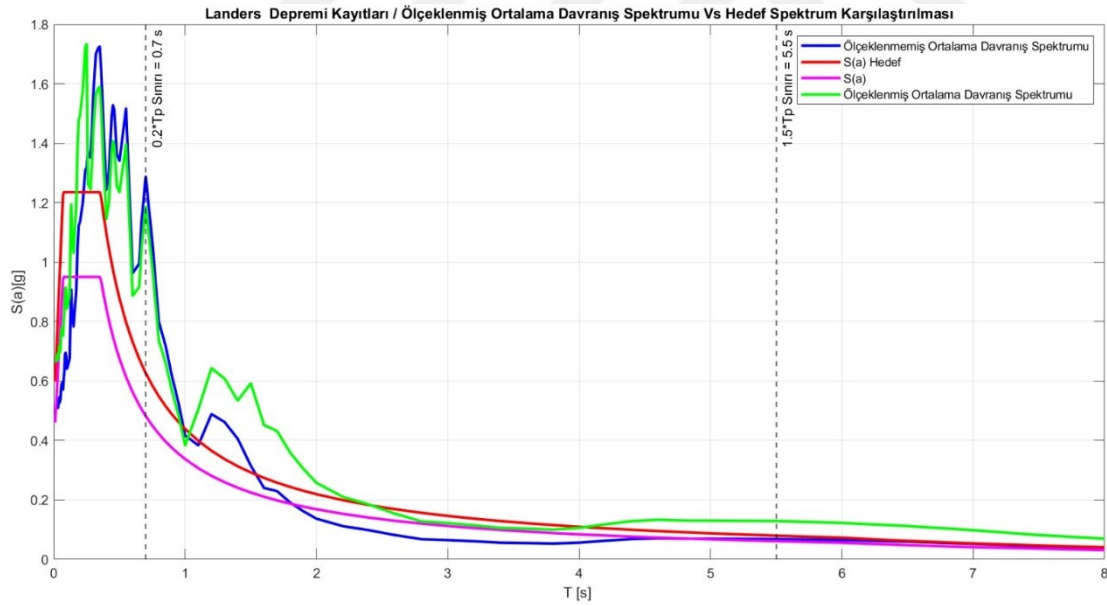
şekil 4. 2 :ölçeklenmemiş bileşke davranış spektrumları.



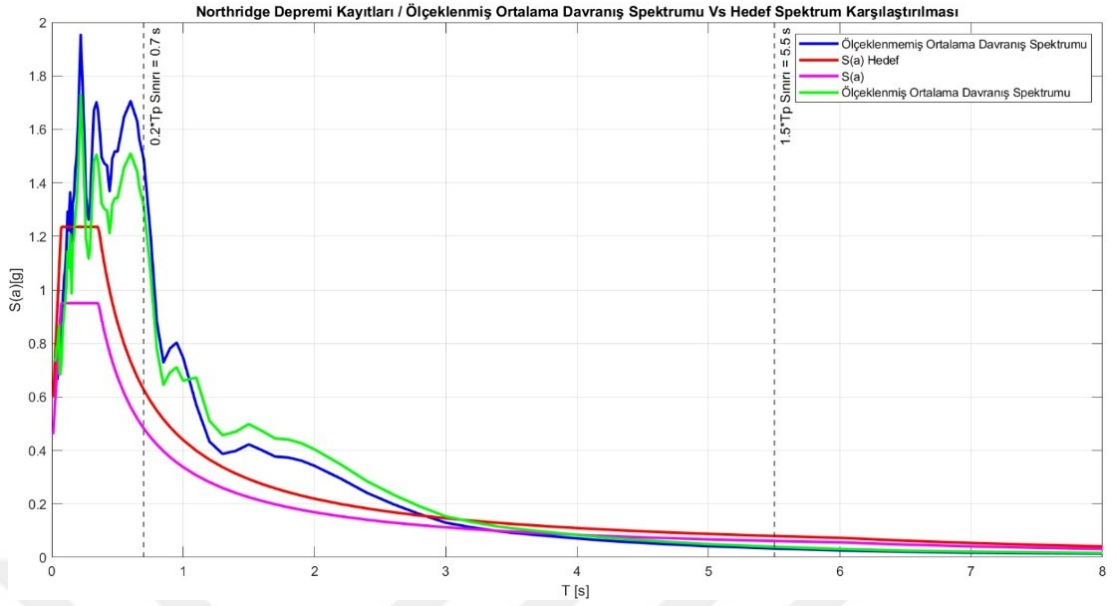
şekil 4. 3 : Dzce depremi leklenmiş bileşke davranış spektrumu.



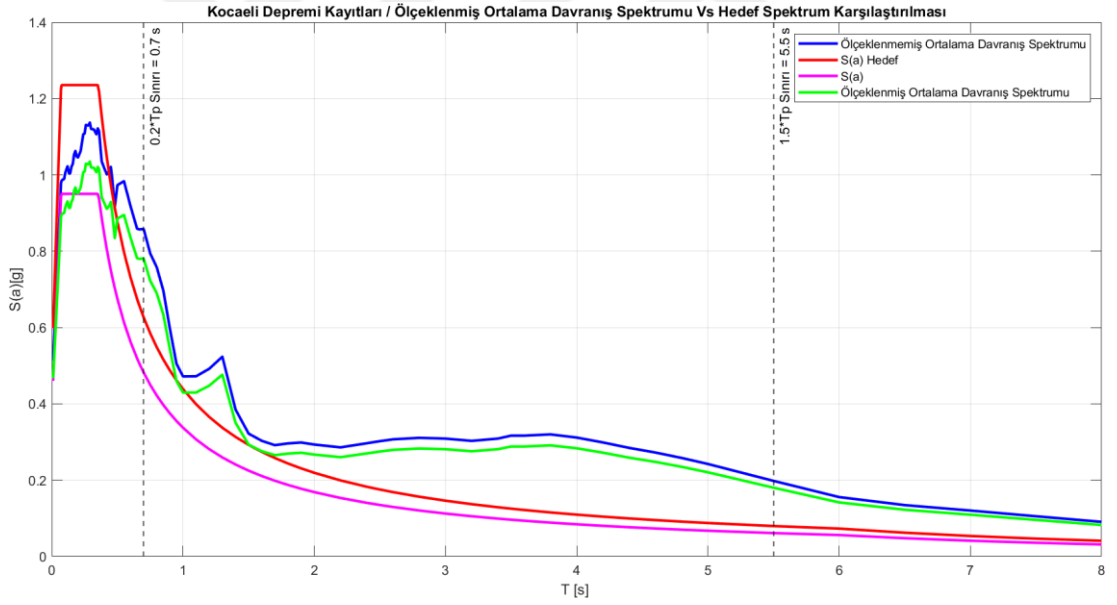
Şekil 4. 4 : Kobe (Japan) depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.



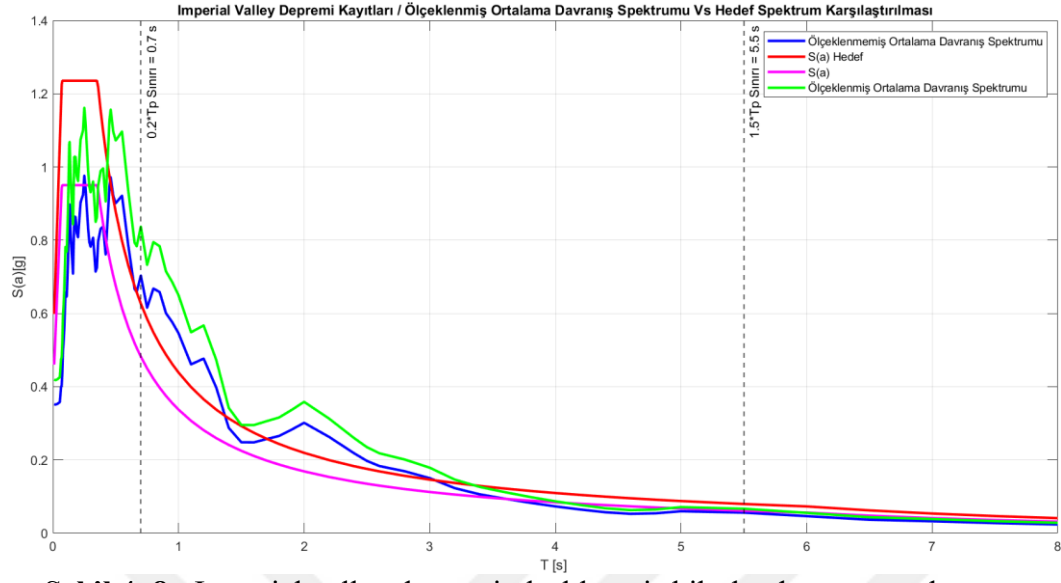
Şekil 4. 5 : Landers depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.



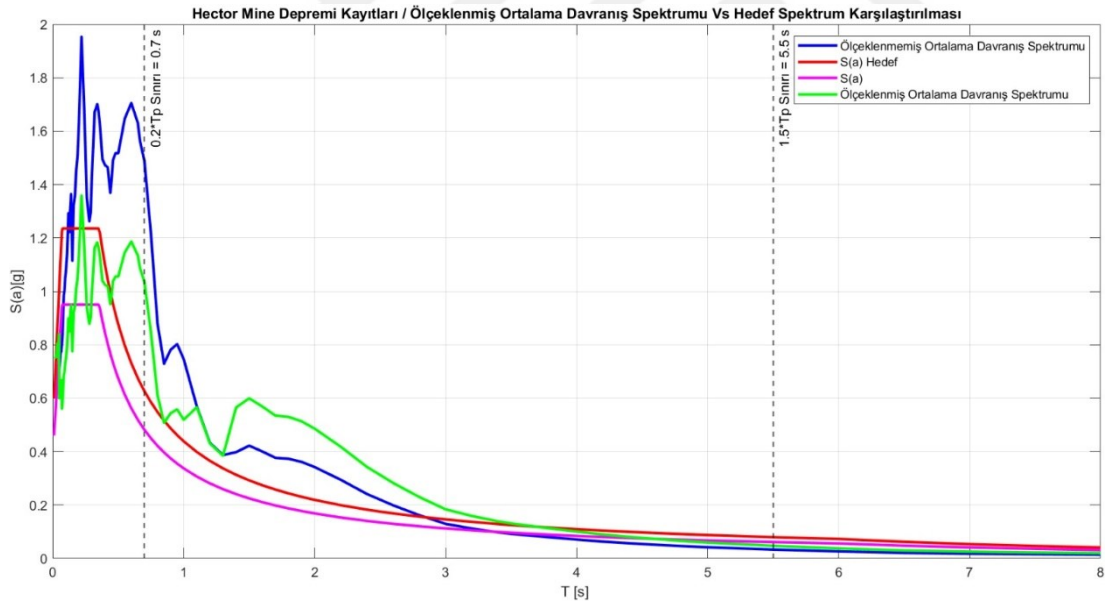
Şekil 4. 6 : Northridge depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.



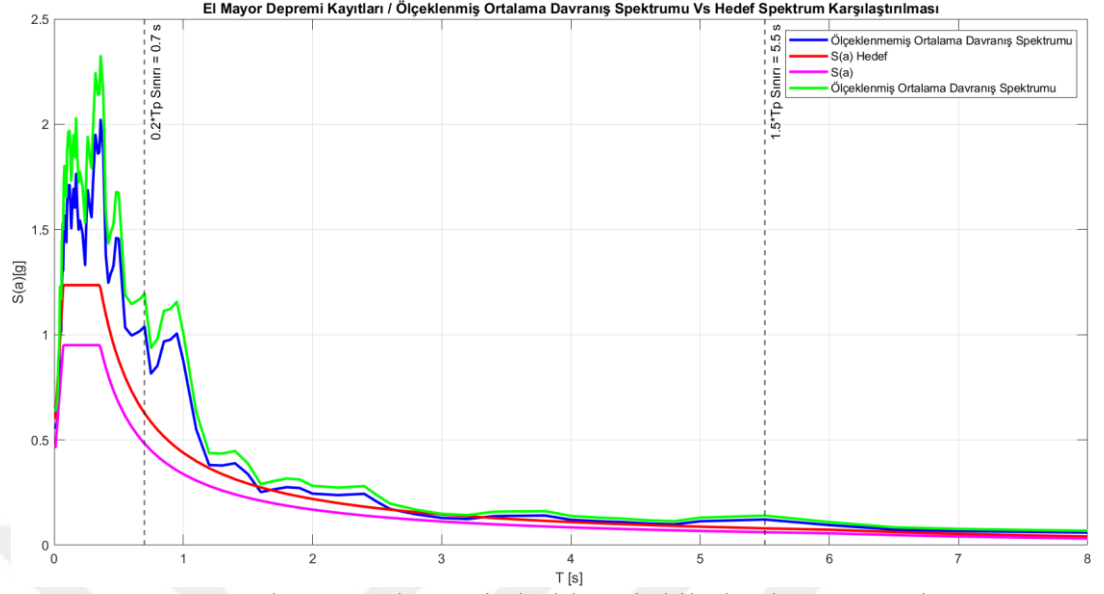
Şekil 4. 7 : Kocaeli depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.



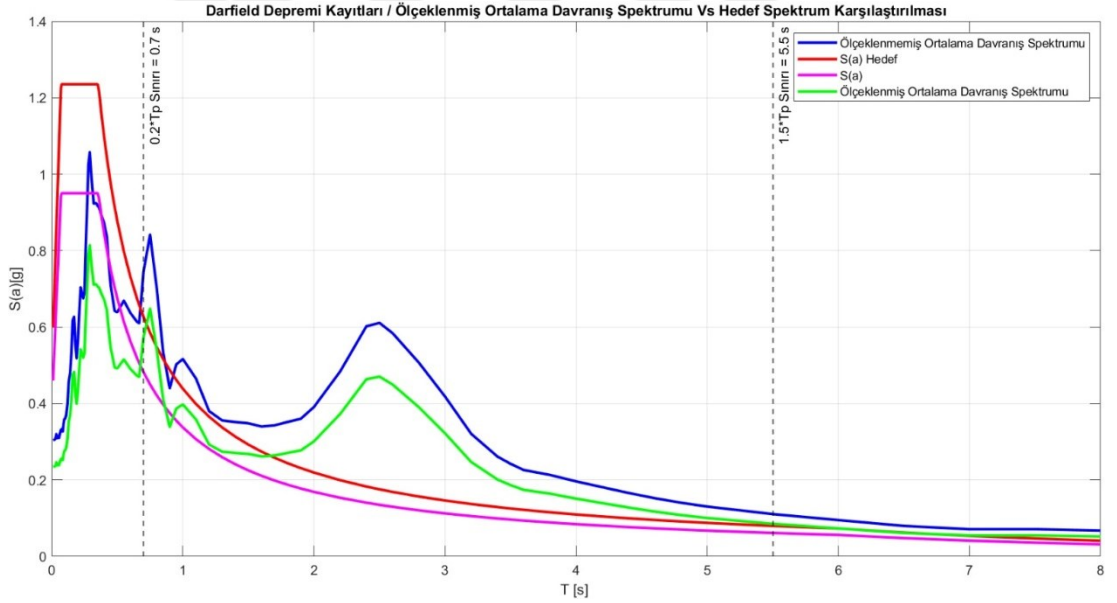
Şekil 4. 8 : Imperial valley depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.



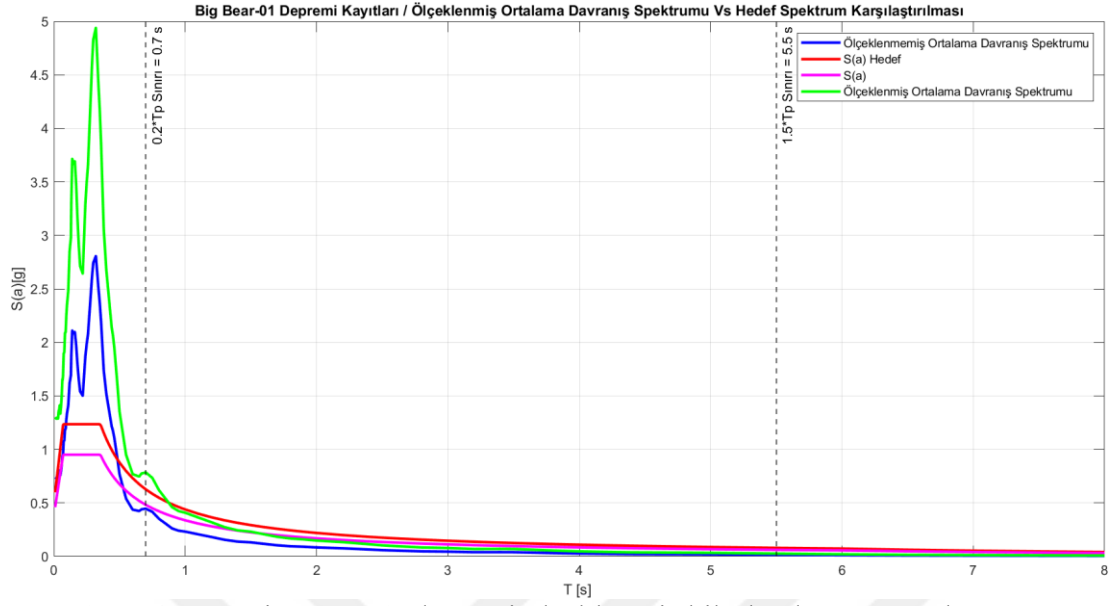
Şekil 4. 9 : Hector Mine depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrum.



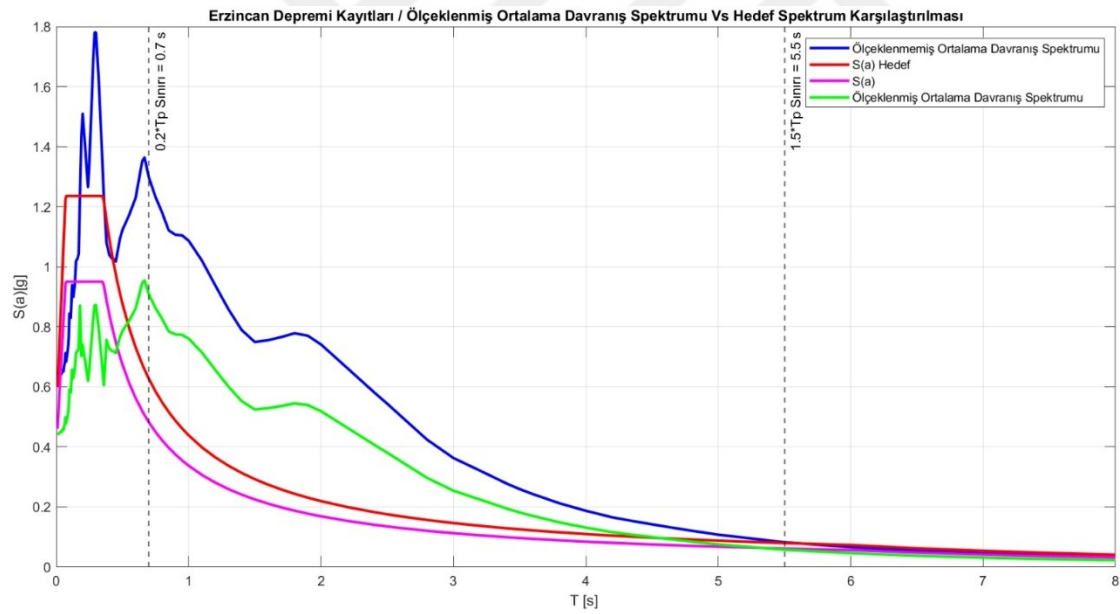
Şekil 4. 10 : El Mayor depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.



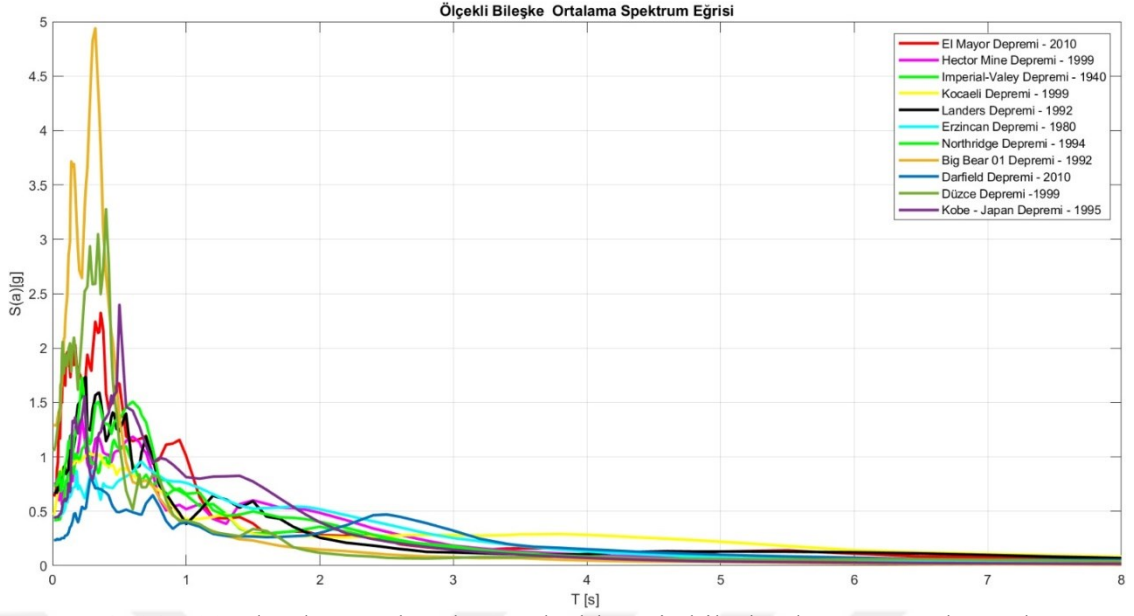
Şekil 4. 11 : Darfield depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.



Şekil 4. 12 : Big Bear 01 depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.



Şekil 4. 13 : Erzincan depremi ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumu.



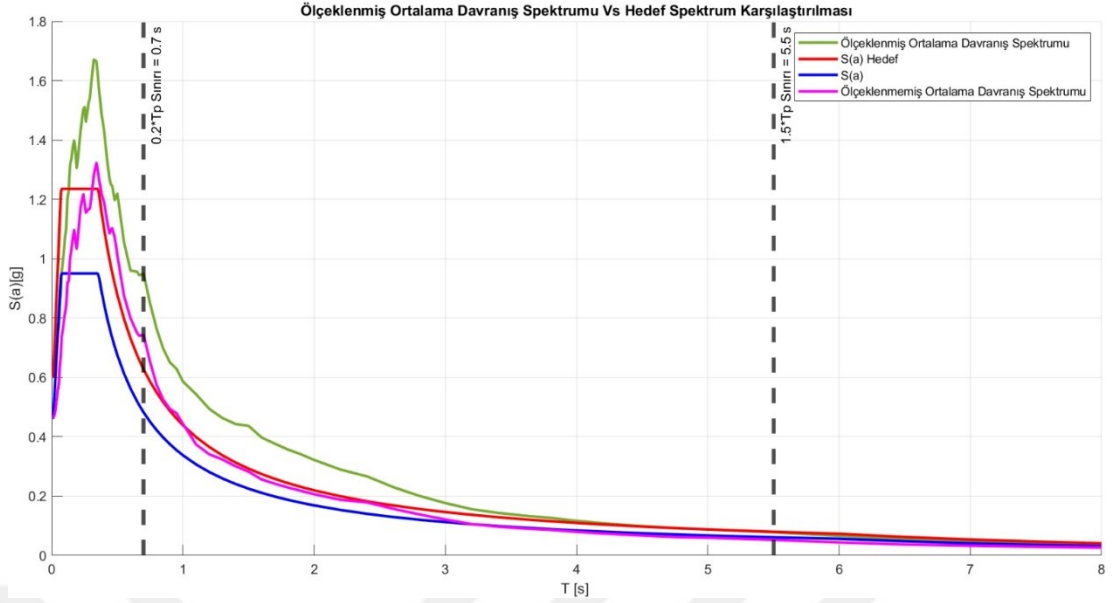
Şekil 4. 14 : 11 adet deprem kaydının ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumları.

Şekil 4.14’de görüldüğü üzere, tasarım spektrumunun genlikleri 1.3 katına çıkarılmıştır.

Hedef tasarım ivme spektrumu belirlenmiş ve istenen periyot aralığında ölçeklenmiş ortalama ivme spektrum genliklerinin hedef spektrum genliklerinden büyük olduğu doğrulanmıştır.

Çizelge 4. 5 : 11 adet deprem yer ivmesi kaydı bilgileri.

Deprem	Yıl	İstasyon	Büyüklik	Mekanizma	R _{jb}	V _s	Ölçek
1- Düzce	1999	Lamont	7.14	Y.A	8.03	638.39	1.48
2- Kobe Japan	1995	Tadoka	6.9	Y.A	2.5	312.0	0.82
3-Landers	1992	Amboj	7.28	Y.A	69.21	382.93	1.7
4-Northridge	1994	Canyon	6.69	Y.A	11.39	325.6	1.15
5-Kocaeli	1999	Ambarlı	7.51	Y.A	1.38	297.0	0.91
6-Imperial Valley	1940	El Centro	6.95	Y.A	6.09	213.44	1.19
7-Hector Mine	1999	Amboy	7.13	Y.A	11.39	325.6	1.42
8- Darfield	2010	Christchurch	7.0	Y.A	19.89	198.0	0.77
9- El Mayor	2010	Cerro Prieto	7.2	Y.A	13.7	242.05	1.16
10- Big Bear-01	1992	Big Bear Lake	6.46	Y.A	8.30	430.36	1.76
11- Erzincan	1992	Erzincan	6.95	Y.A	4.38	352.3	1.21



Şekil 4. 15 : 11 adet deprem kaydının ortalama ölçeklenmiş bileşke davranış spektrumları.

Sonuç olarak ;

Sonuç olarak, deprem yer ivmesi kayıtlarının dik yatay bileşenlerine ait ivme spektrumlarının karelerinin toplamından bileşke yatay ivme spektrum değerleri elde edildi.

Tüm deprem yer ivmesi kayıtlarına ait bileşke ivme spektrumlarının genlikleri, $0.2T_p$ ile $1.5T_p$ periyotları arasında kaldı ve tasarım hedef spektrumunun genliklerinin 1.3 katından küçük olmayacak şekilde ölçeklendirildi.

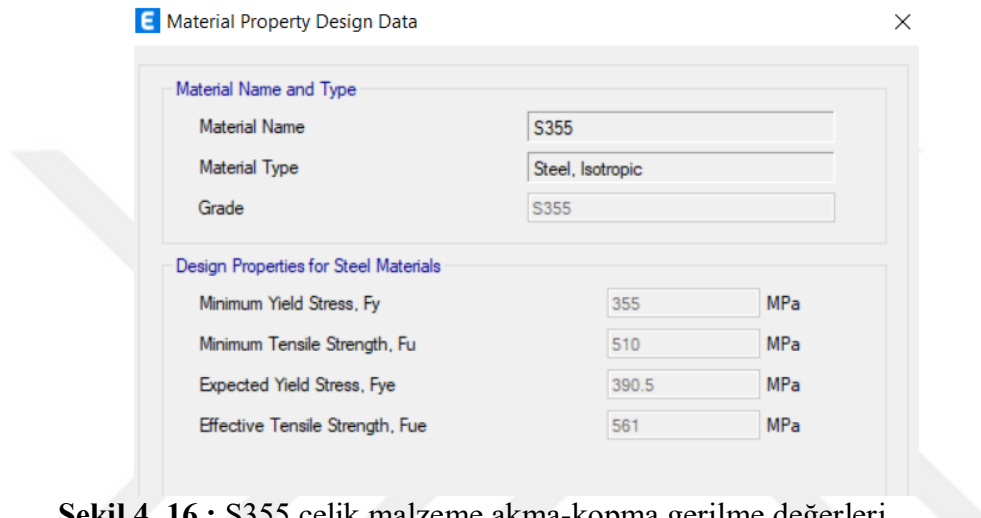
TBDY 2018 9.2.8.2(b)'de belirtilen özel koşullar sağlandığından ve TBDY 2018 9.2.8'e göre yanal doğrultuda destekli kabul edilmektedir.

4.1.3 ETABS programına tanımlanan veri girişleri

4.1.3.1 Malzeme Tanımı

Binaya ait taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılan çelik malzeme sınıfı TBDY 2018 ve ÇYTHYE 2016 yönetmeliklerine uygun olarak belirlenmiştir. Belirlenmiş olan malzeme sınıfı özelliği ise pekleşmeli elasto-plastik malzeme olarak seçilmiştir.

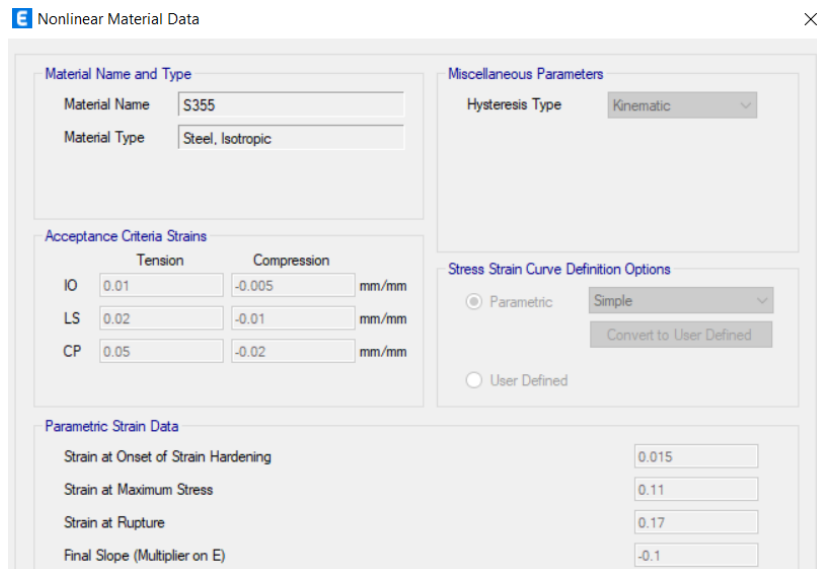
S355, S245 çelik malzemeleri için beklenen akma ve kopma dayanımı Şekil 4.16 - 4.17'de belirtilmiştir.



Material Name and Type	
Material Name	S355
Material Type	Steel, Isotropic
Grade	S355

Design Properties for Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	355 MPa
Minimum Tensile Strength, Fu	510 MPa
Expected Yield Stress, Fye	390.5 MPa
Effective Tensile Strength, Fue	561 MPa

Şekil 4. 16 : S355 çelik malzeme akma-kopma gerilme değerleri.



Material Name and Type	
Material Name	S355
Material Type	Steel, Isotropic

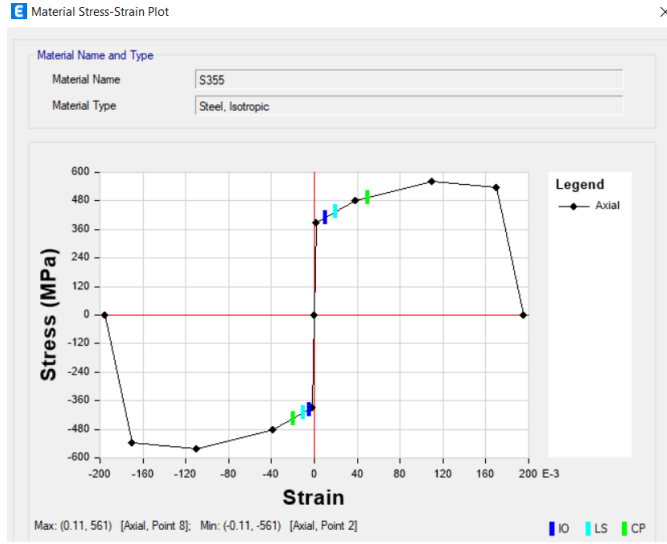
Miscellaneous Parameters	
Hysteresis Type	Kinematic

Acceptance Criteria Strains			
	Tension		Compression
IO	0.01		-0.005 mm/mm
LS	0.02		-0.01 mm/mm
CP	0.05		-0.02 mm/mm

Stress Strain Curve Definition Options	
☒ Parametric	Simple
☐ User Defined	

Parametric Strain Data	
Strain at Onset of Strain Hardening	0.015
Strain at Maximum Stress	0.11
Strain at Rupture	0.17
Final Slope (Multiplier on E)	-0.1

Şekil 4. 17 : S355 çelik malzeme özellikleri parametre değerleri.



Şekil 4. 18 : S355 gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: S245

Material Type: Steel, Isotropic

Grade: S235

Design Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 245 MPa

Minimum Tensile Strength, Fu: 370 MPa

Expected Yield Stress, Fye: 258.5 MPa

Effective Tensile Strength, Fue: 396 MPa

Şekil 4. 19 : S245 akma-kopma gerilme değeri.

Nonlinear Material Data

Material Name and Type

Material Name: S245

Material Type: Steel, Isotropic

Miscellaneous Parameters

Hysteresis Type: Kinematic

Acceptance Criteria Strains

	Tension	Compression	mm/mm
IO	0.01	-0.005	
LS	0.02	-0.01	
CP	0.05	-0.02	

Stress Strain Curve Definition Options

☒ Parametric: Simple

☐ User Defined

Parametric Strain Data

Strain at Onset of Strain Hardening: 0.015

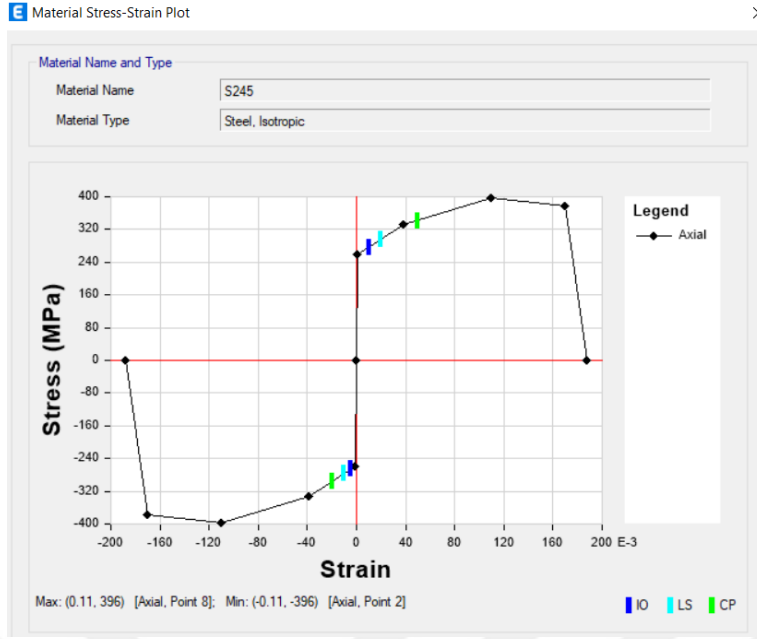
Strain at Maximum Stress: 0.11

Strain at Rupture: 0.17

Final Slope (Multiplier on E): -0.1

Show Stress-Strain Plot...

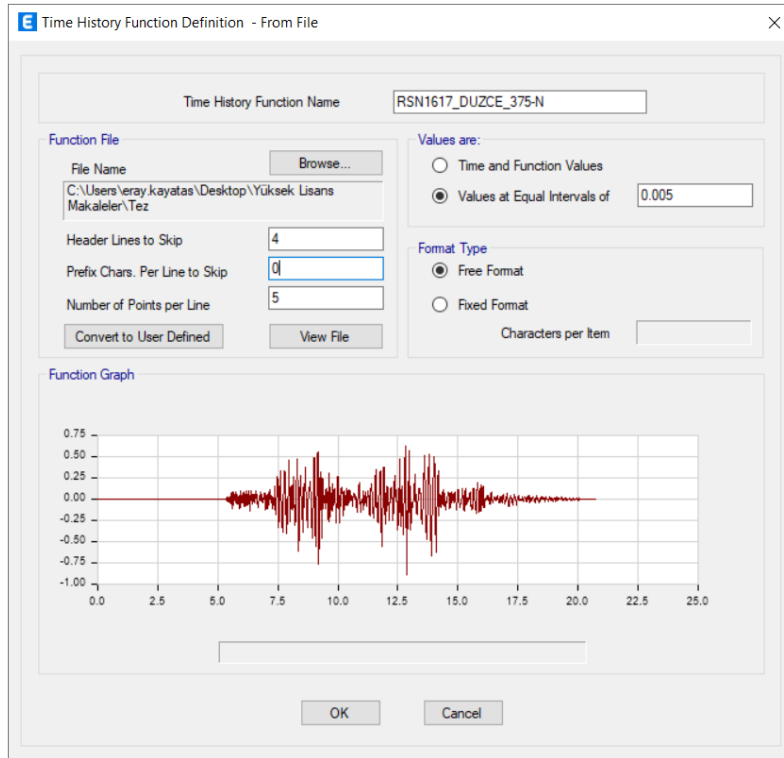
Şekil 4. 20 : S245 gerilme-şekildeğiştirme değeri.



Şekil 4. 21 : S355 gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

4.1.3.2 Deprem kayıtlarının Etabs programında tanımlanması

ZTDOA yöntemine uygun olarak belirlenmiş olan deprem kayıtlarının tanımlanması ve ivme kayıtlarının programa tanımlanması işlemi Şekil 4.22’de belirtilmiştir. Doğrusal olmayan hesabın başlangıcında kullanılacak olan yalnızca düşey yüklerin etkili olduğu yükleme durumu ise Şekil 4.23’de belirtilmiştir.



Şekil 4. 22 : Düzce depreminin kaydının tanımlanması.

Load Case Data

General

Load Case Name: Gravity

Load Case Type: Nonlinear Static

Mass Source: Previous

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	G	1.39
Load Pattern	Q	0.3
Load Pattern	S	0.2

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Load Application: Full Load

Results Saved: Final State Only

Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis

Nonlinear Parameters: Default - Iterative Event-to-Event

Şekil 4. 23 : Hesabın başlangıç adımında kullanılacak olan yükleme durumu.

4.1.3.3 Yatay yük etkisindeki elemanlar için doğrusal olmayan davranış modelinin tanımlanması

TBDY 2018 Bölüm 5.3'e göre, ZTDOA yönteminde iki tip plastik mafsal davranış modeli mevcuttur. Bu yüksek lisans tezinde kullanılması planlanan davranış modeli yığılı plastik davranış modelidir.

(a) TBDY 2018 5.3.1.1'e göre, üç boyutlu analiz modelinde bulunan çubuk elemanlar (kolon, çerçeve kirişi, tali kirişler ve çapraz elemanlar) için yığılı plastik davranış modeli kullanılmıştır.

(b) TBDY 2018 5.3.1.2'ye göre, plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu L_p , elemanın çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit olacak şekilde alınmıştır.

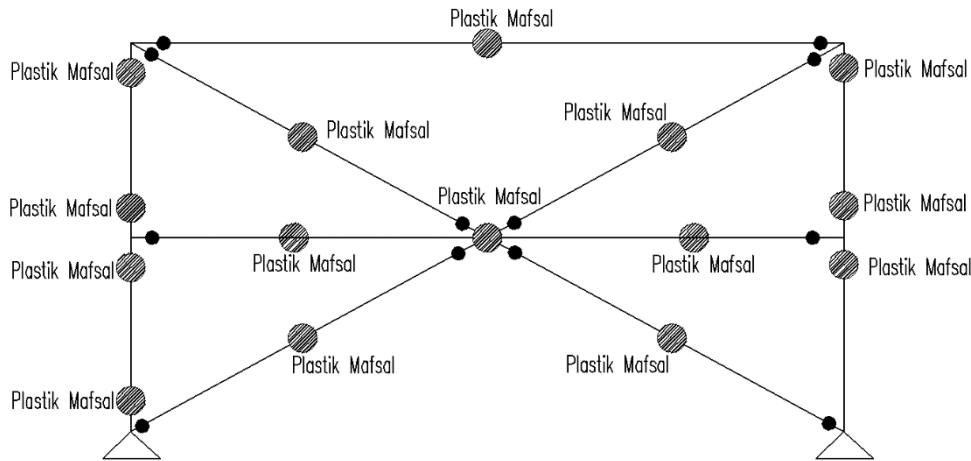
c) TBDY 2018 5.3.1.4'e uygun olacak şekilde, tanımlanan plastik mafsallar kolon, çerçeve ana kirişi ve bağ kirişleri için ilgili elemanların uç bölgelerine tanımlama işlemi yapılmıştır. Burkulması önlenmiş çelik çaprazlar içinse plastik mafsal tanımlamaları çaprazın orta noktalarında tanımlanmıştır.

(d) TBDY2018 5.3.1.7'ye göre, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için, çevrimsel davranış modeli, elasto-plastik standart çevrimli davranış modelinin kullanılması tercih edilmiştir.

4.1.3.4 Plastik mafsalların tanımlanması

Yapısal elemanlara tanımlanmış olan plastik mafsallar, eleman enkesitlerinin eğilme momenti kapasitelerini aşan ve kapasite aşıldığında ise belirli dönme sınırlarına kadar dönmeye izin verebilen birleşim noktalarıdır. Kesit kapasitesine eriştikten sonra bu noktalarda yapısal şekildeğişiklikler devam etmektedir.

Yığılı plastik mafsallarda davranışında, kesitin iç kuvvetlerinin kapasitelerine ulaşması durumunda bu bölgeler sonlu uzunlukta ve plastik şekildeğişiklikleri düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Bu yüksek lisans tezinde merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinin, kolonlarının uç bölgelerinde ve BÖÇ'lerin orta kısımlarında yığılı plastik mafsalları analitik modeli atanmıştır.



Şekil 4. 24 : Plastik mafsalları ve adi mafsalların şematik gösterimi.

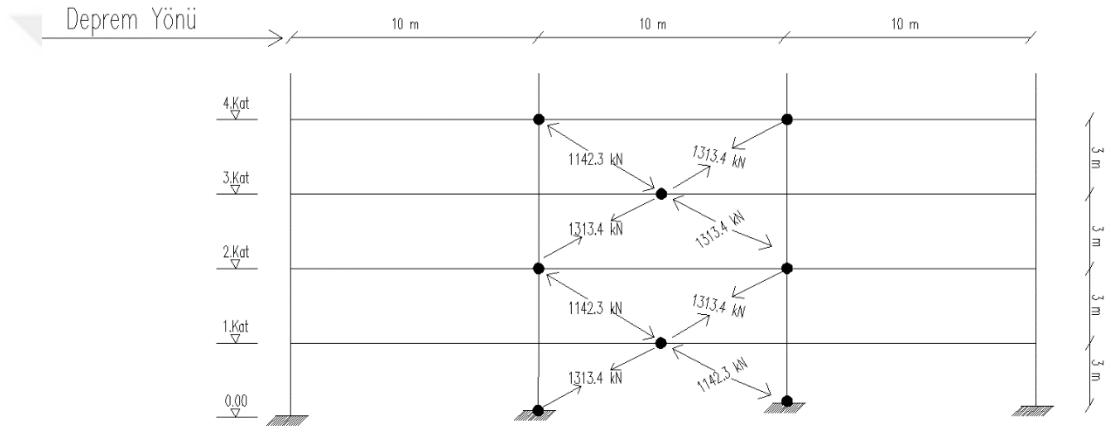
4.1.3.4.1 Çerçeve kirişleri ve tali kirişler için plastik mafsalların tanımlanması(P-M₃ eksenel yük-moment mafsalları)

Üç boyutlu modelde yapı elemanları genel olarak, burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve - kiriş birleşim bölgesi ve kiriş - kolon birleşim bölgesinde mafsallı olarak teşkil edilecektir. Bu sebeple kiriş uç kısımlarına P-M₃ eksenel kuvvet – moment mafsalları tanımlanmıştır.

Kiriş yapısal elemanları genel olarak kendi düzleminde eğilme davranışını göstermekte ve bu eğilme davranışının kirişlerde oluşabilmesi için plastik mafsalları atanması

gerekmektedir. Kirişlerin her iki ucu mafsallı olmasından dolayı, plastik mafsallar kiriş elemanın (0.5L) noktasına denk gelecek şekilde atanmıştır. Kirişlerin plastik mafsalları ise TBDY 2018, ASCE 41-13 ve FEMA’da belirtilen merkezi çaprazlı çelik çerçevenin mekanizma durumu göz önüne alınarak atanmıştır. Referans olarak, 1.Kat 1/A-B aksları arasında bulunan çerçeve kirişi için plastik mafsalları model sayısal olarak hesaplanmıştır. Örnek olarak ele alınan kirişin enkesiti HEB 400 ‘dür. Enkesit özellikleri Çizelge 4.6’da belirtilmiştir.

Plastik mafsallar Etabs programı tarafından otomatik olarak atanmış, OpenSEES analiz programında ise Zero Length ve Link komutu ile tanımlanmıştır. Şekil 4.25’de örnek el hesabı gösterilmiştir.



Şekil 4. 25 : Çerçeve kirişi için örnek plastik mafsalları durumu.

Çelik Sınıfı :

S 355 $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$ $F_{ye} = 355 \text{ N/mm}^2$ $E = 200000 \text{ N/mm}^2$

Enkesit :

Çizelge 4. 6 : HEB 400 profil enkesit karakteristikleri.

HEB 400			
$I_x = 57680 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 2884 \text{ cm}^3$	$i_x = 170.8 \text{ mm}$	$C_w = 3817 \text{ cm}^6$
$t_f = 24.0 \text{ mm}$	$I_y = 10820 \text{ cm}^4$	$W_{px} = 3232 \text{ cm}^3$	$b_f = 300 \text{ mm}$
$d = 298 \text{ mm}$	$A = 197.80 \text{ cm}^2$	$F_y = 355 \text{ N/mm}^2$	$i_y = 74.0 \text{ mm}$
$t_w = 13.5 \text{ mm}$	$h = 400 \text{ mm}$	$J = 355.70 \text{ cm}^4$	$W_{ey} = 721.3 \text{ cm}^3$
$F_u = 430 \text{ N/mm}^2$	$W_{py} = 1104 \text{ cm}^3$		

Kiriş elemanda beklenen eksenel akma kuvveti dayanımı P_{ye} olmak üzere,

$$P = (1313.4 \cdot \cos(45^\circ) - 1313.4 \cdot \cos(45^\circ) - 1142.3 \cos(45^\circ) + 1142.3 \cos(45^\circ)) + 188.5 \text{ kN} = 188.5 \text{ kN}$$

$$P_{ye} = T_{ye} = F_{ye} \cdot A_g = 355 \text{ N/mm}^2 \cdot 19780 \text{ mm}^2 = 7021.9 \text{ kN}$$

Kiriş elemandan beklenen eğilme momenti kapasitesi M_{CE} olmak üzere (ASCE 41-13)

$$M_y = M_{ce} = \left\{ \left(1.18 \cdot W_{ex} \cdot F_{ye} \left(1 - \frac{P}{P_{ye}} \right) \right), W_{ex} \cdot F_{ye} \right\}$$

$$Q_{CE} = M_{CE} = 1.18 \cdot W_{ex} \cdot F_{ye} \cdot \left(1 - \frac{P}{P_{ye}} \right) \leq W_{ex} \cdot F_{ye}$$

$$Q_{CE} = M_{CE} = 1.18 \cdot 2884000 \cdot 355 \cdot \left(1 - \frac{188.5}{7021.9} \right) \leq 2884000 \cdot 355$$

$$Q_{CE} = M_{CE} = 996.3 \text{ kNm} \leq 1023.82 \text{ kNm}$$

$$\theta_y = \frac{W_{ex} \cdot F_{ye} \cdot L}{6EI} \cdot \left(1 - \frac{P}{P_{ye}} \right)$$

Elde edilen eksenel yük ve moment değerlerine karşı gelen akma dönmesi θ_y olmak üzere,

$$\theta_y = \frac{2884.355 \cdot 10000}{6 \cdot 200.57680 \cdot 10^4} \cdot \left(1 - \frac{188.5}{7021.9} \right) = 0.016 \text{ rad}$$

23 katlı yapıda birde fazla kiriş olmasından dolayı , diğer kiriş elemanları Etabs programında otomatik olarak, TBDY 2018 ve ASCE 41-13 standartlarına göre tanımlanmıştır. Etabs programında plastik mafsalların tanımlanması aşağıda verilen adımlardaki sıralamalar ile yapılmıştır.Çerçeve kiriş bölümünün kolona bağlanan kısmının ucunda tanımlanan, otomatik P-M₃ mafsallı değerleri Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de verilmiştir.

Frame Assignment - Hinges

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Distance from End m
Auto	Relative to clear length	0.5	
Auto P-M3	Relative to clear length	0.5	

Buttons: Add, Modify, Delete

Auto Hinge Assignment Data

Type: From Tables In ASCE 41-17
Table: Table 9-7.1 (Steel Columns - Flexure)
DOF: P-M3

Modify/Show Auto Hinge Assignment Data...

OK Cancel

Şekil 4. 26 : Frame assignent –hinges diyalog kutusu.

Frame Hinge Property Data for Kiris - Interacting P-M3

Hinge Specification Type

☒ Moment - Rotation
☐ Moment - Curvature

Hinge Length:
☒ Relative Length

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero ☐ Is Extrapolated

Symmetry Condition

☐ Moment Rotation Dependence is Symmetric
☒ Moment Rotation Dependence is Not Symmetric

Requirements for Specified Symmetry Condition

1. Specify curves at angles of 90° and 270°.

Scale Factor for Rotation (SF)

☐ SF is Yield Rotation per ASCE 41-13 Eqn. 9-2 (Steel Objects Only)
☒ User SF: 0.016 rad

Additional Backbone Curve Points

☐ BC - Between Points B and C
☐ CD - Between Points C and D

Axial Forces for Moment Rotation Curves

Number of Axial Forces: 3
Modify/Show Axial Force Values...

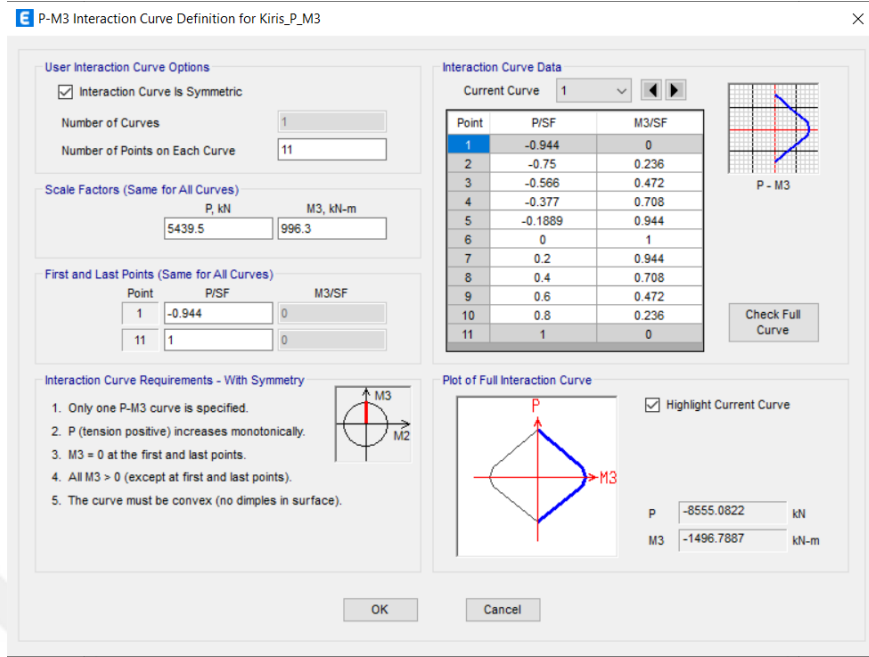
Curve Angles for Moment Rotation Curves

Number of Angles: 2
Modify/Show Angles...

Modify/Show Moment Rotation Curve Data...
Modify/Show P-M3 Interaction Surface Data...

OK Cancel

Şekil 4. 27 : P-M3 mafsalı için tanımlanan akma dönmesi değerleri.



Şekil 4. 28 : P-M3 mafsalı için tanımlanan akma dayanımı ve moment kapasitesi değerleri.

4.1.3.4.2 Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve için plastik mafsalların tanımlanması (P eksenel yük mafsalı)

Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeveler için, çapraz- kiriş ve çapraz – kolon bağlantı bölgeleri mafsallı olarak teşkil edilmiştir. Bu sebeple verilmiş olan bağlantı noktalarında çaprazların (0.5L) uzunluğunda P eksenel kuvvet plastik mafsalları tanımlanmıştır. Referans olarak, 1.Kat A/1-2 aksları arasında bulunan burkulması önlenmiş çelik çapraz için plastik mafsalları sayısal olarak hesaplanmıştır. Örnek olarak ele alınan çaprazın enkesiti BÖÇ 150x30'dur.

4.25 m uzunluktaki burkulması önlenmiş çapraz için :

$$\Delta_y = \frac{P_{bec} \cdot l_{bec}}{E \cdot A_{bec}} \quad (4.6)$$

$$P_{bec} = A_c \cdot F_{ye} = 1500 \cdot 245 \cdot 10^{-3} = 367.5 \text{ kN}$$

$$\Delta_y = \frac{367500 \cdot 4250}{200000 \cdot 1500} = 5.20 \text{ mm}$$

olarak elde edilir.

5.83 m uzunluktaki burkulması önlenmiş çapraz için $\Delta_y = 7.14 \text{ mm}$ olarak elde edilmiştir. $P_{bec} = 367.5 \text{ kN}$

Çizelge 4. 7 : 4.25 m ‘lik BÖÇ için eksenel şekil değıştirme sınır değeri.

Kat No :	Eleman Tipi	P _{bec}	l _{bec} (m)	A _{bec} (m ²)	Sınırlı Hasar (mm)	Kontrollü Hasar (mm)	Göçmenin Önlenmesi (mm)
23.	BÖÇ 30x100	875.6	4.25	0.003	6.2	62	82.5
22.	BÖÇ 30x100	875.6	4.25	0.003	6.2	62	82.5
21.	BÖÇ 30x100	875.6	4.25	0.003	6.2	62	82.5
20	BÖÇ 30x100	875.6	4.25	0.003	6.2	62	82.5
19	BÖÇ 30x100	875.6	4.25	0.003	6.2	62	82.5
18	BÖÇ 30x100	875.6	4.25	0.003	6.2	62	82.5
17	BÖÇ 30x100	875.6	4.25	0.003	6.2	62	82.5
16	BÖÇ 30x100	875.6	4.25	0.003	6.2	62	82.5
15	BÖÇ 30x100	875.6	4.25	0.003	6.2	62	82.5
14	BÖÇ 30x100	875.6	4.25	0.003	6.2	62	82.5
13	BÖÇ 30x120	1050	4.25	0.0036	6.2	62	82.5
12	BÖÇ 30x120	1050	4.25	0.0036	6.2	62	82.5
11	BÖÇ 30x120	1050	4.25	0.0036	6.2	62	82.5
10	BÖÇ 30x120	1050	4.25	0.0036	6.2	62	82.5
9	BÖÇ 30x120	1050	4.25	0.0036	6.2	62	82.5
8	BÖÇ 30x120	1050	4.25	0.0036	6.2	62	82.5
7	BÖÇ 30x120	1050	4.25	0.0036	6.2	62	82.5
6	BÖÇ 30x150	1313	4.25	0.0045	6.2	62	82.5
5	BÖÇ 30x150	1313	4.25	0.0045	6.2	62	82.5

Çizelge 4. 8 (devam) : 4.25 m ‘lik BÖÇ için eksenel şekil değiştirme sınır değerleri.

Kat No :	Eleman Tipi	P_{bec}	l_{bec} (m)	A_{bec} (m ²)	Sınırlı Hasar (mm)	Kontrollü Hasar (mm)	Göçmenin Önlenebilirliği (mm)
4	BÖÇ 30x150	1313.4	4.25	0.0045	6.2	62	82.5
3	BÖÇ 30x150	1313.4	4.25	0.0045	6.2	62	82.5
2	BÖÇ 30x150	1313.4	4.25	0.0045	6.2	62	82.5
1	BÖÇ 30x150	1313.4	4.25	0.0045	6.2	62	82.5

E Frame Assignment - Hinges

Existing Assignments

Warning: Assignments may already exist on some selected line objects.

☐ Add Specified Assigns To Existing Assigns

☒ Replace Existing Assigns With Specified Assigns

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Distance from End m
Auto	Relative to clear length	0.5	
Auto BRB P	Relative to clear length	0.5	

Add
Modify
Delete

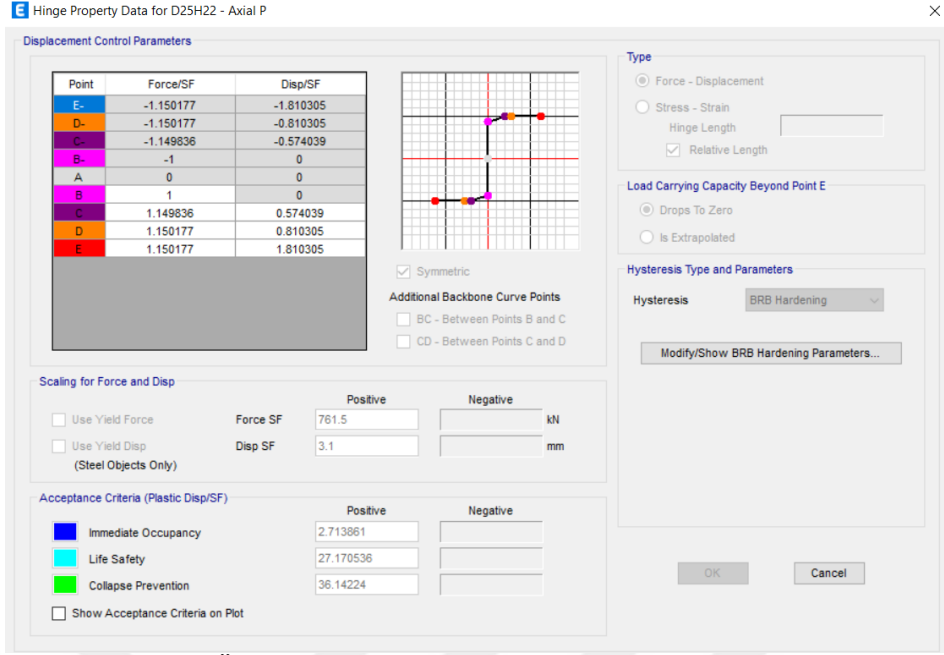
Auto Hinge Assignment Data

Type: Buckling Restrained Brace
DOF: BRB P

Modify/Show Auto Hinge Assignment Data...

OK Cancel

Şekil 4. 29 : 4.25 m’lik BÖÇ için P mafsalı modeli.



Şekil 4. 30 : BÖÇ çaprazının aksel kuvvet -şekil değiştirme ilişkisi.

Çizelge 4. 9 : 5.83 m 'lik BÖÇ için aksel şekil değiştirme sınır değerleri.

Kat No :	Eleman Tipi	P _{bec}	l _{bec} (m)	A _{bec} (m ²)	Sınırlı Hasar (mm)	Kontrollü Hasar (mm)	Göçmenin Önlenmesi (mm)
23.	BÖÇ 30x100	875.6	5.83	0.003	8.5	85.1	113.2
22.	BÖÇ 30x100	875.6	5.83	0.003	8.5	85.1	113.2
21.	BÖÇ 30x100	875.6	5.83	0.003	8.5	85.1	113.2
20	BÖÇ 30x100	875.6	5.83	0.003	8.5	85.1	113.2
19	BÖÇ 30x100	875.6	5.83	0.003	8.5	85.1	113.2
18	BÖÇ 30x100	875.6	5.83	0.003	8.5	85.1	113.2
17	BÖÇ 30x100	875.6	5.83	0.003	8.5	85.1	113.2
16	BÖÇ 30x100	875.6	5.83	0.003	8.5	85.1	113.2
15	BÖÇ 30x100	875.6	5.83	0.003	8.5	85.1	113.2
14	BÖÇ 30x100	875.6	5.83	0.003	8.5	85.1	113.2
13	BÖÇ 30x120	1050	5.83	0.0036	8.5	85.1	113.2
12	BÖÇ 30x120	1050	5.83	0.0036	8.5	85.1	113.2
11	BÖÇ 30x120	1050	5.83	0.0036	8.5	85.1	113.2

Çizelge 4. 10 (devam) : 5.83 m ‘lık BÖÇ için eksenel şekil değiştirme sınır değerleri.

Kat No :	Eleman Tipi	P_{bec}	l_{bec} (m)	A_{bec} (m ²)	Sınırlı Hasar (mm)	Kontrollü Hasar (mm)	Göçmenin Önlenmesi (mm)
10	BÖÇ 30x120	1050	5.83	0.0036	8.5	85.1	113.2
9	BÖÇ 30x120	1050	5.83	0.0036	8.5	85.1	113.2
8	BÖÇ 30x120	1050	5.83	0.0036	8.5	85.1	113.2
7	BÖÇ 30x120	1050	5.83	0.0036	8.5	85.1	113.2
6	BÖÇ 30x150	1313	5.83	0.0045	8.5	85.1	113.2
5	BÖÇ 30x150	1313	5.83	0.0045	8.5	85.1	113.2
4	BÖÇ 30x150	1313	5.83	0.0045	8.5	85.1	113.2
3	BÖÇ 30x150	1313	5.83	0.0045	8.5	85.1	113.2
2	BÖÇ 30x150	1313	5.83	0.0045	8.5	85.1	113.2
1	BÖÇ 30x150	1313	5.83	0.0045	8.5	85.1	113.2

4.1.3.4.3 Kolonlar için plastik mafsalların tanımlanması: (P-M₂-M₃ mafsalı)

Yapısal kolon elemanlarında eğilme durumu genel olarak iki eksenli olacak şekilde gerçekleşmektedir.

Eğilme davranışı durumuna ek olarak eksenel kuvvet etkisinin durumu da göz önüne alınacaktır. Bu durumlara göre, tüm etkilerin göz önüne alındığı plastik mafsal durumu P-M₂-M₃ türü mafsal türü olarak tanımlanacaktır.

Etabs programında bu tip mafsallar TBDY 2018 ve ASCE 41-13 yönetmeliği esas alınarak otomatik olarak atanmıştır.

Plastik mafsalların enkesit üzerindeki atanacak lokasyonları, kolonun her iki ucunda olacak şekilde ayarlanmıştır.

Bu otomatik atama değerlerinin kontrolü aşağıdaki hesaplama adımlarında gösterilmiştir.

Çelik Sınıfı :

S355 $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$ $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$ (ÇYTHYE 2016 Tablo 2.1A)

Enkesit :

Çizelge 4. 11 : HD 400x990 enkesit özellikleri.

HD 400x990			
$I_x = 518900 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 18870 \text{ cm}^3$	$i_x = 202.7 \text{ mm}$	$C_w = 81.530 \text{ cm}^6$
$t_f = 115.0 \text{ mm}$	$I_y = 173400 \text{ cm}^4$	$W_{px} = 24280 \text{ cm}^3$	$b_f = 448 \text{ mm}$
$d = 290 \text{ mm}$	$A = 1262.0 \text{ cm}^2$	$F_y = 355 \text{ N/mm}^2$	$i_y = 117.2 \text{ mm}$
$t_w = 71.9 \text{ mm}$	$h = 550 \text{ mm}$	$J = 48210 \text{ cm}^4$	$W_{ey} = 7739 \text{ cm}^3$
$F_u = 430 \text{ N/mm}^2$	$W_{py} = 11960 \text{ cm}^3$		

Kolon elemanda beklenen eksenel akma kuvveti dayanımı P_{ye} olmak üzere

$$P_{ye} = T_{ye} = F_{ye} \cdot A_g = 355 \text{ N/mm}^2 \cdot 126200 \text{ mm}^2 = 44801.0 \text{ kN}$$

Kolon elemandan beklenen eğilme momenti kapasitesi M_{CE} olmak üzere (ASCE 41-13)

$$M_y = M_{ce} = \left\{ \left(1.18 \cdot W_{ex} \cdot F_{ye} \left(1 - \frac{P}{P_{ye}} \right) \right), W_{ex} \cdot F_{ye} \right\}$$

$$Q_{CE} = M_{CE} = 1.18 \cdot W_{ex} \cdot F_{ye} \cdot \left(1 - \frac{P}{P_{ye}} \right) \leq W_{ex} \cdot F_{ye}$$

$$Q_{CE} = M_{CE} = 1.18 \cdot 18870000 \cdot 355 \cdot \left(1 - \frac{8773}{44801.0} \right) \leq 18870000 \cdot 355$$

$$Q_{CE} = M_{CE} = 6356.7 \text{ kNm} \leq 6698.85 \text{ kNm}$$

$$\theta_y = \frac{W_{ex} \cdot F_{ye} \cdot L}{6EI} \cdot \left(1 - \frac{P}{P_{ye}} \right)$$

$$\theta_y = \frac{18870 \cdot 355 \cdot 3000}{6 \cdot 20000 \cdot 518900 \cdot 10000} \cdot \left(1 - \frac{8773}{44801.0} \right) = 0.0025 \text{ rad}$$

23 katlı yapıda birden fazla kiriş olmasından dolayı, diğer kiriş elemanları Etabs programında otomatik olarak, TBDY 2018 ve ASCE 41-13'e göre tanımlanmıştır. Etabs programında plastik mafsalların tanımlanması aşağıdaki adımlar gibi yapılmıştır.

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Distance from End m
Auto P-M2-M3	Relative to clear length	0.02	
Auto P-M2-M3	Relative to clear length	0.98	

Auto Hinge Assignment Data
Type: From Tables in ASCE 41-17
Table: Table 9-7.1 (Steel Columns - Flexure)
DOF: P-M2-M3

Şekil 4. 31 : Etabste otomatik olarak tanımlanan P-M2-M3 tipi mafsals.

Hinge Specification Type
☒ Moment - Rotation
☐ Moment - Curvature
Hinge Length:
☒ Relative Length

Scale Factor for Rotation (SF)
☐ SF is Yield Rotation per ASCE 41-13 Eqn. 9-2 (Steel Objects Only)
☒ User SF: 0.0026 rad

Load Carrying Capacity Beyond Point E
☒ Drops To Zero ☐ Is Extrapolated

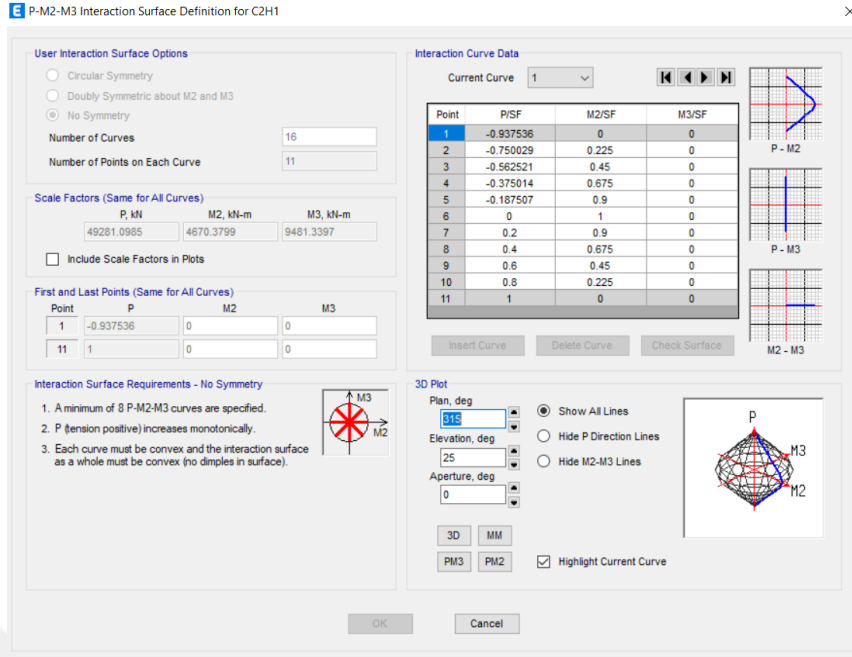
Symmetry Condition
☐ Moment Rotation Dependence is Circular
☐ Moment Rotation Dependence is Doubly Symmetric about M2 and M3
☒ Moment Rotation Dependence has No Symmetry

Requirements for Specified Symmetry Condition
1. Specify curves at angles of 0°, 90°, 180° and 270°.
2. If desired, specify additional intermediate curves where: 0° < curve angle < 360°

Axial Forces for Moment Rotation Curves
Number of Axial Forces: 3
Modify/Show Axial Force Values...

Curve Angles for Moment Rotation Curves
Number of Angles: 16
Modify/Show Angles...

Şekil 4. 32 : Etabs P-M2-M3 tipi mafsals özellikleri.



Şekil 4. 33 : Etabs tarafından otomatik olarak oluşturulan moment-dönme ilişkisi.

4.2 Taşıyıcı Sistemin OpenSEES 'de Modellenmesi

Tezin bu kısmında, boyutlandırma işlemi yapılan 23 katlı binanın, üç boyutlu yapı modelinin OpenSEES programı ile modellenmesini ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizini kapsamaktadır.

Taşıyıcı sistemi olarak burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin yatay kuvvetler altında performans hedefeni gerçekleştirebilmek için, nonlinear analiz gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Tezde, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre elde edilen sistemin plastik mafsallaşma noktaları belirlenecek, görelî kat ötelemesi oranları kontrol edilecek, her bir kata ait kat kesme kuvvetleri bulunacak ve enerji sönüm grafikleri elde edilecek, burkulması önlenmiş çelik çaprazların yüksek katlı yapılarda yatay kuvvetlerin etkisinde nasıl bir karşı davranışta bulunabileceği sonucu çıkarımı yapılacaktır.

OpenSEES, yapısal sistemlerin yatay doğrultusunda etki eden sismik ve rüzgar yüklerine karşın oluşturduğu tepkilerinin elde edilmesini sağlayan sonlu elemanlar yöntemiyle çözümler yapan açık kaynak kodlu bir yazılımıdır. Günümüzde, özellikle bina taşıyıcı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışlarını temsil edebilme, modelleme ve analizlerinde çeşitli imkanlar sunan, malzeme modeli olarak da diğer

yapısal analiz programlarına göre geniş kütüphaneye sahip olan, elemanları ve çözüm algoritmaları olan bir programdır.

Tasarımı tamamlanan 23 katlı yapının her iki doğrultusunda, her iki katta bir tekrar eden X tipi burkulması önlenmiş çelik çaprazlar bulunmaktadır.

Çelik çerçevelerde, her iki katta bir tekrar eden çaprazlar bulunmasından dolayı, sisteme gelen yatay deprem yüklerinde burkulması önlenmiş çaprazların biri basınç diğeri ise çekme davranışında bulunacaktır.

Bu sebeple, üç boyutlu modellerde, BÖÇÇ'lerin tamamı göz önüne alınmış olup X ve Y doğrultularında mevcut açıklıklara yerleştirilmiştir. Çaprazların bağlanmadığı diğer yapısal eleman olarak kolonlar, gravity column kodu ile sadece düşey yük taşıyan sistemler olarak atanmıştır. Üç boyutlu analitik modelde kirişler ise her bir kolona bağlanan çerçeve ana kirişleri ve tali kirişler olmak üzere iki kısımda incelenmiştir.

Çerçeve ana kirişleri kolonlara mafsallı olacak şekilde bağlanmış olup ikincil tali kirişler de çerçeve ana kirişlerine mafsallı bağlanmışlardır. Genel olarak çerçeve bazında nokta notasyonlar ile çerçevelerin birbirlerine bağlanmasıyla 3 boyutlu yapı oluşturulmuş taşıyıcı sistem elemanlarının birbirleri ile olan bağlantıları tamamlanmıştır.

4.2.1 Malzeme modellenmesi

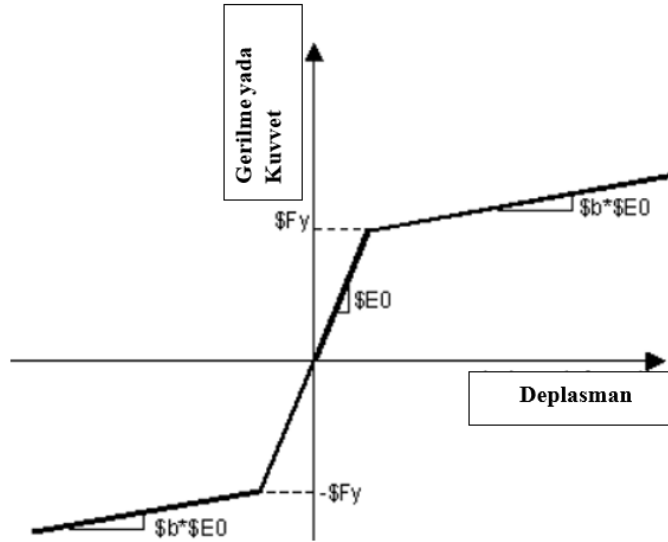
OpenSEES kodlama dilinde malzeme modülleri, genel olarak yapı elemanlarının mekanik davranışını tanımlamak için kullanılmaktadır.

Kullanılan bazı ana malzeme modülleri aşağıda sıralanmıştır.

Çelik : Genel olarak kuvvet – şekil değiştirme, gerilme – şekil değiştirme davranışlarının, doğrusal olmayan davranış biçiminde incelendiği, malzeme özelliklerinin elastik, plastik ve pekleşme sertleşmesi şeklinde 3 kısmı bulunan malzeme çeşididir.

Bu yüksek lisans tezinde tanımlanan çelik malzeme çeşitleri ise Steel 01 ve Steel 2 çelik malzemesi kütüphaneleri olarak seçilmiştir.

- **Steel 01** : Bu malzeme modülü esas olarak lineer elastik malzeme davranışını tanımlamak için kullanılmaktadır. Malzeme tanımlamasında kullanılan parametreleri ise, elastisite modülü, poisson oranı ve malzeme yoğunluğu şeklindedir.



Şekil 4. 34 : OpenSEES Steel01 malzeme parametreleri.

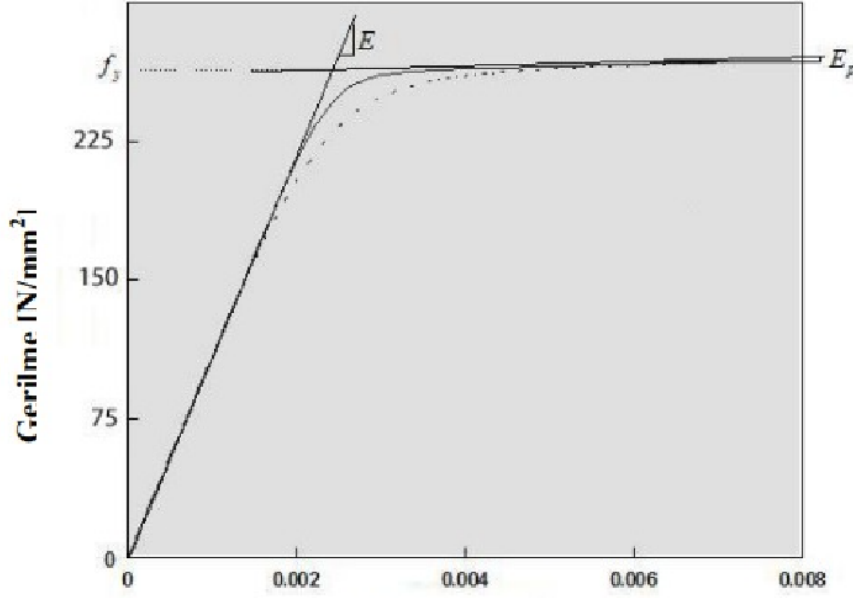
Şekil 4.34’te temsil edilen F_y parametresi çeliğin akma dayanımını temsil etmektedir.

- **Steel 02** : Malzeme modülünde, izotropik pekleşmeli Giuffre Menegotto-Pinto çelik malzemesi tanımlanmaktadır. Bu malzeme modülünün asıl etkisi pekleşme etkilerinin göz önünde bulunduruluyor olmasıdır.
- Malzemeye ait histerik (çevrimsel) davranışı Şekil 4.36’da verilmiştir. Pekleşme katsayısı olarak kullanılan sabit “b” katsayısı değeri 0.002 kabul edilmiştir.

Steel 02 malzeme tanımlamasının diğer bir temel amacı ise burkulması önlenmiş çelik çaprazın çekirdek enkesitinin malzemesinin tanımının yapılması amacıdır.

Steel 02 malzemesine ait grafik Şekil 4.35’de verildiği gibidir. Grafikte verilmiş olan E değeri malzemenin grafikteki lineer bölgedeki elastisite modülünü temsil etmektedir.

E_p ise pekleşmeye geçen bölgedeki çeliğin elastisitesini temsil etmektedir.



Şekil Değiştirme

Şekil 4. 35 : OpenSEES Steel02 malzemesi gerilme – şekil değiştirme parametreleri.

Steel 02 malzeme modülü ile OpenSEES modeli oluşturulan, burkulması önlenmiş çelik çaprazları bulunan iki katlı bir model üzerine tekrarlı tersinir yük uygulanarak kuvvet – yerdeğiştirme grafiği elde edilmiştir.

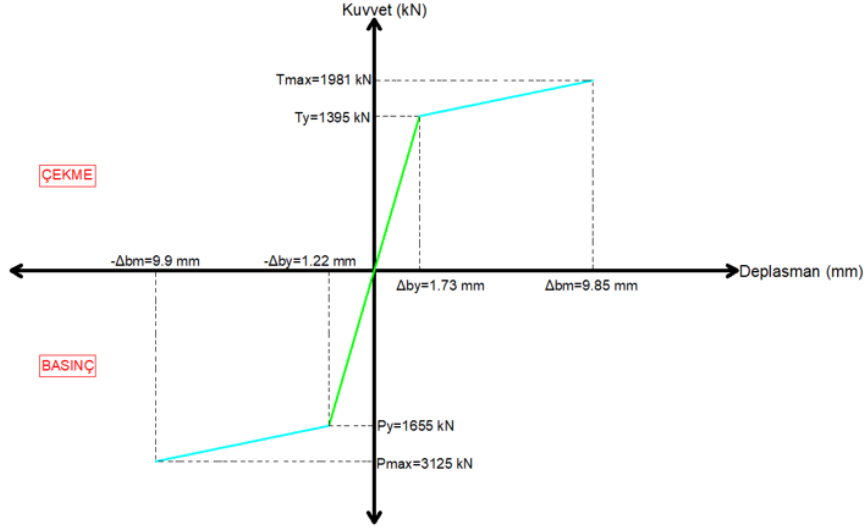
Çevrimsel davranış sonrasında elde edilen bu eğri ile birlikte, burkulması önlenmiş çelik çapraz malzemesinin, referans alınan malzeme davranışı ile uygunluğu karşılaştırılmış ve kontrol edilmiştir.

İki katlı analitik modeli tasarlanan ve analiz programına girilen sistemdeki temel amaç yapısal sistemde kullanılacak olan burkulması önlenmiş çelik çapraz malzemesi modelini uygun parametreler ile tanımlayarak, burkulması önlenmiş çaprazın kuvvet – yerdeğiştirme eğrisini elde etmektir.

Şekil 4.36’da elde edilen karşılaştırma grafiği ile OpensSees analiz programında analitik olarak modellenen çaprazın davranışının, Etabs programında analitik olarak modellenen çapraz davranışlarının birbirleri ile uyumlu ve gerçekçi olduğu

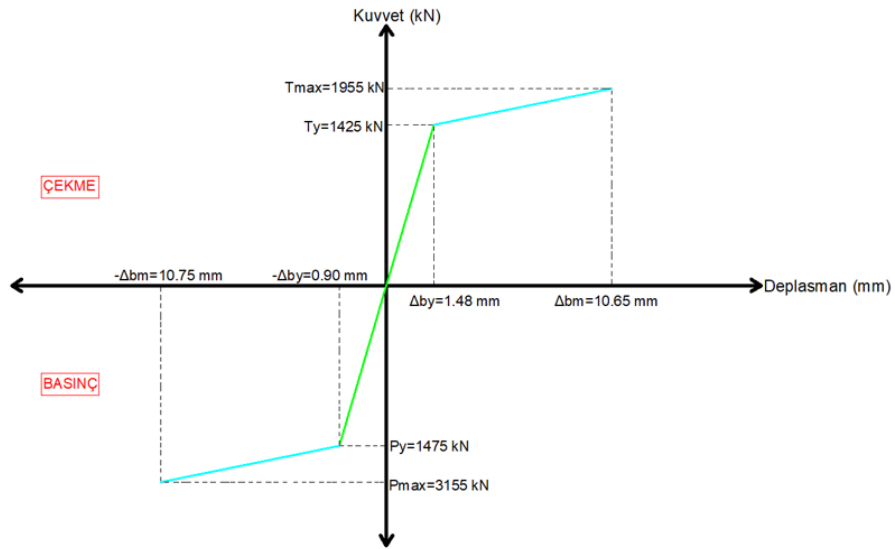
anlaşılmıştır, Sonuç olarak, burkulması önlenmiş çelik çaprazlar için oluşturulması planlanan malzeme modulünde kullanılacaktır.

Çapraza Ait Eksenel Kuvvet – Yer Değiştirme İlişkisi - OPENSEES

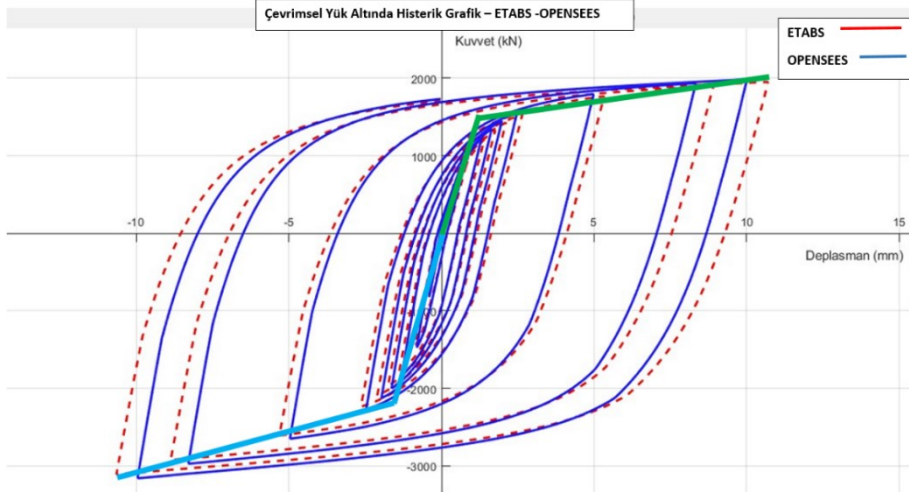


Şekil 4. 36 : Analitik olarak modellenen burkulması önlenmiş çelik çaprazların çevrimsel yükleme altındaki kuvvet –yerdeğiştirme grafiği.

Çapraza Ait Eksenel Kuvvet – Yer Değiştirme İlişkisi - ETABS



Şekil 4. 37 : Etabs eksenel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi grafiği.



Şekil 4. 38 : OpenSEES eksenel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi grafiği.

4.2.2 Eleman modellenmesi

Taşıyıcı sistemin yapısal elemanlarından kolon ve kiriş kesitleri OpenSEES analiz programında lif tanımlanarak oluşturulmuştur. Analiz programında daha önceden oluşturulan malzeme tanımları kullanılarak kesitlerine uygun olacak şekilde tanımlamaları yapılmıştır.

Yapının taşıyıcı sisteminde kullanılan HEB, IPE profillerine ait I enkesit şekilleri alt ve üst başlıklar ve gövde ayrı olacak şekilde bölgesel olarak tanımlanmıştır. Tanımlanmış olan I enkesitleri bölgesel olarak dörtgenlerden oluşmaktadır. Her dörtgen 5 ayrı lif parçasına bölünmüştür. Doğrusal olmayan davranış modeli ise “NoneLinear Beam Column” komutu ile tanımlanmıştır.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazların tanımlanması ise “Coro Truss” kütüphanesi ile yapılmıştır. Kütüphane veritabanı kapsamında burkulması önlenmiş çelik çapraz elemanlarına ait çekirdek bölgesi çelik elemanlarına alan tanımlamaları yapılmış, çelik elemana ait yapısal malzeme sınıfı olarak Steel 02 malzemesi tanımlanmıştır. Yapısal sisteme ait eleman özellikleri tanımlandıktan sonra, elemanları birbirine bağlayan noktalar birbirleri ile bağlanmıştır.

Taşıyıcı sistemin bağlantı noktalarında genel olarak çerçeve ana kirişleri uç kısımlarında ve ikincil kiriş (tali) uçlarında “Zero Length” komutu ile plastik mafsallar tanımlanmıştır.

Kiriş elemanlarının uç bağlantı kısımlarında plastik mafsal noktaları tanımlarının hemen yanında, bağlantı detay noktalarını temsil eden “Elastik Beam Column” komutu ile yüksek rijitlikte malzeme tanımına sahip rijit bölge tanımlamaları

yapılmıştır. Kolonlardaki mafsalsal çeşidi olarak, enkesit özelliğine bağlı gelişen nonlinear beam column özelliğinde olması ve enkesite ait fiber özelliklerinden dolayı mafsalsal davranışı yığılı plastik davranışı olarak uç noktalara atanmamış, profil boyunca yayılı plastik mafsalsal özelliği gösterecek şekilde atanmıştır. Enkesitte oluşması planlanan doğrusal olmayan özellik enkesitte tanımlanmış olan fiberler aracılığıyla tüm enkesitin bölgelerinde görülebilmektedir.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazlar ise uç kısımlarında plastik mafsalsal özelliği bulundurmayacak şekilde kolon kirişlere guse plakası ile bağlanacağı varsayılarak detaylandırma işlemi yapılmıştır. Detaylandırması eklerde verilen guse bağlantı plakasının var olan mevcut rijitliği modelde “Elastic Beam Column” komutu ile yüksek rijitlik parametresi girilerek sağlanmıştır.

4.2.3 Kat hizalarında diyafram davranışının modellenmesi

Katlarda aynı kordinat hizalarında bulunan noktasal tanımlamaların aynı düzlemde beraber hareket edebilmesi için analiz modelinde her bir kata özgü rijit diyaframlar tanımlanmıştır.

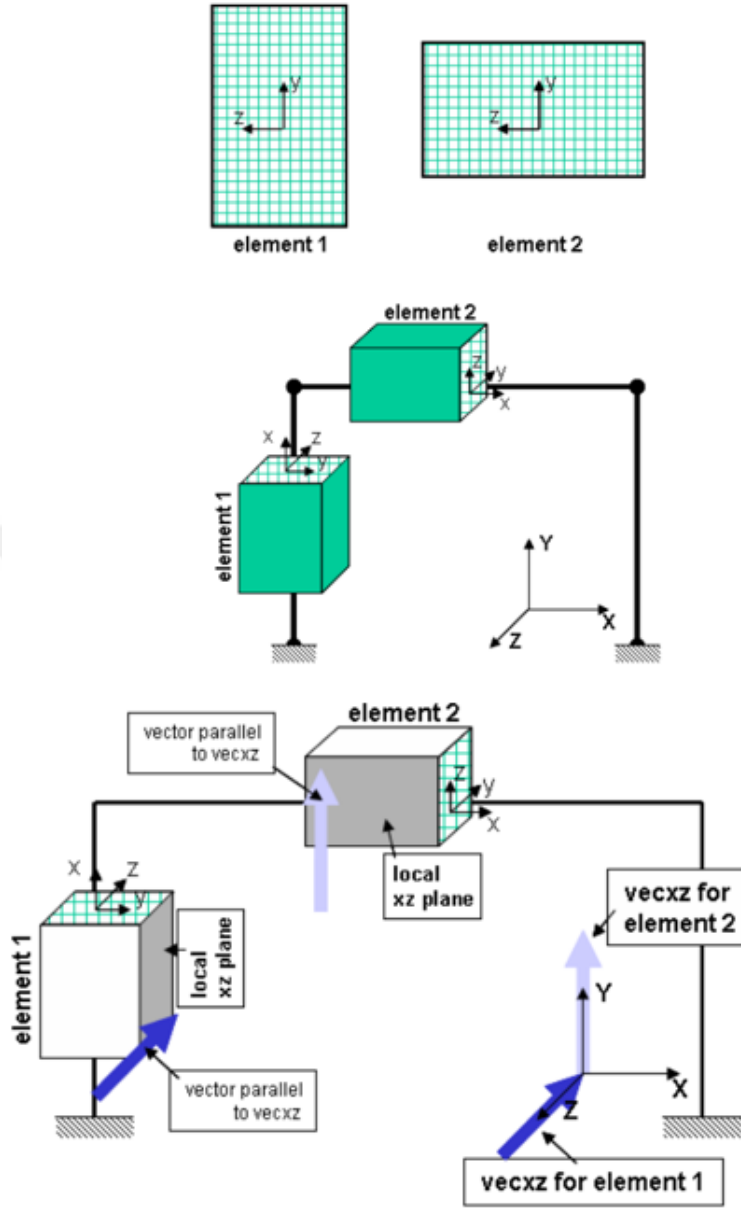
OpenSEES’de aynı kat hizasında bulunan noktalar yine aynı katta kat planının aks orta noktalarına denk gelecek şekilde belirlenmiş olan noktalara bağlanmaktadır. Kat planının orta noktasında belirlenmiş olan bu noktalar ek olarak yapının kat bazında kütle merkezini de tanımlamaktadır.

4.2.4 Geometrik transformasyon

Taşıyıcı sisteme ait yapısal elemanların enkesit yerleşimlerinin istenilen yerleşim sisteminde olmaması durumlarında, yapısal elemanlar ve yapısal elemanlara bağlı parametreler bu durumdan doğrudan etkilenmektedir.

Yapısal elemanlara ait enkesitlerin zayıf veya güçlü eksenlere göre dayanımları etkilenmekte, taşıyıcı sistem özellikleri kapsamında ise yapıya etki eden kuvvetlerin, periyot, yerdeğiştirme ve kat ötelemesi gibi değerleri etkilenmektedir.

Bu nedenle geometrik transformasyon, OpenSEES programında daha önceden atanmış elemanların kesitlerinin 3 boyutlu sistem olarak doğru yerleşimde olmasını sağlamaktadır.



Şekil 4. 39 : Çubuk elemanlarda geometrik transformasyon.

4.2.5 Yapısal analiz

Bölüm 3’de belirlenmiş olan sabit düşey yükler OpenSEES analiz modelinde tam olarak, hareketli yükler ise hareketli yük azaltma katsayısı ile azaltarak ele alınmıştır.

Tezin bu bölümlerinden elde edilen yük durumları ise yapısal elemanların üzerine yayılı yük olacak şekilde etki ettirilmiştir.

İkincil kirişlere etkiyen yüklerden kaynaklı gelen ek yük durumları ise tali kirişin uçlarının çerçeve ana kirişine denk geldiği yerlerde çerçeve ana kirişlerine etkitilmiş noktasal yüklemeler şeklinde tanımlanmıştır.

Herbir kata ait toplam kat kütlesi değerleri, düşey ve hareketli yük durumlarının toplamının yer çekimi ivmesine bölünerek elde edilmesiyle bulunmuş ve etki ettirilmiştir.

Atanmış olan yük ve kütle durumlarından sonra zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz kısmına geçebilmenin ilk şartı olan sabit düşey yükler altında “Gravity Analysis” gerçekleştirilmiştir.

Sabit düşey yüklemeler altında elde edilen yapısal yer değiştirmelere bağlı olarak doğrusal olmayan analiz kısmına geçiş yapılmıştır.

4.2.6 Kodlama algoritmaları

Yüksek lisans tezinin bu bölümünde OpenSEES kodlama dilinde var olan kodlaması yapılan analiz işlemlerinin tamamlanabilmesi için kullanıcının kod olarak saptaması gerekli olan çözüm sistemleri belirtilmiştir.

OpenSEES, zaman tanım alanında doğrusal olmayan kompleks matrisleri ve bu matrislerden elde edilen çok bilinmeyenli denklemlerin çözümünü bulmak için çok sayıda çeşitlilikte algoritmaya sahiptir. Bu algoritmalar sırası ile, Newton Algoritması, Broyden Algoritması, Değiştirilmiş Newton Algoritması ve Krylov-Newton Algoritmasıdır.

Newton algoritması, analizdeki hesap adımları için ve bu adımlara geçmek için Newton-Raphson yöntemini kullanmaktadır.

Modifiye Newton yöntemi ise rijitliğe ait teğet çizgisi Newton- Raphson yöntemine kıyasla sadece her yük veya zaman artışında bir kez güncellenmektedir. Tanımları verilen bu iki algoritma basit ve simetrik sistemlerin kullanımı için daha uygundur.

Broyden algoritması asimetrik sistemlerde kullanılmaktadır. Bu algoritma ardışık rank-one güncellemeleri ile işlemlerini gerçekleştirmektedir.

Krylov-Newton algoritması ise tanımlaması yapılmış olan tüm algoritmalarından daha hızlı bir alternatif olmaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında tek bir iterasyon kullanılmamıştır. Yapısal taşıyıcı sistem yinelemeli bir döngü ile kontrol edilmiştir.

Newton algoritması ile ilk denemede başarısız olunması durumunda, iterasyon belirtilmiş olan diğer algoritmaları ile tekrardan denenecektir.

4.2.7.1 Denklem sistemleri çözüm yöntemleri

OpenSEES analiz programı içerisinde denklem sistemlerini hafıza da depolamak ve bu denklem sistemlerini çözmek için farklı sistemler bulunmaktadır. Bu sistemler aşağıdaki sıralanmıştır.

- BandGeneral SOE: Bu sınıf, bant genişliğinde simetrik olmayan matris sistemleri için doğrudan çözücü olarak kullanılmaktadır.
- BandSPD SOE: Bu denklem sistemi çözücü sınıf, simetrik bant genişliğine sahip pozitif matris sistemlerinde kullanılmaktadır.
- ProfileSPD SOE: Bu sınıf, simetrik bant genişliğine sahip pozitif kesin matris denklem sistemlerini çözmek için kullanılmaktadır.
- SparseGEN SOE: Denklem sistemleri seyrek matris olan sistemlerin çözücü algoritması olarak kullanılmaktadır.
- UmfPack SOE: Simetrik olmayan matris denklem sistemlerinin çözümü için doğrudan UmfPack çözücü algoritması işlev görmektedir.
- FullGeneral: Simetrik olmayan ve yoğun matrislerde denklem çözücüsü olarak kullanılmaktadır.
- SparseSYM SOE: Simetrik olan ve seyrek matrislerde sistem çözücü olarak kullanılmaktadır.

4.2.7.2 Yakınsama

OpenSEES kodlama dilinde yakınsama işlemleri kontrolü için yedi farklı yol bulunmaktadır. Bu yüksek lisans tezi analizlerinde Energy Increment Test yakınsaması tercih edilmiştir. Yakınsama toleransı olarak $1E^{-06}$ olacak şekilde kabul edilmiştir.

Çeşitli enerji ve yer değiştirme durumlarına karşın bu yakınsama tolerans değeri analiz sonuçlarına uygun olacak şekilde azaltılabilip artırılabilir.

4.2.7.3 Sınır koşulları

Constraints komutu denklem sistemlerindeki analizlerde mevcut sınır değerlerine göre çözüm yöntemlerinin nasıl uygulanacağını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada “constraint” komutunun işleyicisi olarak “Transformation” seçeneği tercih edilmiştir.

4.2.7.4 Statik integratör

OpenSEES kodlama dilinde kullanılan statik integratörler, aşağıdaki gibi sıralanmıştır. Bu statik integratörler analizlerde genel olarak bir sonraki adımın ne amaçla ve nasıl yapılacağını belirlemektedir.

- Load Control: Etki alanında yüklere uygulanacak artımlı yük faktörünü belirtmektedir.
- Displacement Control: Serbestlik derecesi alanı içinde belirtilen bir noktadaki artımlı yer değiştirmeyi belirtmektedir.
- Minimum Unbalanced Displacement Norm: Artık yük faktörünü belirtmektedir. Artık yer değiştirme normu değerinin minimum olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir.
- Arc Length: Yük-yer değiştirme durumunda artan yay uzunluğunu belirtmektedir.

4.2.7.5 Serbestlik derecesi numaralandırma işlemi

Kodlaması yapılan üç boyutlu analiz modelinde serbestlik dereceleri ile denklem sayıları arasında eşleşmenin sağlanabilmesi için “Numberer” komutu kullanılmaktadır.

OpenSEES analiz programı içinde kullanılan farklı yöntemler aşağıda sıralanmıştır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında RCM'nin baştan yüklü olarak varsayılan seçeneği kullanılmıştır.

4.2.7.6 Yer çekimi kuvveti

ZTDOA işleminin doğru bir şekilde yapabilmesi ve tanımlanabilmesi için, ilk adımda yerçekimi analizinin tamamlanması gerekmektedir.

Yerçekimi analizinin tamamlanmasından sonra elde edilen deformasyon modeline göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz işlemi gerçekleştirilmelidir. OpenSEES analiz kodlamasında yerçekimi analizinde, herhangi bir yer hareketi prosedüründen ve zaman fonksiyonlarından önce zamana bağlı olmaksızın düşey analiz yapılmıştır.

Analizde kullanılacak, kat döşemelerine gelen kuvvetler aşağıdaki gibidir.

- Kat döşemesi sabit yükleri : 5.3 kN/m^2
- Kat döşemesi hareketli yükleri: 3.5 kN/m^2
- Duvar yükü: 3.0 kN/m

Yapısal taşıyıcı sistem elemanlarına ait ölü yükler Etabs programı tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır.

Bu analiz modelinde, katlardan gelen yerçekimi yükleri kirişlerdeki yayılı ve noktasal yükler aracılığıyla kolon uçlarına aktarılmıştır.

4.2.7.8 Kütle atanması

Yapısal kütle, taşıyıcı sistemin analizi aşamasında yapıya katılan yükler olarak tanımlanmaktadır.

Yapıya katılan yükler genel olarak ölü yüklerin tamamı ve hareketli yüklerin bir kısmı olacak şekilde tanımlanması yapılmaktadır.

Taşıyıcı sistem analiz modelinde kütleyi tanımlamanın birden farklı yolları bulunmaktadır. İlk yöntem olarak yerçekimi tarafından etkiyen yükleri taşıyan yapısal elemanların uç düğümleri ile tanımlamaktır. İkinci yöntem olarak, ayrı bir kütle kodu ile kütlenin tanımlanmasıdır.

Kütle tanımlama işlemleri yapısal elemanların uç düğümlerine olacak şekilde, kendine ait yükleme alanı dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu yüksek lisans tezinde kütle tanımlamasında sabit yük değerlerinin tamamı, hareketli yüklerin ise %30' luk kısmı dikkate alınmıştır. Hesaplaması yapılan kütle değerlerinin kolon uçlarına her bir kat için ayrı ayrı olacak şekilde atamaları yapılmıştır.

5. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yüksek lisans tezinin bu bölümünde, ZTDOA tamamlanması ile analiz sonuçlarına göre elde edilmiş olan sonuçların değerlendirilmesi yapılacaktır.

23 katlı taşıyıcı sistemin deprem performansının değerlendirilmesi işleminde, 11 adet ivme kaydı kullanılmıştır.

İvme kayıtlarından elde edilmiş olan kat hizası kesme kuvvetleri (diyafram kuvvetleri), burkulması önlenmiş çelik çaprazlarda oluşan şekil değiştirme (uzama, kısalma) durumları, 11 adet deprem ivme değerlerine bağlı olarak oluşan enerji diyagramları, tepe noktası yer değiştirme değerleri ve X ve Y doğrultuları için görelî kat ötelemesi oranları sonuçları incelenecektir.

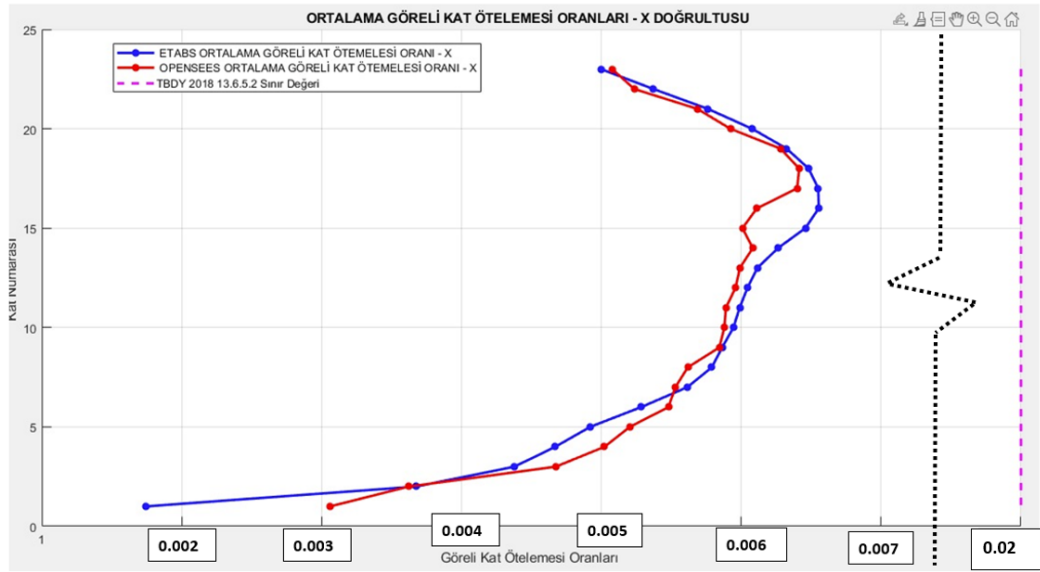
Elde edilmiş olan sonuçlar, TBDY 2018 ve ÇYTHYE 2016’da süneklilik düzeyi yüksek burkulması önlenmiş merkezi çelik çaprazlı çerçeveler için verilen koşullara göre değerlendirmeler ve incelemeler yapılmıştır.

Değerlendirme koşulları için TBDY 2018 bölüm 9.7 ve Bölüm 9.9 ’dan faydalanılmıştır.

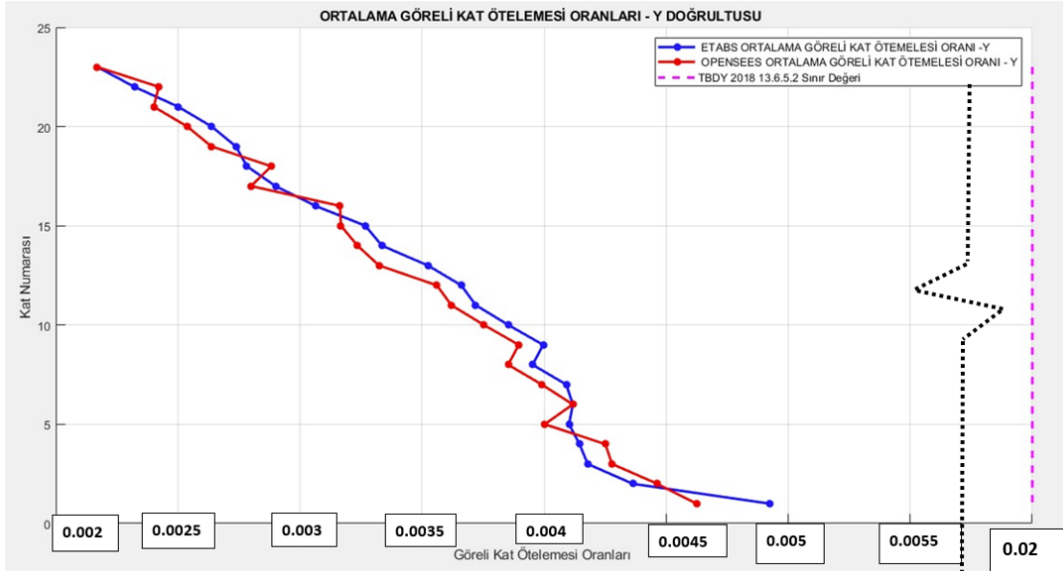
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde, binaya ait taşıyıcı sistemin asal eksenlerine dik yatay doğrultuda toplamda çift olarak 11 adet deprem yer hareketi kaydı uygulanmıştır.

Deprem yer ivmesi kaydı olarak, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi yönteminde yer ivmesi hareketi çiftleri 90 ° döndürülmüş ve oluşan 22 adet deprem yer hareketine bağlı analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1’de, ZTDOA sonucunda elde edilen ortalama maksimum ve minimum görelî kat ötelemesi oranları verilmiştir.

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 ‘de, ZTDOA göre elde edilmiş X ve Y doğrultularına ait ortalama görelî kat ötelemeleri oranları verilmiştir.

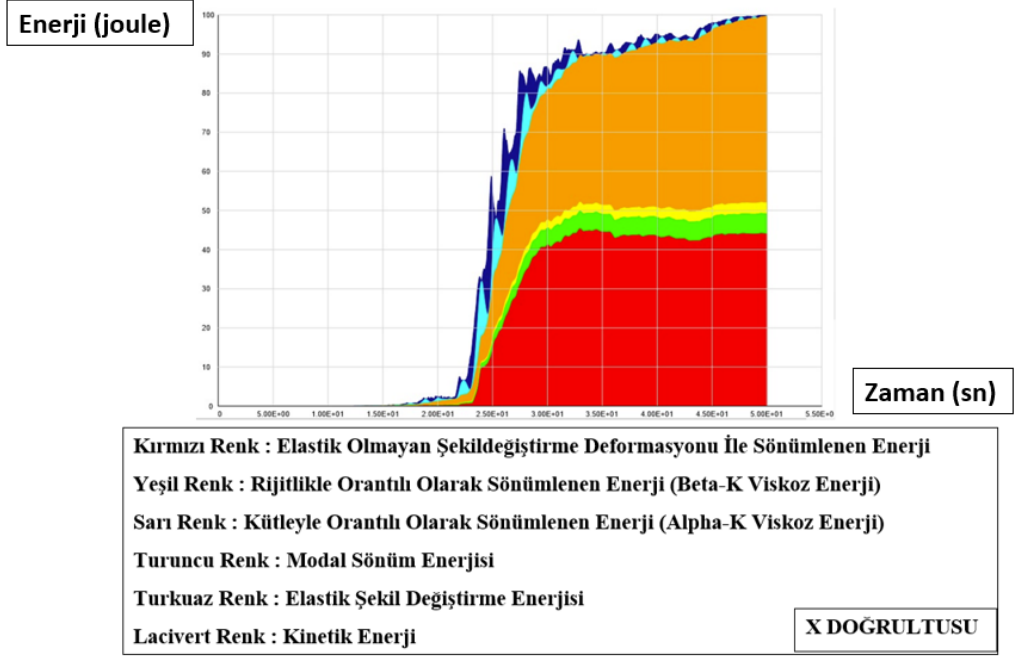


Şekil 5. 1 : Adet deprem kaydı sonucunda elde edilmiş olan X doğrultusunda görelî kat öteleme oranları.

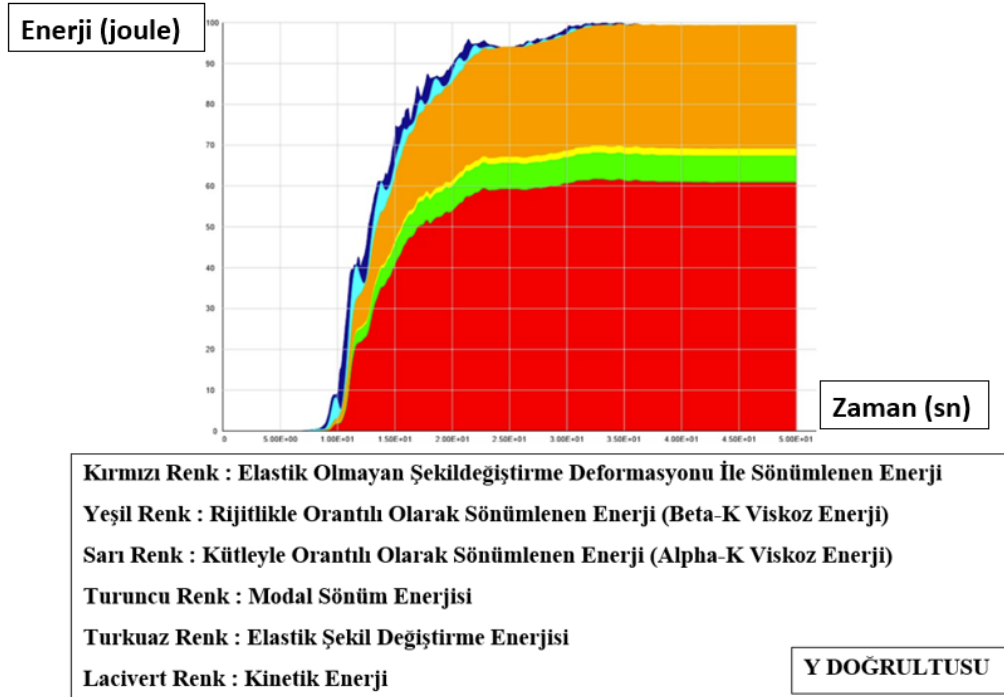


Şekil 5. 2 : Adet deprem kaydı sonucunda elde edilmiş olan Y doğrultusunda görelî kat öteleme oranları.

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’ de detaylı olarak incelendiğinde, X ve Y doğrultularında elde edilmiş olan görelî kat öteleme oranları yapının 23 katınıda kapsayacak şekilde, TBDY 2018 Bölüm 13.6.5.2’de belirtilen sınır değeri 0.02’den küçük elde edilmiştir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere görelî kat öteleme oranları üst katlara doğru çıkıldıkça artış göstermektedir. Fakat artış gösteren bu değerler TBDY 2018 yönetmeliği tarafından belirtilen %2 sınır değerini aşmamaktadır.

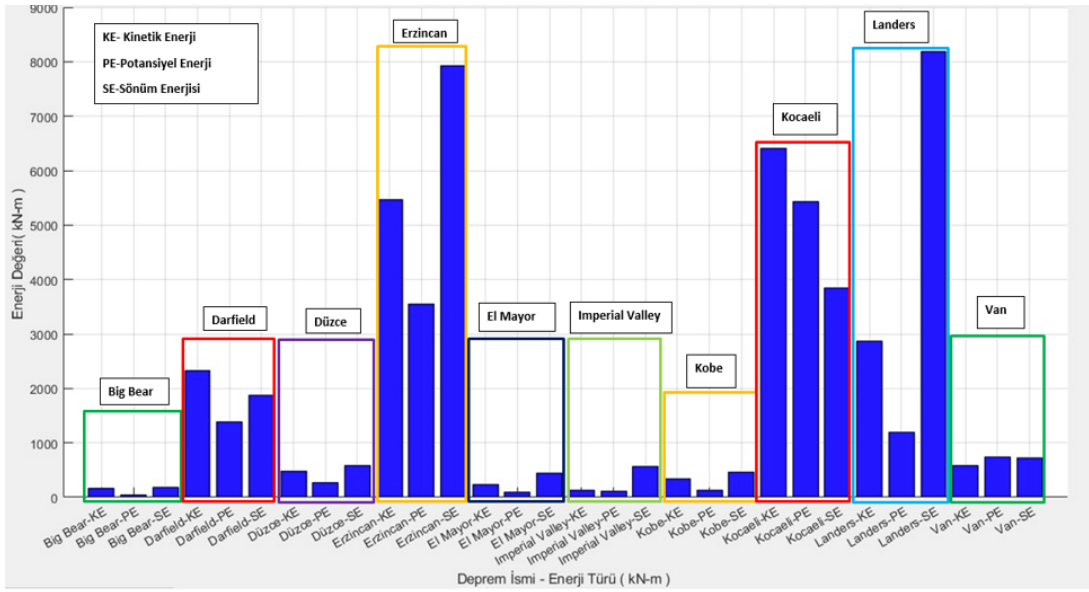


Şekil 5. 3 : Kocaeli Depremi – X Doğrultusu enerji diyagramı.



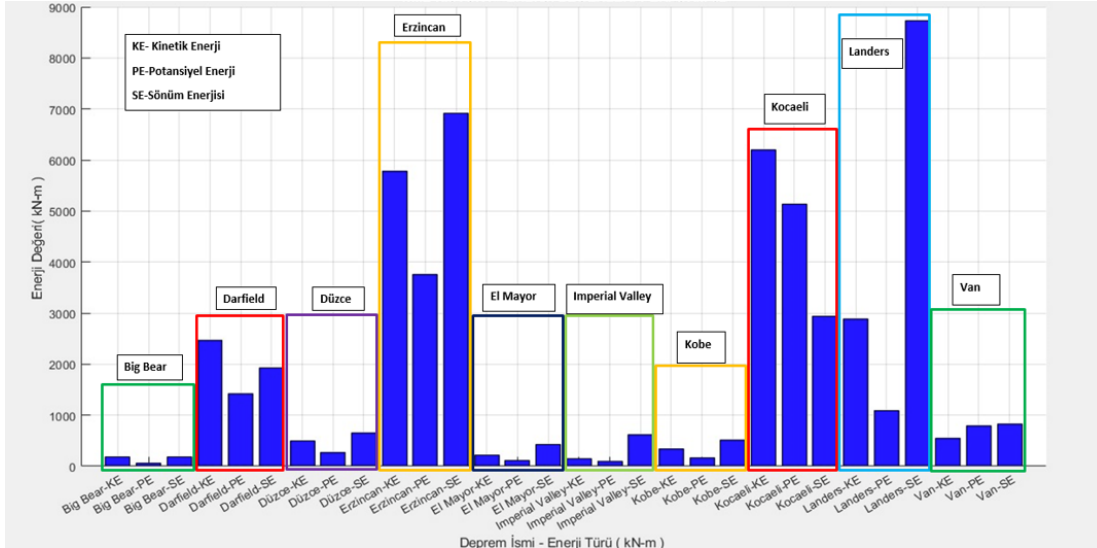
Şekil 5. 4 : Kocaeli Depremi – Y Doğrultusu enerji diyagramı.

Şekil 5.3 - 5.4'de Kocaeli depremine ait X-Y doğrultuları için enerji diyagramları verilmiştir. Diyagramlardan da anlaşılacağı üzere elastik olmayan şekildeğiştirme deformasyonu ile enerjinin büyük bir kısmı sönümlenmiştir.



Şekil 5. 5 : Adet deprem kaydına göre enerji sönüm değerleri-Etabs.

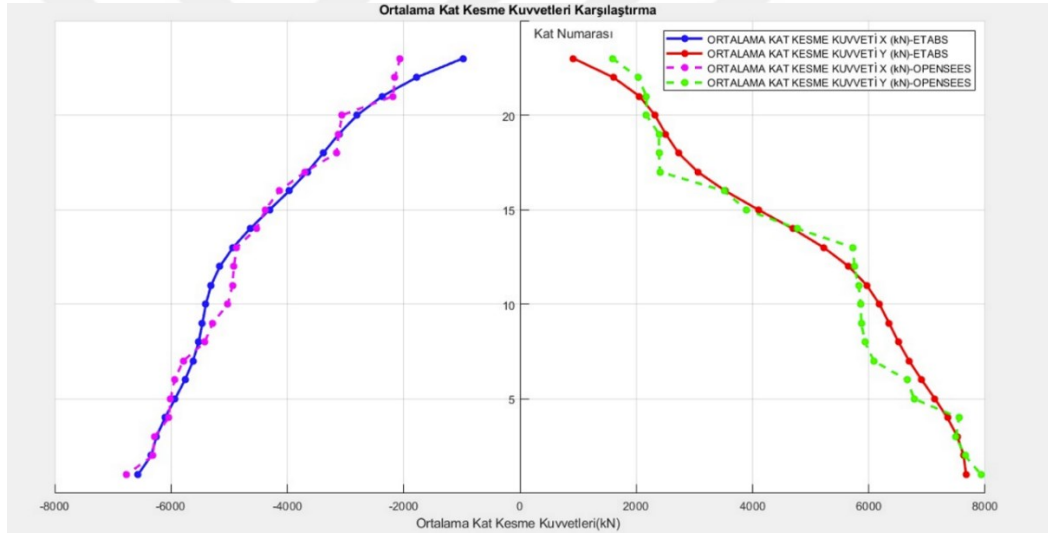
Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da Etabs ve OpenSEES analiz programlarında 11 adet deprem yer ivmesi kaydı ve bu ivmelere bağlı olarak oluşan enerji diyagramı değerleri elde edilmiştir. Herbir depreme özgü elde edilmiş olan enerji diyagramlarına bağlı toplam enerji değerleri kendi içinde üç kısımda değerlendirilmiştir. Bu kısımlar, Kinetik Enerji, Potansiyel Enerji ve Sönümlenme Enerjisi şeklinde olmuştur.



Şekil 5. 6 : Adet deprem kaydına göre enerji sönüm değerleri-OpenSEES.

Grafiklerde verilmiş olan kutu diyagramlarından da anlaşılacağı üzere yer hareketlerinden kaynaklı oluşan maksimum ivme değerlerine bağlı olarak toplam enerji değerleri de farklılık gösterebilmekte ve burkulması önlenmiş çelik çaprazlardaki sönümlenme enerjisi değeri, bu ivme değerinden doğrudan etkilenebilmektedir.

Deprem yer ivmesi hareketlerinden elde edilmiş toplam enerji değerlerine bağlı olarak ortaya çıkan elastik olmayan şekildeğiştirme deformasyonu ile sönümlenen enerji iki analiz programında da yaklaşık değerlerde elde edilmiş olması burkulması önlenmiş çelik çaprazların yapıda sönümleme etkisi yaptığını ve enerjinin diğer yapısal elemanlarda birikmesinin önüne geçtiğini ve bu sayede diğer yapısal elemanlarda plastik şekil değiştirmelerin oluşmadığı, sadece burkulması önlenmiş çelik çaprazlarda oluştuğu teorisini büyük ölçüde desteklediği görülmektedir.



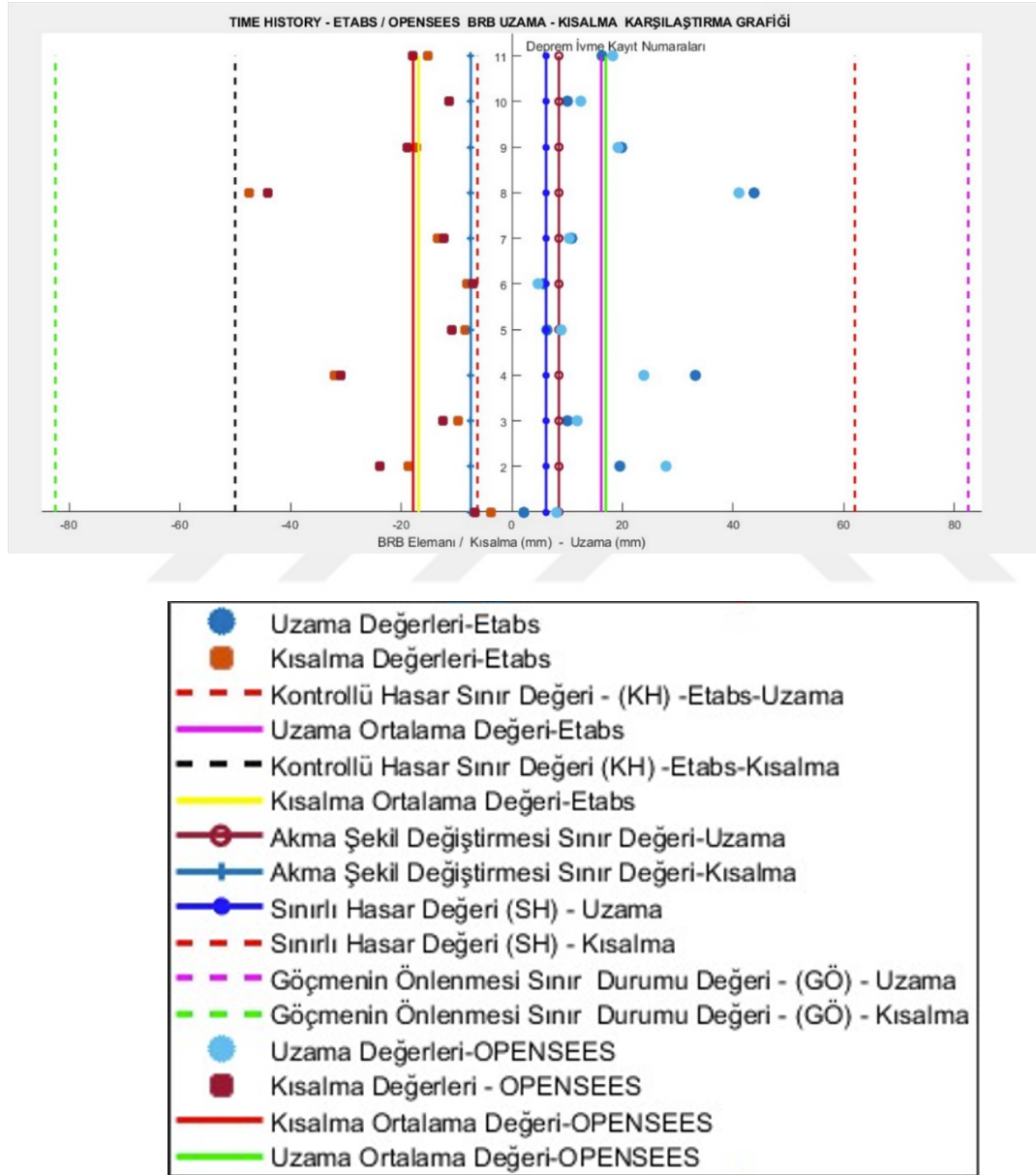
Şekil 5. 7 : ETABS ve OPENSEES analiz programlarından elde edilen X ve Y doğrultusunda ortalama kat kesme kuvvetleri.

Şekil 5.5’de Etabs ve OpenSEES analiz programlarından elde edilmiş olan X ve Y doğrultularındaki ortalama kat kesme kuvvetleri ve katlara göre değişimi gösterilmektedir.

Analiz sonuçlarına göre iki model ve iki doğrultuda elde edilen maksimum kat kesme kuvvetleri sonuç olarak taban kesme kuvvetlerini olmuştur. OpenSEES ve Etabs analiz programlarından elde edilen taban kesme kuvvetleri oranları sırası ile X doğrultusu için 1.08 ve Y doğrultusu için 1.07 olarak elde edilmiştir. Elde edilmiş bu oranlara göre, kat kesme kuvvetleri ve taban kesme kuvvetleri iki farklı analiz

modelinde de benzerlik göstermiş. Maksimum taban kesme kuvveti değerleri ise iki ayrı model de 6500- 8000 kN değer aralığında yer almıştır.

Şekil 5.6’da Etabs ve OpenSEES analiz programlarından eX ve Y doğrultularında elde edilmiş 23. Kattan seçilen bir burkulması önlenmiş çelik çapraza ait 11 adet deprem ivmesi kaydına göre uzama ve kısalma değerleri ve kat yüksekliklerine bağlı değişimi gösterilmiştir.



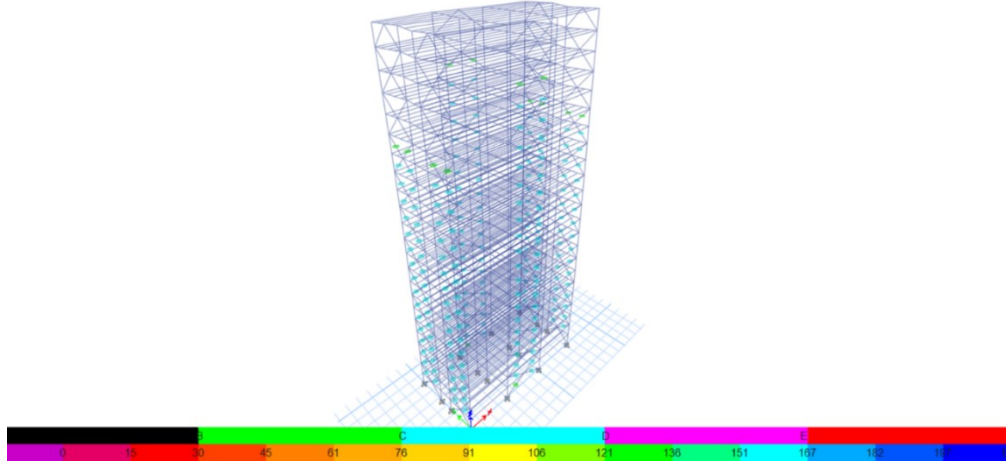
Şekil 5. 8 : ETABS ve OPENSEES programlarından elde edilen X ve Y doğrultusunda BÖÇ uzama ve kısalma değerleri.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazlara ait elde edilen uzama ve kısalma değerleri Çizelge 5.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 5. 1 : ETABS ve OPENSEES analiz programlarından elde edilen X ve Y doğrultusunda BÖÇ uzama, kısalma ve sınır değerleri.

Program		Ortalama Değer	Akma Şekil Değiştirmesi	Kontrollü Hasar	Sınırlı Hasar	Göçmenin Önlenmesi
			Sınır Değeri (mm)	Sınır Değeri (mm)	Sınır Değeri (mm)	Sınır Değeri (mm)
ETABS	Uzama	16.16	8.51	6.2	62	82.5
	Kısalma	16.84	7.4	6.2	62	82.5
OpenSEES	Uzama	16.98	8.51	6.2	62	82
	Kısalma	16.85	7.4	6.2	62	82.5

Çizelge 5.1' e göre Etabs ve OpenSEES analiz programlarından elde edilmiş olan uzama ve kısalma değerleri birbirleri ile uyumlu sonuçlar vermiş ve sınır durumlarından sadece Akma Şekil Değiştirmesi ve Kontrollü Hasar Sınır durumlarını geçmektedir.



Şekil 5. 9 : ETABS analiz programı ile elde edilen plastik mafsalları dağılımı.

Kocaeli - 1999 depremi yer ivmesi etkisinde Etabs analiz programı ile elde edilmiş plastik mafsalları noktalarının dağılımı, üç boyutlu yapı modelinde, Şekil 5.7'de verilmiştir.

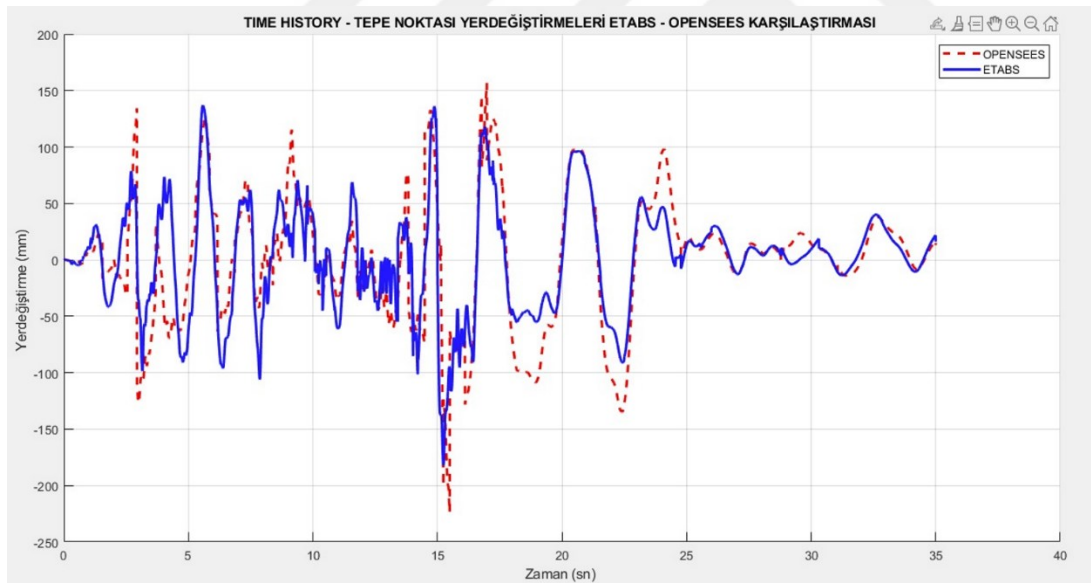
Etabs analiz programında elde edilmiş olan plastik mafsalların dağılımlarına göre, plastik şekildeğiştirmelerin burkulması önlenmiş çelik çaprazların orta noktalarında olduğu, kolon ve kirişlerin doğrusal elastik davranış hareketlerine devam ettiği,

sadece burkulması önlenmiş çelik çaprazların elastik olmayan şekildeğiştirme deformasyonu yaptığı gözlenmektedir. Benzer yapısal eleman davranışları OpenSEES analiz programı ile de elde edilmiştir.

Sonuç olarak, süneklik düzeyi yüksek burkulması önlenmiş çelik çaprazlı merkezi çelik çerçeveler için TBDY 2018’de öngörülen doğrusal olmayan davranışın oluştuğu gözlemlenmiştir.

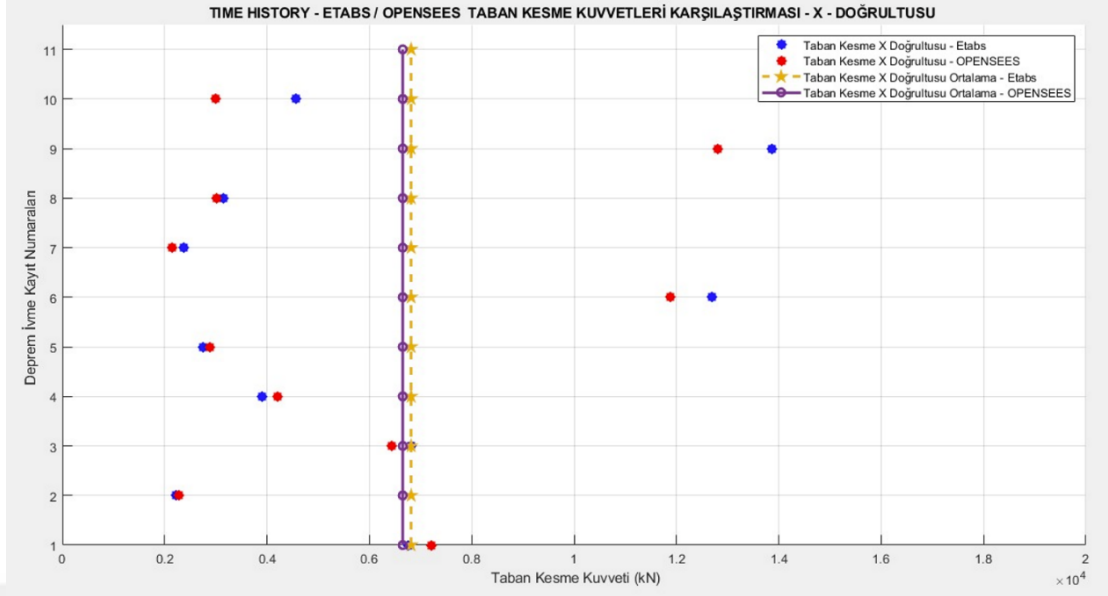
Şekil 5.8’ de Etabs ve OpenSEES analiz programlarından elde edilmiş olan tepe noktası yerdeğiştirme değerlerinin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir.

Analiz sonuçlarına göre, OpenSEES analiz programında elde edilen maksimum tepe noktası yerdeğiştirme değeri 170 mm, Etabs programında elde edilmiş olan maksimum değeri 155 mm’dir. Bu değerler Şekil 5.8’deki grafiğe göre 15.sn ve 20 sn aralığında oluşmuştur.



Şekil 5. 10 : Etabs ve OpenSEES programlarından elde edilen tepe noktası yerdeğiştirmeleri.

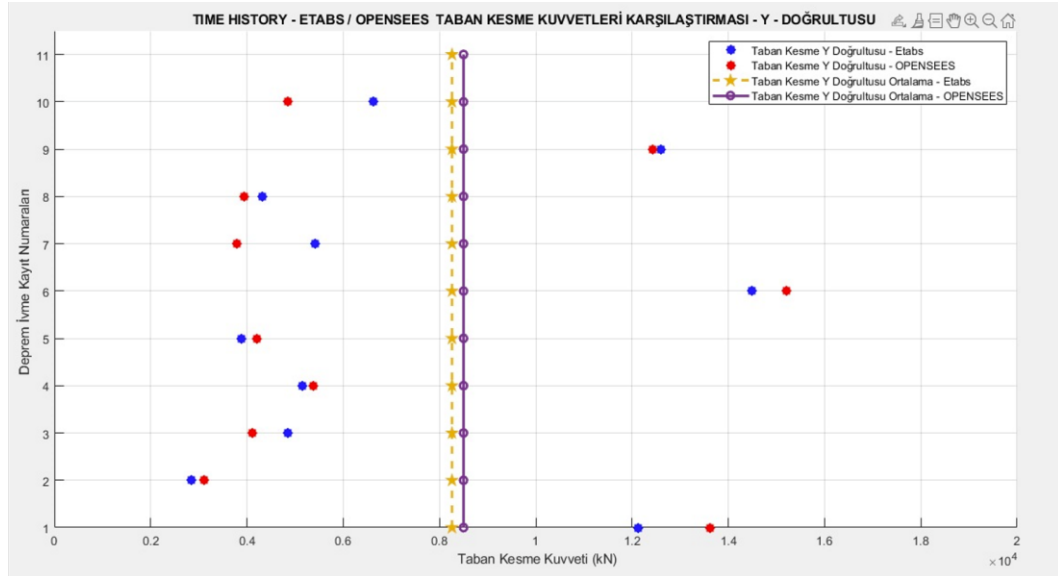
Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da Etabs ve OpenSEES analiz programlarından elde edilmiş olan taban kesme kuvveti değerlerinin deprem yer ivmesi kayıtlarına göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 5. 11 : Etabs ve OpenSEES analiz programlarından elde edilen X doğrultusu taban kesme kuvvetleri değerleri.

Analiz sonuçlarına göre iki analiz modeline ait X ve Y doğrultuları için ortalama taban kesme kuvveti değerleri yaklaşık değerlerde elde edilmiştir.

X doğrultusunda OpenSEES analiz programından elde edilmiş ortalama taban kesme kuvveti değeri 6372.13 kN, Y doğrultusunda Etabs programından elde edilmiş ortalama taban kesme kuvveti değeri ise 8255.8 kN olmuştur.



Şekil 5. 12 : Etabs ve OpenSEES analiz programlarından elde edilen Y doğrultusu taban kesme kuvvetleri değerleri.

Sonuç olarak,

Bu çalışmada, deprem etkilerinin tamamını karşılamak üzere burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin kullanıldığı yüksek bir çelik binanın tasarımı yapılarak, binayı oluşturan taşıyıcı sistemin 11 adet deprem yer hareketi kaydı kullanılmak suretiyle ZTDOA gerçekleştirilmiş ve deprem etkileri altında performansı değerlendirilmiştir. Bina taşıyıcı sisteminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri OpenSees ve ETABS bilgisayar yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, plastik şekildeğiştirmelerin bu tür sistemler için öngörüldüğü gibi sadece burkulması önlenmiş çelik çapraz elemanların uzama ve kısalma davranışı göstermesi şeklinde meydana geldiği ve diğer tüm elemanların (kolonlar ve kirişler) elastik bölge içinde kaldığı görülmüştür. Göreli kat ötelemesi oranlarının, belirli koşullara göre sınırlandırılan plastik şekildeğiştirmelere bağlı olarak dolaylı bir şekilde sınırlandırıldığı gözlenmiştir. Deprem yer hareketinin oluşturduğu enerjinin tamamının burkulması önlenmiş çelik çaprazlar tarafından, uzama ve kısalma plastik şekildeğiştirmeleri ile karşılandığı belirlenmiştir. Burkulması önlenmiş çelik çaprazların plastik mafsallarında oluşan ortalama uzama ve kısalma değerlerinin Kontrollü Hasar (KH) sınır değerini aşmadığı ve bu bina için belirlenen KH performans hedefinin sağlandığı görülmüştür. Tez çalışması kapsamında incelenen binanın, deprem performansı bakımından öngörülen DD2 deprem yer hareketi düzeyinde Kontrollü Hasar (KH) performans hedefini sağlayan yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olduğu görülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yatay yük taşıyıcı sistemi burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan çok katlı yüksek bir çelik binanın tasarımı yapılarak deprem etkileri altında doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir.

Tez çalışması olarak yürütülen bu araştırmada; deprem etkilerinin tamamını karşılamak üzere burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin kullanıldığı yüksek bir çelik binanın tasarımı ile 11 adet deprem yer hareketi kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinin gerçekleştirilmesi ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda taşıyıcı sistemin deprem performansının değerlendirilmesinden oluşmaktadır. Bu kapsama uygun olarak, burkulması önlenmiş çelik çaprazların eksenel şekil değiştirme (uzama ve kısalma) durumları, kat hizası kesme kuvvetleri (diyafram kuvvetleri), sönümlenen deprem enerjisinin taşıyıcı sistem davranışı içindeki dağılımı, kat yer değiştirme değerleri ve görelî kat ötelemeleri irdelenmiştir.

Bu analitik çalışma sonucunda elde edilmiş başlıca sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1. Plastik şekil değiştirmelerin bu tür sistemler için öngörüldüğü gibi sadece burkulması önlenmiş çelik çapraz elemanların uzama ve kısalma davranışı göstermesi şeklinde meydana geldiği ve diğer tüm elemanların (kolonlar ve kirişler) elastik bölge içinde kaldığı görülmüştür.
2. Burkulması önlenmiş çelik çaprazların plastik mafsallarında oluşan ortalama uzama ve kısalma değerlerinin Kontrollü Hasar (KH) sınır değerini aşmadığı belirlenmiştir.
3. Bu tür yapı sistemleri için TBDY 2018 Tablo 3.4(c)'de belirtilen ve Normal Performans Hedefi olarak tanımlanan KH performans hedefinin değerlendirilmesi kapsamında, doğrudan görelî kat ötelemesi sınırı olmamasına rağmen, sınırlandırılan plastik şekil değiştirmelerin görelî kat

ötelemelerinin sınırlandırılmasını da sağladığı ve esas alınan %2.0 sınır değerinin aşılmadığı gözlemlenmiştir.

4. Deprem enerjinin büyük bir bölümünün (%70) burkulması önlenmiş çelik çaprazların plastik şekil değiştirme davranışları ile sönümlendiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma yalnızca merkezi bağlı burkulması önlenmiş çelik çaprazlar ile yapılmıştır.



KAYNAKLAR

- ANSI/AISC 341-16 2016.** Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago.
- ANSI/AISC 360-10 2010,** Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago.
- AutoCad 2019,** Commercial Computer-Aided Design and Drafting, Autodesk.
- Aydınoglu, M., N., Özer, E., Celep, Z. ve Özeydin, K.** (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Eğitim El Kitabı*. Ankara: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.
- Baş, E. E.** (2013). *Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçevelerde Büyütme Katsayısının İncelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Christopoulos, A. S.** (2005). *Improved Seismic Performance of Buckling Restrained Braced Frames*. (Master of Science in Civil Engineering). University of Washington, Washington, DC.
- Chopra, A. K.** (2007). *Yapı dinamiği: teori ve deprem mühendisliği uygulamaları* (Hilmi Luş Çev.). İstanbul, Palme Yayıncılık.
- Çelik Yapıların Tasarımı, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik** (2018). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Çetinkaya, S.** (2013). *Çelik Çekirdekli Bir Burkulması Önlenmiş Çaprazın (BÖÇ) Histerik Davranışı ve BÖÇ'li Bir Çelik Bina Tasarımı*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ÇYTHYE** (2018). *Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Esaslar 2018*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Design Examples Version 14.1**, 2011. American Institute of Steel Construction, USA.
- ETABS v19**, Integrated Analysis, Design and Drafting of Buildings Systems Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- Fahnestock, L. A., Sause, R., & Ricles, J. M.** (2006). *Analytical and Large-Scale Experimental Studies of Earthquake-Resistant Buckling-Restrained Braced Frame Systems*. Civil and Environmental Engineering, ATLSS Report No: 06-01, Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, USA.
- Fahjan, Y.M., Vatansever, S., & Özdemir, Z.** (2011). *Ölçeklenmiş Gerçek Deprem Kayıtları İle Yapıların Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analizleri*, 1.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011, ODTÜ, Ankara.

- FEMA P.** (2006). Example Application Guide for ASCE/SEI 41-13 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, FEMA, June 2018, California.
- İstanbul Yüksek Binalar Rüzgâr Yönetmeliği** (5. Versiyon). (2009). İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar Müdürlüğü, Ağustos 2009.
- MATLAB 2022b**, 022. Math. Grafics.Programing., *The MathWorks, Inc.*, USA.
- OpenSEES 2.5.0**, 2016. Open System For Earthquake Engineering Simulation, *Pacific Earthquake Engineering Research Center*. Berkeley, California.
- Karataş, Ç. & Çelik, O. C.** (2017). Alüminyum Alaşımli Çekirdekli Burkulması Önlenmiş Çaprazların (BÖÇ) Tasarımı Üretimi ve Yön Değiştiren Tekrarlı Yükler Etkisindeki Davranışı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 23(6), (s. 659-670). doi: 10.5505/pajes.2016.58751.
- Özer, E.**, İleri Yapı Statiği Ders Notları, İstanbul.
- Sabelli, R. & Aiken, I.** (2003). Development of Building Code Provision for Buckling-Restrained Braced Frames. *Behavior of Steel Structures in Seismic Areas, STESSA*. Naples, Italy.
- SAP2000 19.2.1**, 2017. Structural Ananlysis Program, *Computers and Structures Inc.*, Berkeley, California.
- Specification for Structural Steel Buildings.** (2010). American Institute of Steel Construction, ANSI/AISC 360-10, Haziran 2010.
- Taranath, B. S.**, (2012). Structural Analysis and Design of Tall Buildings, *CRC Press*, Boca Raton.
- TBDY** (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- PERFORM 3-D** (Version 7.0.0) [Computer software]. *Nonlinear Analysis and Performance Assesment of 3D Structures*, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- Watabane, A., Hitomi, Y., Yaeki, E., Wada, A., & Fujimoto, M.**, (1988). Properties of brace encased in buckling - restraining concrete and steel tube. *Proceeding , 9th World Coference*.
- Wigle, V. R., & Fahnestock, L. A.** (2009). Buckling-restrained Braced Frame Connection Performance. *Journal of Constructional Steel Research* 66, (s. 65-74). doi:10.1016/j.jcsr.2009.07.014.
- Yapılar Üzerindeki Etkiler – Bölüm 1-4: Genel Etkiler – Rüzgâr Etkileri (Eurocode 1).** (2007). Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

EKLER

EK A : $\emptyset=0^\circ$ Doğrultusunda katlara etkiyen rüzgar kuvveti değerleri.

EK B : $\emptyset=90^\circ$ Doğrultusunda katlara etkiyen rüzgar kuvveti değerleri.

EK C : Deprem – rüzgar yükü etkisinde X ve Y doğrultuları için elde edilen göreceli kat öteleme değerleri.

EK D : Kolon,kiriş ve burkulması önlenmiş çelik çaprazların kapasite oranları

EK E : BÖÇ'lü kolon kiriş ve çapraz birleşiminin tasarımı.



EK A

Katlara etki eden rüzgar kuvvetleri

Çizelge A. 1 : D ve E Doğrultusunda Etkiyen Rüzgar Kuvvetleri.(30 m genişlik).

Kat Yüksekliği (m) :	Rüzgar Basıncı (kN/m ²)	Rüzgar Kuvveti (kN/m)
3 m - 30 m	1.416	42.49
30 m	1.5	45.0
31.8 m	1.62	48.6
33.6 m	1.70	51.0
35.4 m	1.78	53.4
37.2 m	1.84	55.2
39 m – 69 m	1.88	56.4

Çizelge A. 2 : D ve E doğrultusunda katlara etkiyen rüzgar kuvvetleri.(30 m genişlik).

Kat No :	Rüzgar Kuvveti (kN)
23	84.5
22	169.2
21	169.2
20	169.2
19	169.2
18	169.2
17	169.2
16	169.2
15	169.2
14	166.8
13	165.15
12	153.09
11	144.9

**Çizelge A. 3 (devam) : D ve E doğrultusunda katlara etkiyen
rüzgar kuvvetleri.(30 m genişlik).**

Kat No :	Rüzgar Kuvveti (kN
10	132.9
9	127.46
8	127.46
7	127.46
6	127.46
5	127.46
4	127.46
3	127.46
2	127.46
1	127.46

EK B

Katlara etki eden rüzgar kuvvetleri

D ve E doğrultusunda etkiyen rüzgar kuvvetleri hesabı aşağıdaki gibidir.

Çizelge B. 1 : D ve E doğrultusunda etkiyen rüzgar kuvvetleri. (15 m genişlik).

Kat Yüksekliği (m) :	Rüzgar Basıncı (kN/m ²)	Rüzgar Kuvveti (kN/m)
3 m - 15 m	1.2	18
18 m	1.25	18.75
21 m	1.30	19.5
24 m	1.35	20.25
27 m	1.40	21.0
30 m	1.45	21.75
33 m	1.50	22.5
36 m	1.55	23.55
39 m	1.60	24.0
42 m	1.65	24.75
45 m	1.7	25.5
48 m	1.75	26.25
51 m	1.80	27.0
54 m - 69 m	2.0	30.0

Çizelge B. 2 : D ve E doğrultusunda etkiyen rüzgar kuvvetleri. (30 m genişlik).

Kat No :	Rüzgar Kuvveti (kN)
23	169.2
22	169.2
21	169.2
20	169.2
19	169.2
18	169.2
17	169.2
16	169.2
15	169.2
14	166.8
13	165.15
12	153.09
11	144.9
10	132.9
9	127.46
8	127.46
7	127.46
6	127.46
5	127.46
4	127.46
3	127.46
2	127.46
1	127.46

EK C**Çizelge C. 1 :** Deprem yükü etkisinde X doğrultusu için elde edilen görelî kat ötelemesi değerleri.

Kat No :	Kat Deplasmanı	Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Sınır Değeri
23.	0.001323	0.0003393	0.008
22.	0.00162	0.0003922	0.008
21.	0.001477	0.000465	0.008
20	0.001923	0.000523	0.008
19	0.001609	0.000579	0.008
18	0.002203	0.0006319	0.008
17	0.001725	0.000686	0.008
16	0.002447	0.000735	0.008
15	0.001814	0.000783	0.008
14	0.002647	0.000823	0.008
13	0.001868	0.000861	0.008
12	0.002797	0.000893	0.008
11	0.001876	0.000924	0.008
10	0.00289	0.000951	0.008
9	0.001828	0.000971	0.008
8	0.002918	0.000985	0.008
7	0.001714	0.000989	0.008
6	0.002873	0.000980	0.008
5	0.001518	0.000950	0.008
4	0.002745	0.000880	0.008
3	0.001222	0.000742	0.008
2	0.002547	0.000577	0.008
1	0.00067	0.00024	0.008

Çizelge C. 2 : Deprem yükü Etkisinde Y doğrultusu için elde edilen görelî kat ötelemesi değeri.

Kat No :	Kat Deplasmanı	Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Sınır Değeri
23.	0.00253	0.000239	0.008
22.	0.00285	0.000277	0.008
21.	0.00264	0.00032	0.008
20	0.0030	0.000359	0.008
19	0.00267	0.000393	0.008
18	0.00325	0.00042	0.008
17	0.0027	0.00045	0.008
16	0.0033	0.00048	0.008
15	0.0027	0.00050	0.008
14	0.0035	0.00053	0.008
13	0.0026	0.00053	0.008
12	0.00348	0.00057	0.008
11	0.00248	0.00058	0.008
10	0.00346	0.00060	0.008
9	0.00228	0.00060	0.008
8	0.0032	0.00061	0.008
7	0.0020	0.00062	0.008
6	0.0030	0.00060	0.008
5	0.00163	0.00062	0.008
4	0.00269	0.00058	0.008
3	0.0011	0.00052	0.008
2	0.00224	0.00041	0.008
1	0.00039	0.00018	0.008

EK D**Çizelge D. 1 : 2B-2C-3B-3C kolonları ve kapasite oranları.**

Kat	Pu (kN)	Etki/Kapasite Oranı	Kolon
23.Kat	1854.2	0.32	HD 400x744
22.Kat	1941.8	0.36	HD 400x744
21.Kat	3698.7	0.36	HD 400x744
20.Kat	4472.9	0.38	HD 400x744
19.Kat	5736.8	0.40	HD 400x744
18.Kat	6996.7	0.48	HD 400x818
17.Kat	9558.9	0.43	HD 400x818
16.Kat	10854.8	0.49	HD 400x818
15.Kat	12166.7	0.54	HD 400x818
14.Kat	13477.5	0.59	HD 400x900
13.Kat	14587.3	0.65	HD 400x900
12.Kat	16181.1	0.57	HD 400x900
11.Kat	17547.8	0.62	HD 400x900
10.Kat	18920.4	0.66	HD 400x990
9.Kat	20121.3	0.71	HD 400x990
8.Kat	21500.4	0.75	HD 400x990
7.Kat	22887.4	0.80	HD 400x990
6.Kat	24285.1	0.77	HD 400x990
5.Kat	25694.2	0.81	HD 400x990
4.Kat	27116.8	0.86	HD 400x990
3.Kat	28251.4	0.89	HD 400x1086
2.Kat	29812.1	0.94	HD 400x1086
1.Kat	30023.42	0.95	HD 400x1086

Çizelge D. 2 : 2B-2C-3B-3C kolonları ve kapasite oranları.

Kat	α	$F\sqrt{2}$	P_y (kN)	$1.39G+0.5Q$	P_u, P (kN)
23.Kat	30°	50.6	-390.6	-989.2	-1379.8
22.Kat	30°	0.0	-335	-1013.2	-1348.2
21.Kat	30°	0.0	-390.6	-1989.4	-2380
20.Kat	30°	0.0	-456.9	-2883.4	-3340.3
19.Kat	30°	0.0	-437.8	-3867.7	-4305.5
18.Kat	30°	0.0	-456.9	-4785.7	-5242.6
17.Kat	30°	0.0	-437.8	-5766.4	-6204.2
16.Kat	30°	0.0	-456.9	-6686.9	-7143.7
15.Kat	30°	0.0	-437.8	-7655.9	-8093.7
14.Kat	30°	0.0	-456.9	-8557.2	-9014.1
13.Kat	30°	0.0	-525.4	-9522.2	-10047.6
12.Kat	30°	0.0	-456.9	-10418.3	-10875.2
11.Kat	30°	0.0	-515.3	-11381.4	-11906.8
10.Kat	30°	0.0	-456.9	-12281.7	-12738.6
9.Kat	30°	0.0	-524.5	-13239.9	-13765.3
8.Kat	30°	0.0	-525.4	-14104.5	-14629.9
7.Kat	30°	0.0	-657.2	-15020.4	-15677.6
6.Kat	30°	0.0	-571.2	-15870.9	-16442.1
5.Kat	30°	0.0	-657.2	-16775.7	-17432.9
4.Kat	30°	0.0	-571.2	-17613.4	-18184.6
3.Kat	30°	0.0	-657.2	-18500.1	-19157.3
2.Kat	30°	0.0	-571.2	-19321.1	-19892.3
1.Kat	30°	0.0	-657.2	-20185.5	-20842.7

Çizelge D. 3 : 2/A kolonu iç kuvvetleri.

Kat	α	$F\sqrt{2}$	P_y (kN)	1.39G+0.5Q	P_u, P (kN)
23.Kat	30°	50.6	390.6	-198.7	-589.3
22.Kat	30°	0.0	-335	-270.4	-605.4
21.Kat	30°	0.0	-390.6	-300.4	-691.2
20.Kat	30°	0.0	-456.9	-318.7	-775.6
19.Kat	30°	0.0	-437.8	-412.4	-850.2
18.Kat	30°	0.0	-456.9	-512.4	-969.3
17.Kat	30°	0.0	-437.8	-602.4	-1040.2
16.Kat	30°	0.0	-456.9	-685.3	-1142.2
15.Kat	30°	0.0	-437.8	-789.4	-1227.2
14.Kat	30°	0.0	-456.9	-844.2	-1301.1
13.Kat	30°	0.0	-525.4	-984.7	-1510.1
12.Kat	30°	0.0	-456.9	-1117.4	-1574.3
11.Kat	30°	0.0	-515.3	-1745.4	-2270.8
10.Kat	30°	0.0	-456.9	-2184.1	-2641.1
9.Kat	30°	0.0	-524.5	-2788.4	-3313.8
8.Kat	30°	0.0	-525.4	-3255.7	-3781.1
7.Kat	30°	0.0	-657.2	-3985.4	-4642.6
6.Kat	30°	0.0	-571.2	-4360.7	-4931.9
5.Kat	30°	0.0	- 657.2	-5074.2	-5731.4
4.Kat	30°	0.0	- 571.2	-5472.1	-6043.3
3.Kat	30°	0.0	- 657.2	-6341.1	-6998.3
2.Kat	30°	0.0	- 571.2	-6818.2	-7389.4
1.Kat	30°	0.0	- 657.2	-7815.3	-8472.5

Çizelge D. 4 : Kiriş enkesitleri ve kapasite oranları.

Kat	Seçilen Kesit	Kritik Yük Birleşimi	P(kN)	M ₃ (kNm)	Kapasite
23.Kat	HEB340	COM1	-1798.2	-93.1	0.47
22.Kat	HEB340	COM1	-1803.1	-94.8	0.48
21.Kat	HEB340	COM1	-1810.1	-95.3	0.49
20.Kat	HEB340	COM1	-1815.3	-97.4	0.51
19.Kat	HEB340	COM1	-1818.5	-100.8	0.50
18.Kat	HEB340	COM1	-1840.4	-101.6	0.49
17.Kat	HEB340	COM1	-1842.8	-102.7	0.48
16.Kat	HEB340	COM1	-1852.1	-106.8	0.50
15.Kat	HEB360	COM1	-1855.4	-107.6	0.49
14.Kat	HEB360	COM1	-1858.3	-109.7	0.48
13.Kat	HEB360	COM1	-1860.2	-111.3	0.49
12.Kat	HEB360	COM1	-1861.3	-110.8	0.49
11.Kat	HEB360	COM1	-1862.3	-112.2	0.49
10.Kat	HEB360	COM1	-1866.1	-116.1	0.49
9.Kat	HEB360	COM1	-1868.0	-118.7	0.5
8.Kat	HEB360	COM1	-1870.1	-112.4	0.5
7.Kat	HEB360	COM1	-1871.2	-116.7	0.51
6.Kat	HEB400	COM1	-1868.4	-125.3	0.52
5.Kat	HEB400	COM1	-1869.8	-118.7	0.50
4.Kat	HEB400	COM1	-1868.3	-120.1	0.51
3.Kat	HEB400	COM1	-1871.5	-122.2	0.52
2.Kat	HEB400	COM1	-1874.2	-128.8	0.52
1.Kat	HEB400	COM1	-1878.7	-127.8	0.53

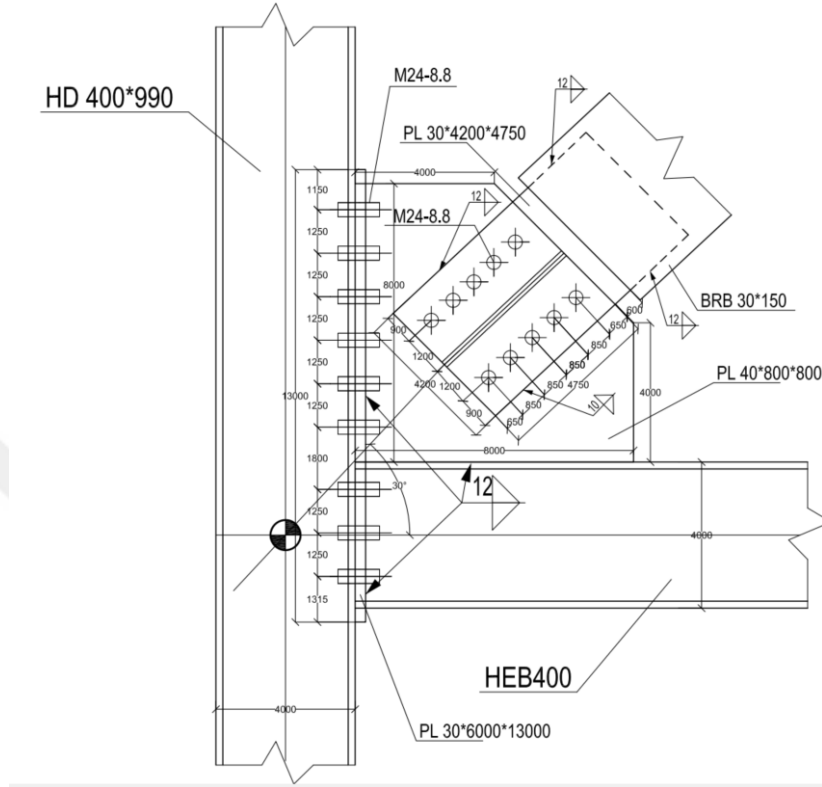
$$COM1=1.39(G+NGX+NGY)+0.5(Q+NQX+NQY)+0.2(S+NSX+NSY)+2.5(EXN+0.3EYN)-NL$$

Çizelge D. 5 : Kiriş enkesitleri ve kapasite oranları.

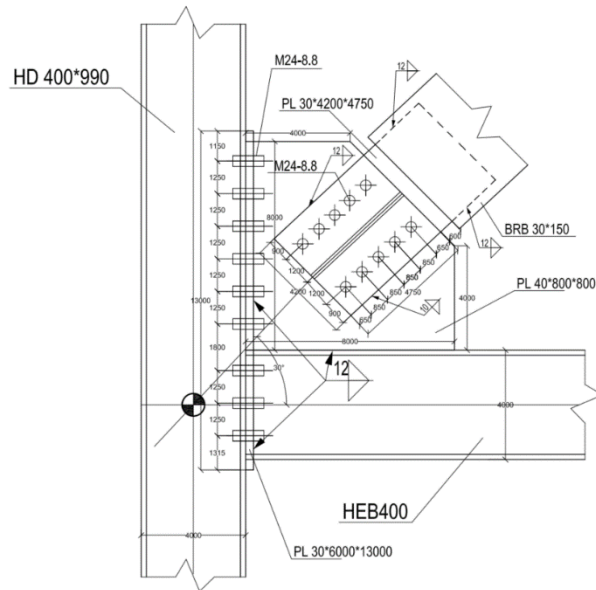
Kat	Seçilen Kesit	Kritik Yük Birleşimi	P(kN)	M ₃ (kNm)	Kapasite
23.Kat	HEB340	COM1	-907.8	-75.6	0.36
22.Kat	HEB340	COM1	-912.4	-84.7	0.37
21.Kat	HEB340	COM1	-911.8	-84.8	0.38
20.Kat	HEB340	COM1	-917.6	-88.1	0.38
19.Kat	HEB340	COM1	-912.7	-88.7	0.41
18.Kat	HEB340	COM1	-944.8	-88.9	0.41
17.Kat	HEB340	COM1	-954.3	-89.3	0.41
16.Kat	HEB340	COM1	-962.1	-89.0	0.41
15.Kat	HEB360	COM1	-977.6	-89.4	0.39
14.Kat	HEB360	COM1	-981.7	-89.7	0.40
13.Kat	HEB360	COM1	-994.5	-90.0	0.40
12.Kat	HEB360	COM1	-1004.5	-90.8	0.41
11.Kat	HEB360	COM1	-1062.1	-90.7	0.40
10.Kat	HEB360	COM1	-1075.1	-91.7	0.42
9.Kat	HEB360	COM1	-1072.4	-91.2	0.40
8.Kat	HEB360	COM1	-1080.9	-90.4	0.42
7.Kat	HEB360	COM1	-1088.7	-90.8	0.42
6.Kat	HEB400	COM1	-1098.5	-91.1	0.43
5.Kat	HEB400	COM1	-1117.0	-91.8	0.41
4.Kat	HEB400	COM1	-1230.4	-93.0	0.41
3.Kat	HEB400	COM1	-1232.7	-93.4	0.41
2.Kat	HEB400	COM1	-1240.8	-93.8	0.40
1.Kat	HEB400	COM1	-1257.8	-95.4	0.42

$$COM1=1.39(G+NGX+NGY)+0.5(Q+NQX+NQY)+0.2(S+NSX+NSY)+2.5(EXN+0.3EYN)-NL$$

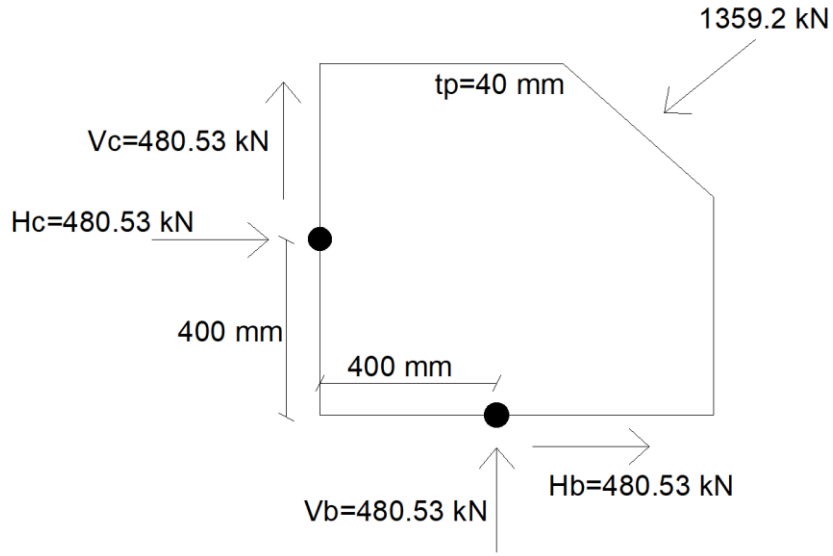
EK E



Şekil E. 1 : Kolon kiriş ve çapraz birleşiminin detayı.



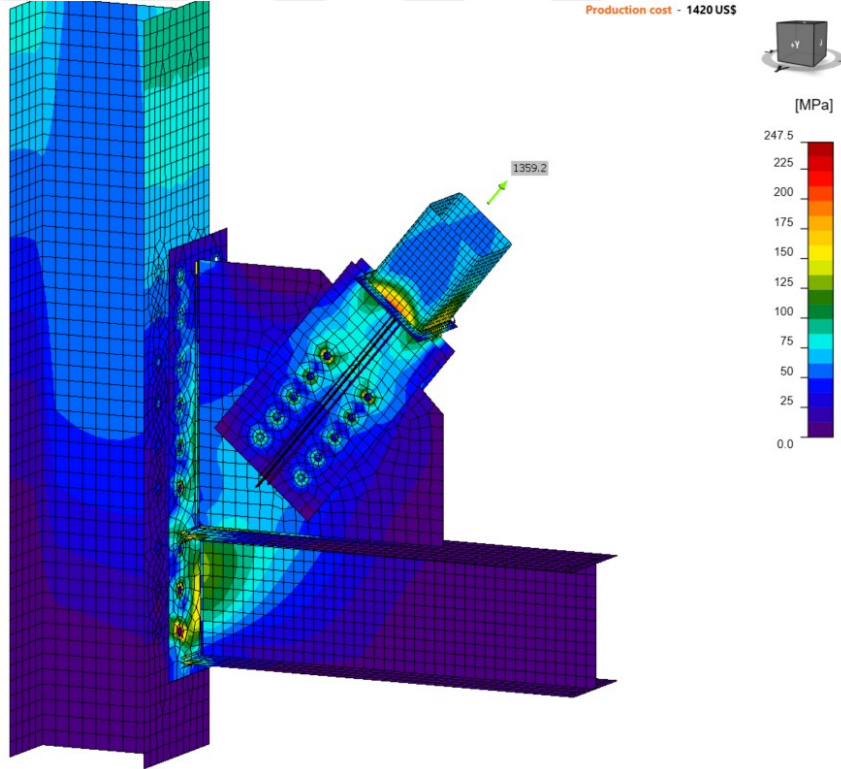
Şekil E. 2 : Bağ levhası kaynak – bulon yerleşimleri ve ölçüleri.



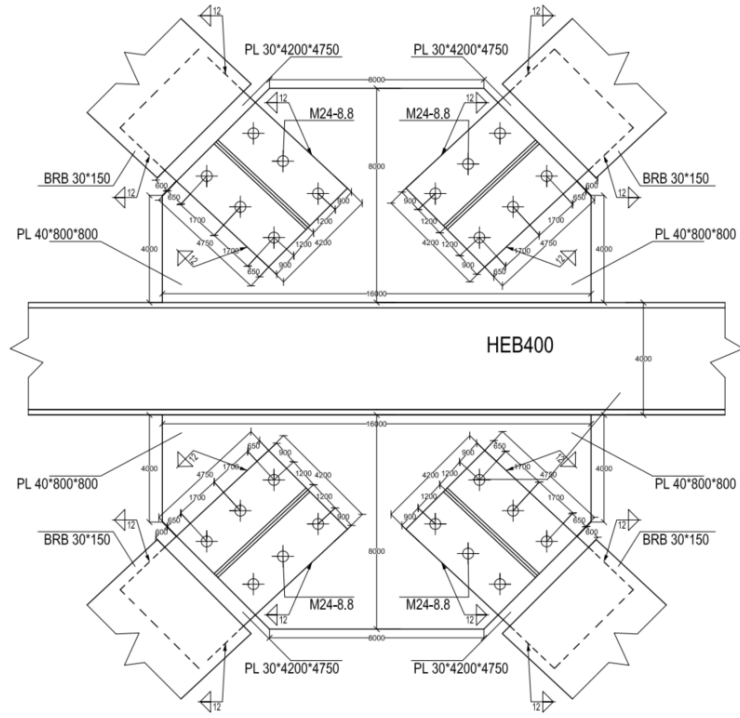
Şekil E. 3 : Bağ levhasına etkiyen iç kuvvetler.

Analysis	✓	100.0%
Plates	✓	0.0 < 5.0%
Bolts	✓	59.3 < 100%
Welds	✓	83.3 < 100%
Buckling		236.06

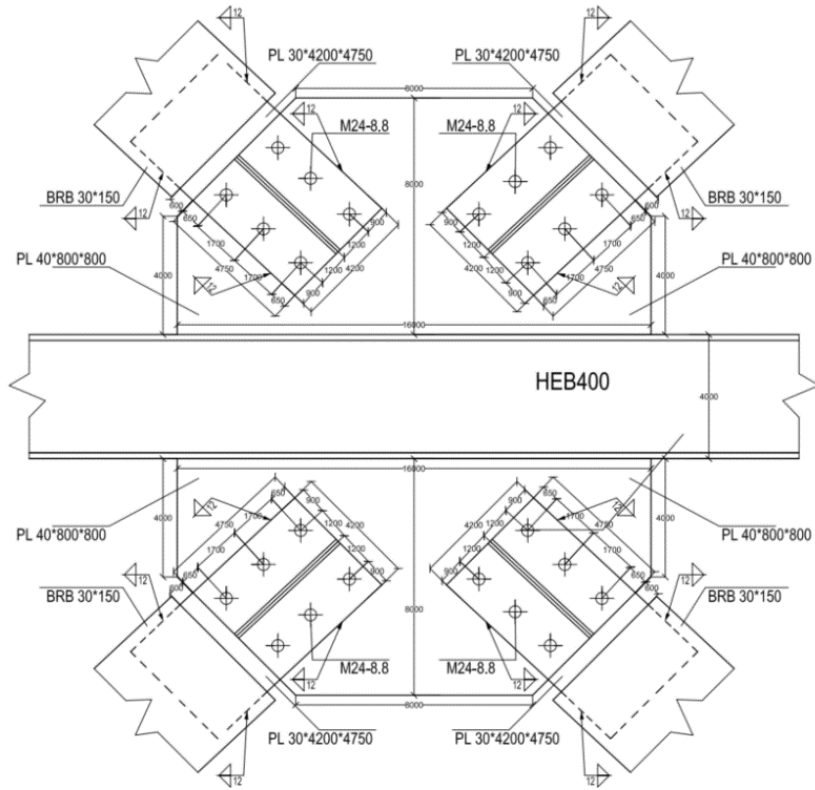
Production cost - 1420 US\$



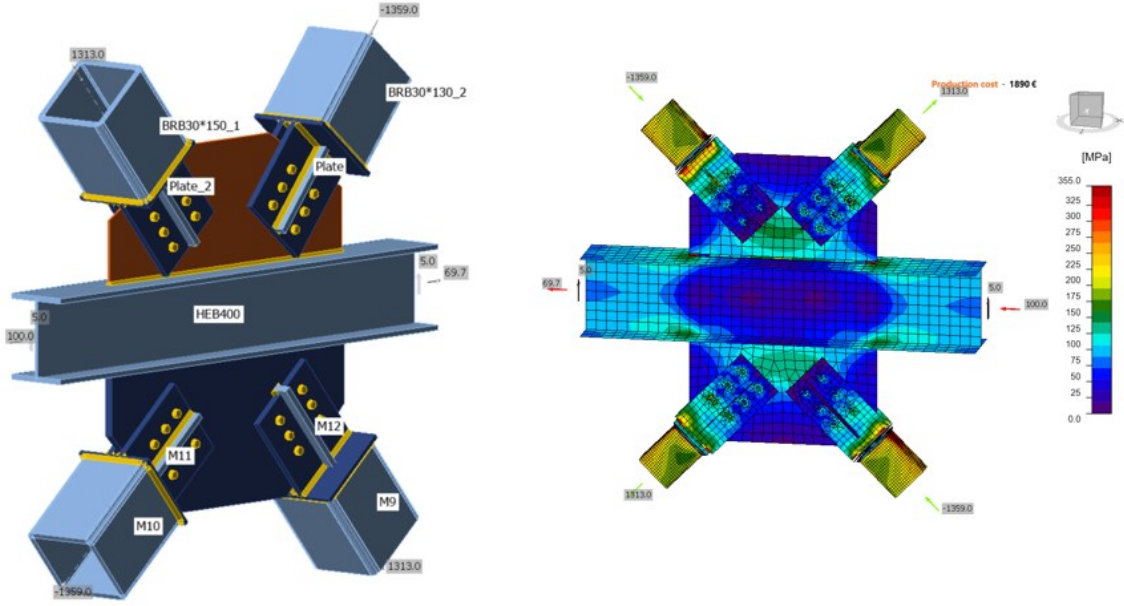
Şekil E. 4 : Kolon-kiriş –BÖÇ birleşim analiz sonucu.



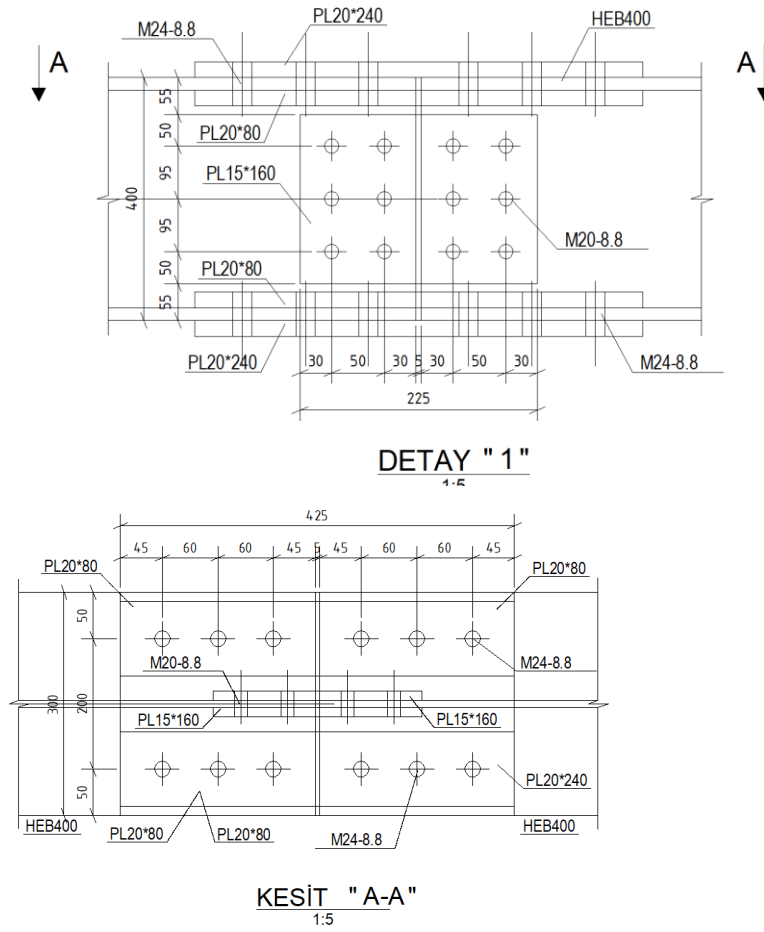
Şekil E. 5 : Kiriş - çapraz birleşiminin detayı.



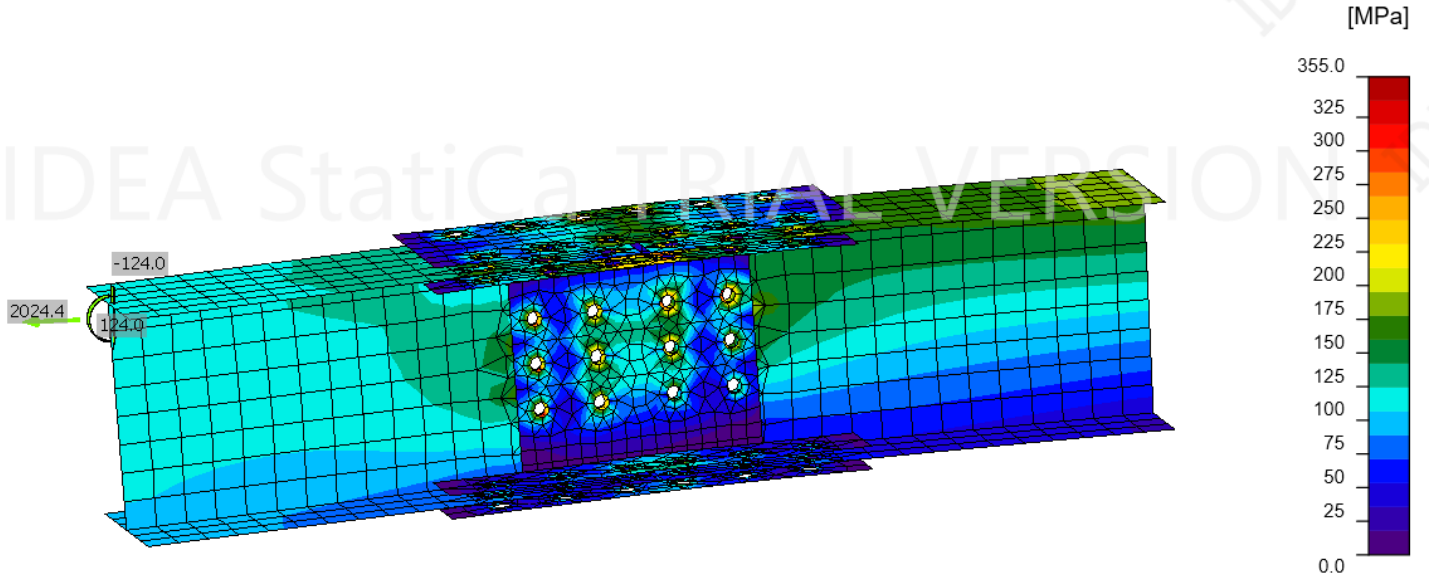
Şekil E. 6 : Kiriş bağ levhası kaynak –bulon yerleşimleri ve ölçüleri.



Şekil E. 7 : Kiriş -BÖÇ birleşim analiz sonucu.



Şekil E. 8 : HEB 400 – HEB 400 kirişi bulonlu tam ek detayı.



Şekil E. 9 : HEB 400 – HEB 400 kirişi bulonlu tam ek detayı.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Eray KAYATAŞ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2024, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Yapı Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Yapısal Tasarım Mühendisi – 2021/- , ENKA İnşaat ve Sanayi A.Ş

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kayatas E., Vatansever E., Kadioğlu F. (2023).** *Yatay Yük Taşıyıcı Sistemi Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçevelerden Oluşan Bir Yüksek Binanın Deprem Etkileri Altında Performansının Değerlendirilmesi.*, Modern İnşaat Problemleri. Kasım 23-24, 2023 Bakü, Azerbaycan.